

**DONNÉES TECHNIQUES**

**APPENDICE F**

## APPENDICE F

DONNÉES TECHNIQUES		
1. RENTRÉE ET ABANDON D'HIBERNIA J-34		279
Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada Pièce #196.		
2. ARTICLES RÉCUPÉRÉS À LA FAVEUR DE LA MISSION DE PLONGÉE		286
Ordonnée par la Commission Royale Plongée organisée par Hydrospace Marine Services du 14 juillet au 1 <sup>er</sup> août, 1982.		
3. RAPPORTS TECHNIQUES		287
Laboratoire des techniques de sécurité aérienne, Bureau de la sécurité aérienne, Transports Canada, Rapports A à G terminés le 8 septembre, 1983 Pièce #220. Rapports H à I terminés le 1 <sup>er</sup> mars, 1984 Pièces #279 et 280.		
Rapport A, EP 266/82 – Examen des hublots		287
Rapport B, EP 90/83 – Essais de pression des verres des hublots		294
Rapport C, EP 265/82 – Analyse des soupapes à commande par solénoïdes		302
Rapport D, EP 331/83 – Analyse des panneaux schématiques de contrôle des ballasts		313
Rapport E, EP 332/83 – Analyse des ampoules du panneau de contrôle des ballasts		321
Rapport F, EP 333/83 – Essais du panneau de contrôle des ballasts		329
Rapport G, EP 195/82 – Analyse des circuits électriques de contrôle des ballasts et analyse globale		333
Rapport H, EP 72/84 – Démonstration des défaillances des interrupteurs des pompes		336
Rapport I, EP 73/84 – Analyse des défaillances des micro-contacts		339
4. ANALYSE ET CALCULS DES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME DE POMPAGE DE L'OCEAN RANGER		343
Burness Corlett & Partners (IOM) Limited Pièce #283.1		
5. RAPPORT SUR LE PROGRAMME D'ESSAIS DE MODÈLES HYDRODYNAMIQUES		362
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Canada et Norwegian Hydrodynamic Laboratories, Trondheim, Norvège.		
6. ANALYSE DE LA PERFORMANCE DE L'ÉQUIPEMENT DE SAUVETAGE		373
Robert L. Markle, Chef par intérim, Survival Systems Branch, Merchant Vessel Inspection Division, Office of Merchant Marine Safety, United States Coast Guard, le 29 novembre, 1982. Pièce #221.		
7. DESSINS TECHNIQUES		384

## APPENDICE F-1

### Rentrée et abandon d'Hibernia J-34

46° 43' 33.84" N  
48° 50' 13.00" W

Présenté par :

R.M. Harvey, P. Eng.  
D.C. Strong, P. Eng.  
E.P. Lannon, B.Sc. (Géologie)

Administration du pétrole et du gaz des  
terres du Canada  
St. John's (Terre-Neuve)  
15 juillet 1982

#### INTRODUCTION

Le présent rapport décrit les opérations entreprises par Mobil Oil Canada Limited et Neddrill pour procéder à l'abandon du puits J-34 du champ Hibernia de Mobil et al, après le naufrage de l'*Ocean Ranger*. Le rapport a été préparé par les ingénieurs du bureau de St. John's de l'Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada (APGTC), qui a attesté l'authenticité de l'opération. Leurs fonctions premières durant l'abandon ont été les suivantes :

- fournir des données, avec preuves à l'appui, sur l'état du bloc d'obturation anti-éruption de l'*Ocean Ranger* avant la rentrée;
- attester le rebranchement au bloc d'obturation anti-éruption et le retrait de la colonne de forage;
- noter l'emplacement du point de débranchement relativement à l'extrémité cisailée de la tige afin de confirmer que la colonne a été débranchée sur les mâchoires hydrauliques appropriées;
- inspecter l'extrémité cisailée afin de s'assurer du bon fonctionnement des mâchoires cisailantes;
- attester la mesure de la tige de forage retirée du puits afin de s'assurer que le trépan a été remonté dans le tubage avant le cisaillement de la tige;
- attester la mise en place des bouchons mécaniques et des bouchons de ciment avant le retrait du bloc d'obturation anti-éruption;
- s'assurer que l'épave de l'*Ocean Ranger* n'ait pas été dérangée durant les opérations d'abandon.

On trouvera ci-joint les pièces justificatives préparées par Mobil Oil et Neddrill avant et pendant les opérations d'abandon. On a utilisé les unités de mesure anglaises puisqu'il s'agissait du système en vigueur durant le programme de rentrée et d'abandon.

#### HISTORIQUE

Le 15 février 1982, vers 03 h 00, l'installation de forage semi-submersible *Ocean Ranger* a sombré au cours d'une tempête sur les Grands bancs. L'installation, détenue et exploitée par Ocean Drilling and Exploration Company Limited (ODECO) et sa filiale ODECO of Canada Limited, était liée par contrat à Mobil Oil Canada pour forer le puits J-34 du champ Hibernia de Mobil et al, à environ trois milles à l'ouest-sud-ouest du puits de découverte P-15. Le forage avait débuté le 27 novembre 1982 et la profondeur atteinte était de 12 169 pieds à 16 h 00, le 14 février 1982 (toutes les profondeurs se rapportent à la hauteur de la table de rotation (TR) de l'*Ocean Ranger*). La profondeur totale projetée pour le puits J-34 était de 14 000 pieds.

Au cours de la soirée du 14 février 1982, l'*Ocean Ranger* a signalé qu'en raison de la détérioration des conditions météorologiques et de difficultés mécaniques, on avait été obligé de débrancher le tube conducteur marin et la garniture inférieure du tube conducteur marin (LMRP) du bloc d'obturation anti-éruption en se servant des mâchoires cisailantes pour couper la garniture de forage. On a indiqué que le trépan avait été retiré du fond et remonté dans un tubage de 9 pouces  $\frac{5}{8}$  qui avait été descendu jusqu'à une profondeur de 12 014 pieds. Avant le cisaillement, la garniture de forage avait été débranchée sur les mâchoires médianes à fermeture sur tige se trouvant à 6,5 pieds sous les mâchoires cisailantes.

Après avoir coupé la tige de forage afin de pouvoir retirer le LMRP du bloc d'obturation anti-éruption, les mâchoires cisailantes ont été laissées en position fermée, ce qui empêchait l'écoulement des fluides du puits si des formations sous-équilibrées hydrostatiquement étaient exposées dans le trou ouvert, bien que les données lithologiques indiquaient que dans les 155 pieds de trou non tubé il n'y avait pas de zones contenant du pétrole ou du gaz.

Après le naufrage de l'*Ocean Ranger*, le bloc d'obturation a été examiné à partir du navire *Balder Cabot* au moyen d'un véhicule télécommandé (VTC) muni d'une caméra vidéo. Cette inspection a permis de constater que le seul dommage visible avait été subi par un pilier de guidage courbé. Les piliers de guidage servent à guider le LMRP à l'intérieur du bloc d'obturation durant les opérations de rebranchement. De plus, le bloc d'obturation était libre de débris, à l'exception d'un morceau de tige de forage qui s'y appuyait.

Le 1<sup>er</sup> juin 1982, l'APGTC a appuyé la proposition ci-jointe préparée par Mobil et relative à la rentrée et à l'abandon du puits J-34. Cela s'est fait avec l'accord de la Commission royale sur l'*Ocean Ranger*.

#### ARRIVÉE SUR LES LIEUX ET DÉPLOIEMENT DES ANCRES

Le navire de forage *Neddrill 2* a été retenu par contrat par Mobil pour effectuer les opérations d'abandon. Il a quitté St. John's le 4 juin 1982 à 03 h 00 et est arrivé sur les lieux à 19 h 55 le même jour. Plusieurs jours auparavant, le *Balder Cabot* avait placé une balise sonore appartenant au *Neddrill 2* sur le bloc d'obturation anti-éruption, à l'aide d'un submersible Mantis à 1 atmosphère. Le *Cabot* avait aussi à ce moment-là établi un système d'ancrage proposé en modèle pour le navire de forage.

À son arrivée à l'emplacement du puits, le *Neddrill 2* a déployé quatre ancres. Le représentant de l'APGTC, E.P. Lannon, se trouvait à bord du navire à son départ de St. John's et il a été témoin du déploiement des ancres. Il a été relevé par R.M. Harvey le 5 juin 1982, à 17 h 30.

Dans le but d'améliorer la capacité de tenue des ancres, on a attendu plusieurs heures afin qu'elles se fixent solidement au fond de la mer. On a ensuite appliqué une tension de 100 tonnes à chacune d'elles. L'ancre n° 6 n'a pas résisté et on a dû la déplacer d'un autre 1000 pieds sur le même cap. Les câbles des ancres ont alors été détendus et le navire s'est maintenu sur place au moyen du système de positionnement dynamique. Le système d'ancrage ne devait être utilisé que pour empêcher le navire d'être poussé par le vent ou les vagues au-dessus de l'épave advenant que le système électrique vint à manquer, mettant ainsi en danger le tube conducteur marin ou la tourelle de plongée si ces dispositifs étaient descendus à ce moment-là.

#### REBRANCHEMENT

À 00 h 20 le 6 juin 1982, la tourelle de plongée a quitté la surface avec deux plongeurs de Can Dive en saturation. Comme première tâche, les plongeurs devaient placer des balises sonores pour le système de positionnement dynamique (PD). La manoeuvre s'est terminée à 02 h 30. Vers 03 h 00, le système PD a perdu le signal des balises, ce qui semble avoir été provoqué par les bulles s'échappant des appareils des plongeurs. Le navire a effectué le transfert à son blocage par fil tendu jusqu'à ce que le problème fût corrigé. À ce moment-là, on a retiré la balise de l'*Ocean Ranger* du bloc d'obturation et on l'a ramenée à la surface.

À 04 h 20, les câbles de guidage 2 et 4 ont été descendus et attachés au sommet des piliers de guidage de l'obturateur. Le pilier courbé n° 3 a alors été coupé et le gabarit de la garniture du tube conducteur marin inférieur a été descendu jusqu'au fond. Ce gabarit devait servir à mesurer la distance entre le centre du bloc et le centre du récipient de la cosse

de contrôle, et entre celui des raccords de duses et des conduites d'injection afin de s'assurer que la LMRP construite pour le projet s'adapterait au bloc.

À 12 h 00, le gabarit a été placé au-dessus du bloc et un raccordement a été tenté. Cependant, on a constaté qu'un deuxième pilier était également courbé (n° 4) et que le gabarit ne pouvait pas être ajusté convenablement. On a retiré le gabarit et, comme les plongeurs éprouvaient des difficultés avec leur matériel de communication, ils ont dû remonter à la surface afin que l'on réparât la tourelle de plongée.

Plusieurs tentatives ont été faites au cours de l'après-midi et de la soirée du 6 juin pour modifier le gabarit et le descendre sans l'aide des plongeurs. Ces tentatives ont été infructueuses.

À 05 h 45 le 7 juin, on a envoyé les plongeurs couper le pilier n° 4. Ils ont terminé à 06 h 30 et le gabarit a été mis en place. Les calibres d'épaisseur ont été placés sur le récipient de la cosse, ainsi que sur les raccords de duses et des conduites d'injection. L'examen de la position du gabarit sur le bloc a révélé qu'il était légèrement décentré et incliné, ce qui indiquait que les deux autres piliers de guidage étaient également quelque peu tordus et qu'il fallait par conséquent les enlever.

À 10 h 50, le gabarit a été remonté. Les mesures prises par les calibres d'épaisseur ne révélaient aucune différence importante entre les positions des raccords de la LMRP originale et celles du nouveau dispositif.

À 11 h 15, les plongeurs ont commencé à attacher des étiquettes aux tuyaux hydrauliques du bloc d'obturation afin d'indiquer la fonction de chaque conduite. Il était nécessaire d'effectuer cette opération puisqu'il était possible qu'on eût modifié la direction des tuyaux entre les cosses et les diverses pièces d'équipement, et qu'on ne l'eût pas indiqué sur les diagrammes du système d'obturation.

On a étiqueté les conduites suivantes («ouvert» et «fermé») :

- obturateur annulaire
- mâchoires cisailantes
- mâchoires supérieures à fermeture sur tige
- mâchoires médianes à fermeture sur tige
- mâchoires inférieures à fermeture sur tige
- conduite d'injection externe
- conduite d'injection interne
- ligne de duse externe supérieure
- ligne de duse interne supérieure

Le connecteur H4 inférieur avait trois conduites : verrouillage primaire et déverrouillage primaire et secondaire.

À 16 h 00 le 7 juin, la nouvelle LMRP a été soulevée et placée dans le puits central alors

que l'on commençait l'assemblage du tube conducteur marin. À minuit, l'opération était terminée et on a alors tenté de verrouiller le raccord. On y est parvenu à 00 h 30 le 8 juin, après avoir mis un poids supplémentaire sur la LMRP. À 06 h 30, toutes les conduites hydrauliques ont été débranchées, les fonctions vérifiées et le tout rebranché, ce qui a permis de s'assurer de l'acheminement approprié des tuyaux.

#### OUVERTURE DES MÂCHOIRES CISAILANTES ET REBRANCHEMENT À LA COLONNE DE FORAGE

Après le raccordement de la LMRP au bloc d'obturation, on a fait un essai de pression de 4500 lb/po<sup>2</sup> des lignes de duses et des conduites d'injection (les deux ont supporté cette pression avec succès). On a ensuite soumis les lignes de duses à une pression d'environ 550 lb/po<sup>2</sup> puis on a ouvert les soupapes. La pression a baissé, ce qui indiquait qu'il n'y avait aucune pression sous les mâchoires cisailantes. On a ensuite appliqué une pression de 500 lb/po<sup>2</sup> dans la conduite d'injection, puis on l'a ouverte. La pression a baissé à 100 lb/po<sup>2</sup>. Cette pression est due à des contraintes thermiques; on ne la considère pas importante.

À 08 h 40 le 8 juin, on a effectué un test de circulation du puits par la duse supérieure, vers le bas dans la colonne de forage, ensuite vers le haut dans l'espace annulaire, puis vers l'extérieur de la conduite d'injection. La pression appliquée aux pompes était de 1300 lb/po<sup>2</sup> et le débit d'environ 50 gallons par minute. On a injecté de la saumure d'un poids de 9,2 livres par gallon. La boue de retour avait un poids de 9,1 à 9,2 livres par gallon.

À 13 h 35 le 8 juin, on a ouvert les mâchoires cisailantes et mis en marche la fraise pour meuler le sommet de la conduite cisailée. On a utilisé trois joints de masse-tige et cinq éléments de garniture de forage.

À 15 h 00, la fraise fonctionnait depuis environ une demi-heure sans progresser. On a décidé de la retirer du trou pour l'examiner. On a alors constaté qu'il y avait un morceau de tige de forage coincé dans sa gorge, ainsi que la partie supérieure d'un outil de débranchement.

Ainsi, l'équipage de l'*Ocean Ranger* avait remonté le dispositif, introduit l'outil de débranchement dans la colonne de forage et replacé cet outil jusqu'au bloc d'obturation, l'arrêtant sur les mâchoires fermées de la tige médiane. Cependant, avant qu'on eût pu désaccoupler le sommet de l'outil de débran-

chement, on a fermé les mâchoires cisailantes, ce qui a sectionné la garniture de forage.

Par conséquent, lorsque la fraise tournant en sens horaire a attaqué le sommet de la tige cisailée, elle a dévissé les filets à gauche de l'outil de débranchement, le libérant ainsi de sa partie inférieure. En poursuivant sa rotation, la fraise n'a fait qu'endommager les filets de l'outil. Lorsqu'on a retiré la fraise, on a récupéré l'extrémité supérieure de la tige cisailée.

On a tenté à quelques reprises au cours de la soirée du 8 juin de fixer de nouveau l'outil de débranchement, mais sans succès. À 06 h 30 le 9 juin, l'équipe de forage a réussi à le fixer à la partie inférieure de l'outil de débranchement en se servant de la partie supérieure en bon état d'un outil semblable. On a alors appliqué une tension atteignant 320 000 livres (comparativement à un poids total de 350 000 livres pour la colonne) avant que le raccord ne se rompe. À l'examen des filets de l'outil de débranchement, on a constaté qu'il n'avait été mis en prise qu'en partie seulement.

À 07 h 00, on a fait une autre tentative. Quatre rainures également espacées ont été meulées à angles droits par rapport aux filets de l'outil de débranchement original. On a ensuite descendu le tout et on l'a vissé dans la partie inférieure de l'outil. Mobil craignait que ce raccord lâchât une deuxième fois et a par conséquent décidé de manoeuvrer la tige en la faisant passer dans les mâchoires fermées, c'est-à-dire de garder un ensemble de mâchoires fermées en tout temps pendant qu'on retirerait la tige du trou. Ainsi, si le raccord venait à lâcher, la partie inférieure cylindrique à grand diamètre de l'outil de débranchement serait arrêtée par la mâchoire, ce qui entraînerait probablement la rupture de la colonne juste sous cette mâchoire. L'outil de débranchement étant alors enlevé de la colonne, la récupération de la tige de forage du trou serait grandement simplifiée.

À 19 h 00 le 9 juin, on a imprimé une tension à la colonne de forage. Les mâchoires n° 3 et n° 4 étaient toutes deux fermées. Une tension de 370 000 livres a été nécessaire avant que la colonne ne commençât à bouger. À 01 h 00 le 10 juin, l'outil de débranchement a été récupéré et enlevé de la colonne de forage. La longueur de l'outil de débranchement et celle de la tige cisailée atteignaient ensemble 77¼ pouces, ce qui correspond à la distance entre la mâchoire médiane et la mâchoire cisailante.

Après avoir retiré l'outil de débranchement, on a descendu la colonne de forage jusqu'au fond afin de déterminer la profondeur atteinte par l'*Ocean Ranger*. Après cette opération, on a retiré la tige du trou pour la mesurer. Voici les résultats :

NEDDRILL		
5 longueurs de tige	502	
1 longueur simple de tige sur la tige carrée d'entraînement	22	
	<hr/>	
	524	pieds
ODECO		
115 longueurs de tige	10,664,63	
1 tige double	62,72	
1 joint de tube court	21,73	
6 tiges de forage lourdes	182,22	
16 masse-tiges de 6¾"	496,18	
1 coulisse	16,22	
2 masse-tiges de 6¾"	62,33	
1 stabilisateur de 8½"	3,95	
1 masse-tige de 6¾" en monel	29,80	
1 stabilisateur de 8½"	4,08	
1 turbine	57,52	
1 trépan	2,00	
	<hr/>	
	11 603,38	pieds
Longueur totale de la colonne		
	12 127,38	pieds
Différence d'élévation Neddrill/OR		
	51	pieds
Étirement de la colonne de forage Environ		
	4	pieds
	<hr/>	
	12 182	pieds
Table de rotation de l' <i>Ocean Ranger</i> jusqu'aux mâchoires médianes à fermeture sur tige		
	328	pieds
Outil de débranchement	8	pieds
Colonne de forage de l' <i>Ocean Ranger</i>	11 603	pieds
	<hr/>	
	11 940	pieds

Le sabot du dernier cuvelage se trouve à 12 014 pieds. Par conséquent, la colonne a été tirée d'environ 75 pieds à l'intérieur du sabot.

Cela, ainsi que la présence de l'outil de débranchement, indique que le puits a été fermé de façon méthodique et convenable. De plus, l'examen du sommet de la tige cisailée montre que les mâchoires cisailantes ont fonctionné correctement en coupant la tige.

#### MISE EN PLACE DES BOUCHONS MÉCANIQUES ET DES BOUCHONS DE CIMENT

À 01 h 00 le vendredi 11 juin 1982, le premier de deux bouchons provisoires a été mis en place à l'aide d'un câble métallique Schlumberger à une profondeur de 11 826 pieds. Ce

bouchon a été essayé à une pression de 2500 lb/po<sup>2</sup> pendant cinq minutes. À 10 h 00, un conteneur de ciment a été descendu sur le câble métallique pour constituer un bouchon de ciment de 15 pieds sur le dessus du bouchon mécanique.

C'est à ce moment que R.M. Harvey a été remplacé par D.C. Strong.

Le deuxième bouchon a été placé à une profondeur de 1497 pieds à 12 h 00; il a aussi été essayé à une pression de 2500 lb/po<sup>2</sup>. On a ensuite pompé un coulis de ciment dans la tige de forage afin de constituer un bouchon de ciment de 150 pieds au-dessus du bouchon provisoire. Puis, on a remonté la tige de forage jusqu'à 1200 pieds, inversé l'injection pour enlever toute trace de ciment de la colonne et retiré la tige de forage du trou.

À 18 h 45, le bloc d'obturation a été déverrouillé et les opérations de récupération ont débuté. À 22 h 30, le bloc d'obturation était hors de l'eau et on s'apprêtait à couper les pattes de piliers, les câbles de guidage et le support de balise afin de faciliter la fixation du bloc.

À 01 h 00 le 12 juin 1982, on a commencé à installer les poutres de soutien. On a ensuite assemblé la charpente de la glissière autour du bloc d'obturation, afin de pouvoir débrancher le tube conducteur marin. Le bloc d'obturation a alors été glissé dans la rainure en T entre les deux blocs d'obturation *Neddrill* pour être ramené à St. John's.

À 07 h 00, le bouchon anti-corrosion a été descendu jusqu'à la tête de puits sur la tige de forage. Le bouchon a été mis en place à 07 h 30 et l'on a débranché la tige de forage.

À 08 h 00, on a commencé à s'occuper des ancres. Le *Boltentor* et le *Nordtor* ont d'abord récupéré les ancres 6 et 7 qui se trouvaient des deux côtés de l'épave de l'*Ocean Ranger* en maintenant une tension sur les câbles d'amarrage et en exerçant une traction pendant qu'on les remontait sur les guindeaux. Rien ne laissait supposer que l'épave de l'*Ocean Ranger* fut dérangée pendant cette opération. On a ensuite récupéré les ancres de tribord. L'examen des câbles 6 et 7 a révélé que quelques torons étaient cassés.

À 14 h 30, toutes les ancres étaient récupérées, les hydrophones étaient retirés et le système de câbles tendus était remonté. Les navires ont alors fait route sur St. John's. Pendant le trajet, les longueurs de tige de forage de l'*Ocean Ranger* ont été soulevées, démontées et empilées.

Les navires sont arrivés à St. John's à 08 h 00, le 13 juin 1982. On a demandé à Mobil Oil de garder en lieu sûr la tige cisailée et l'outil de

débranchement, en attendant la décision de la Commission royale relativement à leur emploi.

Il semble qu'en aucun temps l'épave de l'*Ocean Ranger* n'ait été dérangée pendant cette opération.

Robert M. Harvey  
Derek C. Strong  
Edward P. Lannon

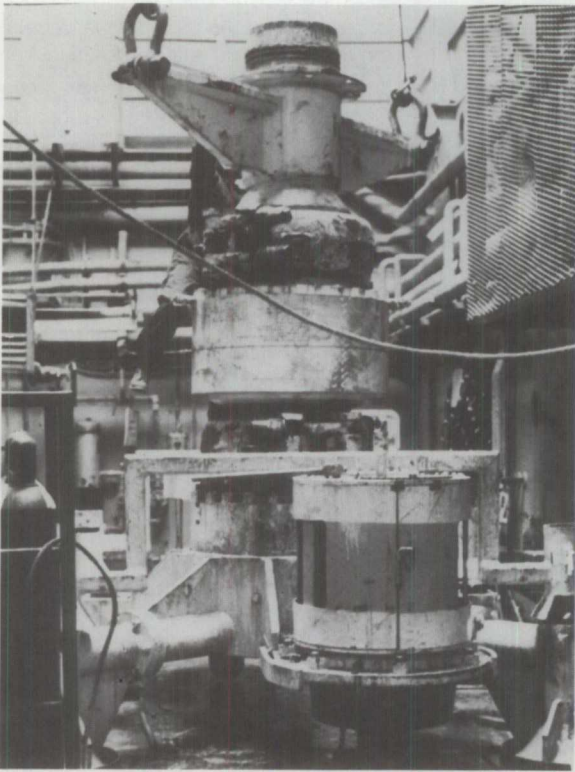


FIGURE 1 Garniture du tube conducteur marin inférieur (LMRP) de l'*Ocean Ranger*

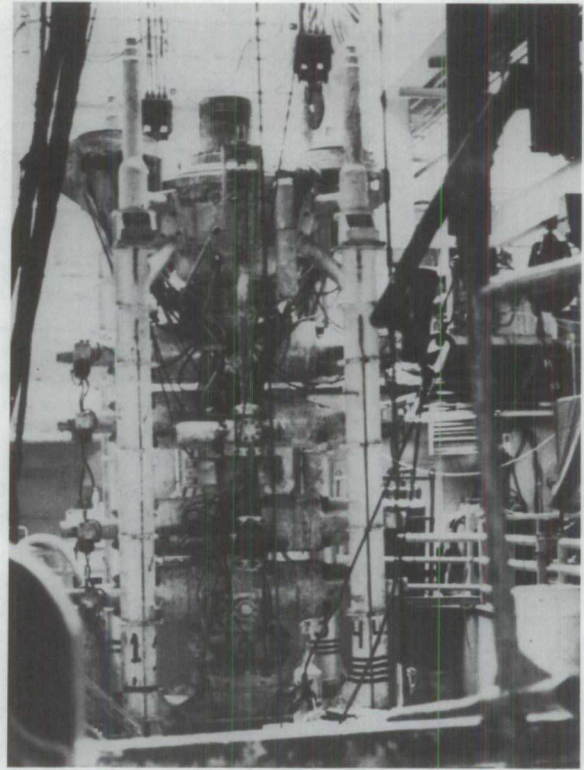


FIGURE 2 Bloc d'obturation de l'*Ocean Ranger* (juin, 1981)

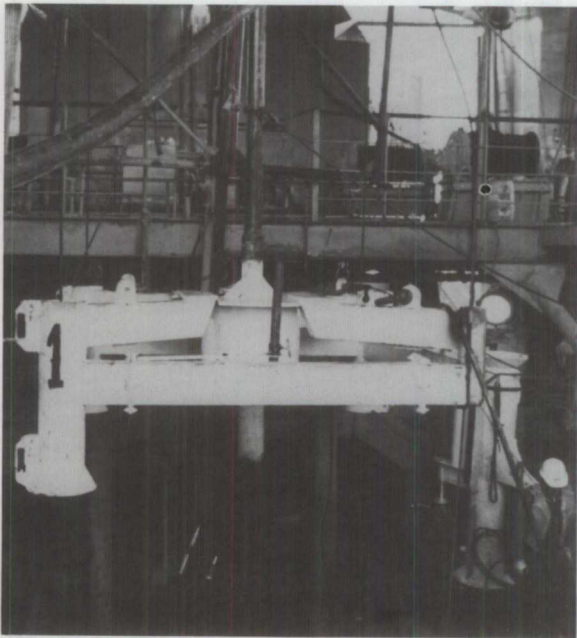


FIGURE 3 Gabarit de mesure du tube conducteur marin inférieur

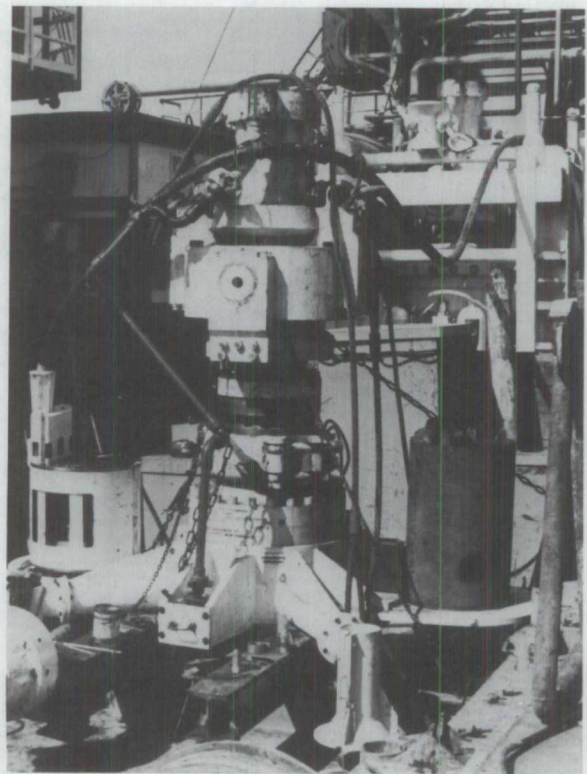


FIGURE 4 Ensemble LMRP de Mobil pour la rentrée à Hibernia J-34. Remarque: Une seule cosse de contrôle a été installée.



FIGURE 5 Fluide de forage pompé du puits J-34

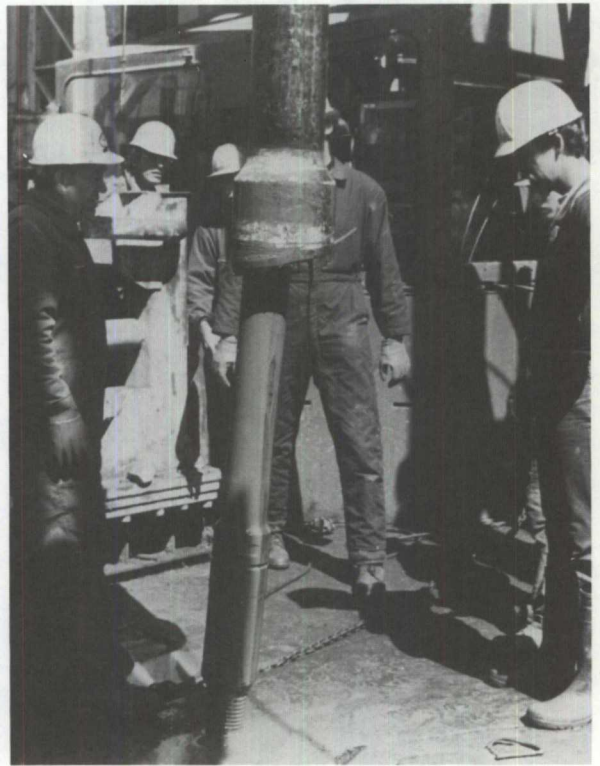


FIGURE 6 Fraise retirée du trou avec un morceau de garniture coincé dans sa gorge. Remarquez la partie supérieure de l'outil de débranchement.



FIGURE 7 Fraise utilisée pour meuler l'extrémité cisillée de la tige de forage

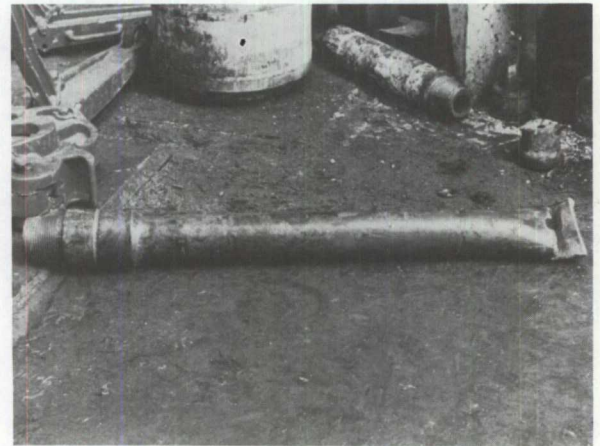


FIGURE 8 Tige cisillée retirée de la fraise

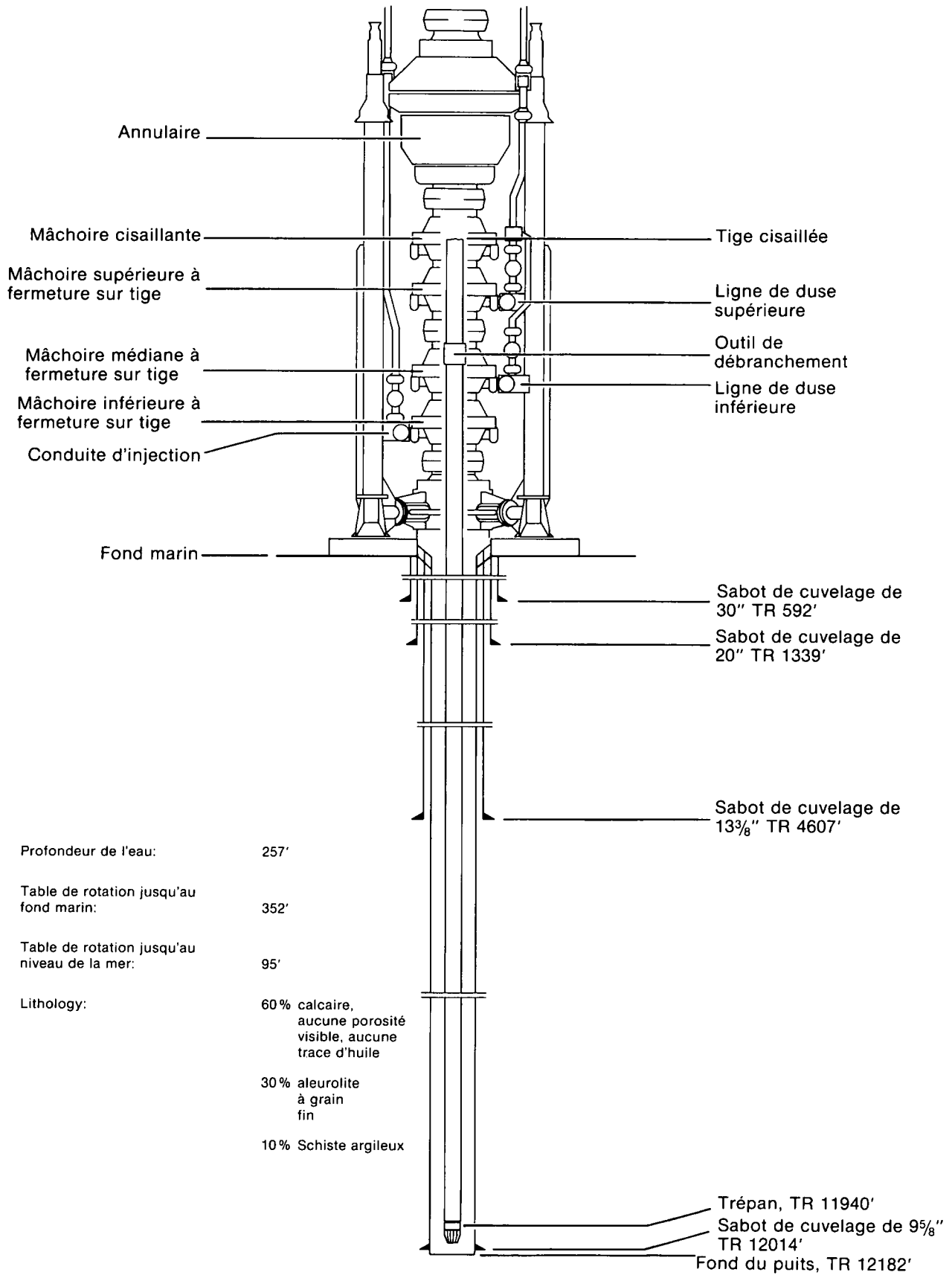


FIGURE 9 Schéma du puits Hibernia J-34





FIGURE 10 Outil de débranchement de l'*Ocean Ranger*. La partie inférieure cylindrique à grand diamètre en acier est conçue pour s'appuyer sur les mâchoires du bloc d'obturation

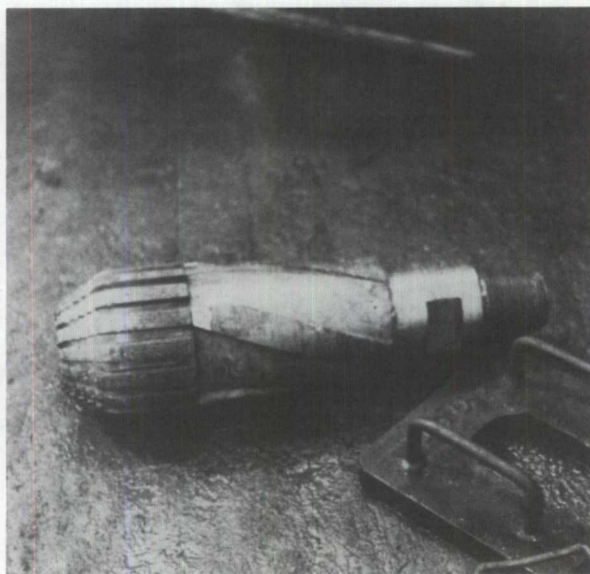


FIGURE 11 Trépan de l'*Ocean Ranger*

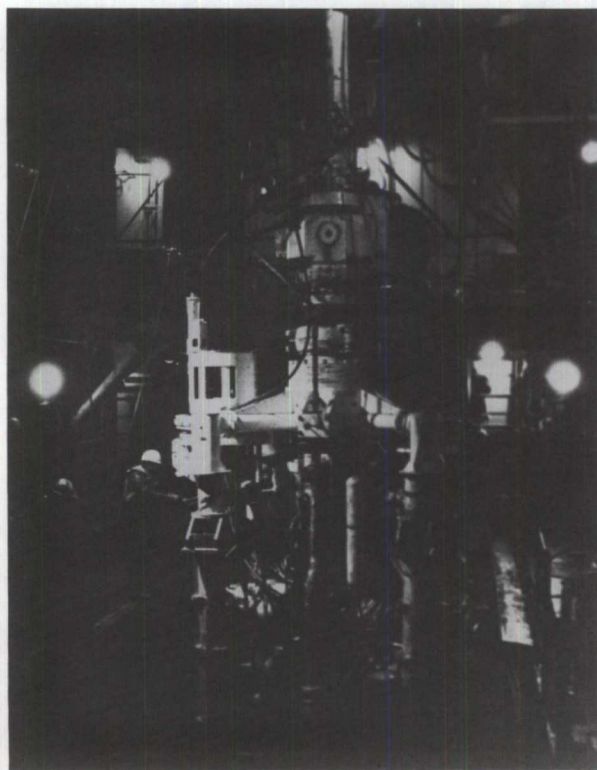


FIGURE 12 Bloc d'obturation de l'*Ocean Ranger* dans le puits central du *Neddrill 2*

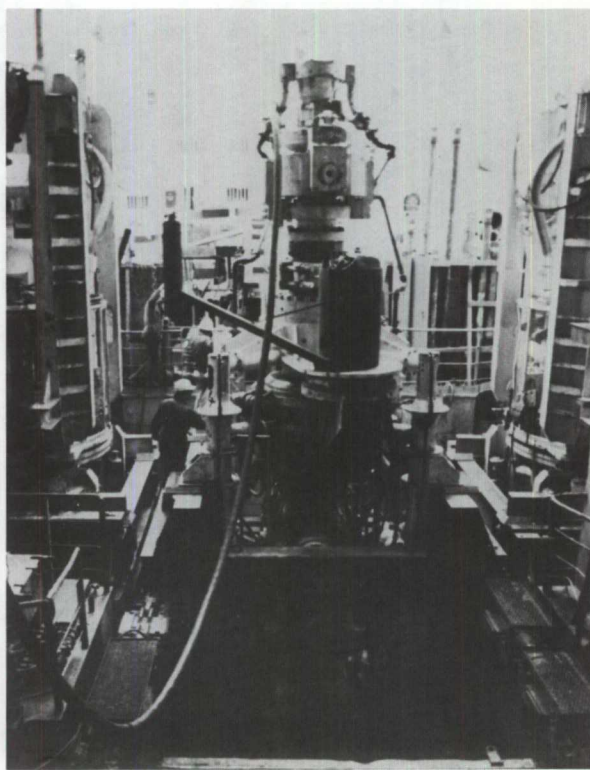


FIGURE 13 Bloc d'obturation ramené

**APPENDICE F-2****Articles récupérés à la faveur de la mission de plongée ordonnée par la Commission royale**

1. Une section de la jambe de la plate-forme comportant un hublot au verre cassé et son contre-hublot en place.
2. Un hublot au verre intact et son contre-hublot en place.
3. Un hublot au verre cassé et son contre-hublot en place.
4. Deux sections horizontales du panneau d'instruments (sans les interrupteurs) provenant de l'extrême gauche et de l'extrême droite du panneau de contrôle des ballasts.
5. Interrupteurs et lampes témoins des panneaux ci-dessus.
6. Deux sections horizontales du panneau d'instruments provenant du centre du panneau de contrôle, avec les interrupteurs.
7. Six bancs de soupapes pneumatiques à commande par solénoïdes; 18 tiges de commande manuelle insérées dans les soupapes à commande par solénoïdes.
8. Huit paquets de livres et de documents retirés de la salle de contrôle des ballasts.

## APPENDICE F-3

## Rapports techniques, A à I,

préparés par le

Laboratoire des techniques de sécurité aérienne,  
Bureau de la sécurité aérienne,  
Transports Canada.

RAPPORT A	<b>Examen des hublots</b>
RAPPORT B	<b>Essais de pression des verres des hublots</b>
RAPPORT C	<b>Analyse des soupapes à commande par solénoïdes</b>
RAPPORT D	<b>Analyse des panneaux schématiques de contrôle des ballasts</b>
RAPPORT E	<b>Analyse des ampoules du panneau de contrôle des ballasts</b>
RAPPORT F	<b>Essais du panneau de contrôle des ballasts</b>
RAPPORT G	<b>Analyse des circuits électriques de contrôle des ballasts et analyse globale</b>
RAPPORT H	<b>Démonstration des défaillances des interrupteurs des pompes</b>
RAPPORT I	<b>Analyse des défaillances des micro-contacts</b>

[Note du rédacteur : Avec l'approbation de l'auteur, on a apporté certains changements à la rédaction de ses rapports pour faciliter la publication.]

**RAPPORT «A»  
RAPPORT TECHNIQUE  
EP 266/82  
EXAMEN DES HUBLOTS  
8 septembre 1983**

## INTRODUCTION

**1.1** Le 15 février 1982, l'*Ocean Ranger*, installation de forage mobile, a chaviré et coulé pendant une forte tempête à 180 milles au large de la côte de Terre-Neuve. Les 84 hommes qui se trouvaient à bord ont tous péri. La Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger* a demandé au Laboratoire des techniques de sécurité aérienne, du Bureau de la sécurité aérienne de Transports Canada, de l'aider dans ses travaux en faisant certains essais et analyses concernant trois hublots qui lui ont été envoyés avec lettre d'accompagnement datée du 3 août 1982.

**1.2** La Commission demandait formellement au Laboratoire de tenter de déterminer ce qui suit :

- le type de verre utilisé dans les hublots;
- la pression uniforme requise pour faire éclater le verre du hublot reçu en bon état;
- la direction des forces qui ont fait éclater le verre des deux autres hublots;
- de quelle façon le verre a été enlevé dans l'un des hublots reçus;
- les contre-hublots étaient-ils ouverts ou fermés lorsque le verre a éclaté;
- le couple requis pour desserrer les boulons des contre-hublots;
- autres remarques relatives aux dommages subis par les hublots.

**1.3** D'autres communications avec la Commission royale le 14 décembre 1982 ont permis d'identifier plus spécifiquement les hublots reçus. La partie des plans n° P-0403 de la salle de contrôle des ballasts a été consultée, et un point de référence B4, tel qu'il est indiqué sur le plan, a permis de localiser le hublot intérieur arrière qui était identifié Hublot n° 1. Les hublots ont été subséquentement numérotés en sens anti-horaire 1-4 sur le plan. Les hublots reçus ont été encore identifiés ainsi qu'il suit :

N° 1 — Hublot arrière intérieur, cassé, contenant des fragments de verre. Ce hublot a été enlevé pendant les plongées d'inspection afin de pouvoir pénétrer dans la salle de contrôle des ballasts;

N° 2 — Hublot non brisé (à utiliser pour l'essai d'éclatement);

N° 4 — Hublot, un de deux, placé dans une plaque de garniture «de présentation». Cassé, ne contenant pas de fragments de verre.

Il a été indiqué que les trois hublots reçus avaient été récupérés pendant les plongées d'inspection postérieures au désastre.

## EXAMEN

**2.1** Les trois hublots reçus sont visibles sur la photographie 1, numérotés 1, 2 et 4. Les boulons des contre-hublots des hublots 1 et 4 étaient serrés «à la main» seulement et il a été facile de les enlever (aucune indication de couple). Les boulons du contre-hublot du hublot n° 2 étaient «grippés» dans leurs filets, vraisemblablement à cause de leur immersion dans l'eau de mer. Une fois ces boulons «dégrippés», on a également déterminé qu'ils avaient été serrés à la main et, subséquentement, on a pu les enlever facilement. La force requise pour relâcher les boulons grippés n'était pas directement proportionnelle à la force de serrage réelle appliquée sur le contre-hublot. La photographie 2 fait voir les trois hublots avec leurs contre-hublots ouverts.

**2.2** Un premier examen des hublots tels qu'on les a reçus a été fait. Les mesures pertinentes ont été prises et une brève description de ces dernières a été dressée.

## HUBLOT N° 1, PHOTOGRAPHIES 3 ET 4

Le verre du hublot était cassé, laissant des fragments de verre de façon continue autour de la circonférence du hublot. Les fragments de verre étaient retenus en place par la bague de blocage. L'épaisseur du verre a été mesurée à différents endroits autour de la circonférence et elle était en moyenne de 14,95 mm (0,59 pouce). Le diamètre interne de la bague de blocage du verre a été mesuré en trois points à 120° l'un de l'autre et l'on a calculé qu'il était de 459 mm (18,09 pouces) dans chaque cas, indiquant que la bague n'était pas ovalisée. Le diamètre externe de la bague de blocage, mesuré de la même façon, était de 476 mm (18,74 pouces) dans chaque cas. On a également tenu pour acquis que cette mesure était approximativement égale au diamètre du verre du hublot (après avoir tenu compte du jeu permettant l'expansion du verre).

La surface intérieure du contre-hublot a été examinée au microscope optique. La surface intérieure présentait une teinte brun-doré avec un motif erratique bien distribué de piqûres dues à la corrosion. Les piqûres dues à la corrosion ont été jugées importantes par comparaison avec celles des deux autres contre-hublots. L'importance relative de l'attache corrosive était du genre post-récupération. Il y avait une fine distribution de particules réfléchissantes concentrées sur une partie de la surface intérieure. Les particules étaient en surface, non incrustées, et un échantillon a été

prélevé aux fins d'un examen plus approfondi. L'analyse radioscopique à énergie dispersive a révélé que les particules étaient composées surtout de cristaux de sel considérés résulter de l'évaporation de l'eau de mer. Cependant, l'analyse a révélé qu'une des particules récupérées était une particule de verre. Il ne semblait pas y avoir prédominance d'égratignures minuscules sur la surface intérieure du contre-hublot comme celles qui pourraient être causées par du verre cassé frappant la surface.

#### HUBLOT N° 2, PHOTOGRAPHIES 5 ET 6

Le verre du hublot n° 2 était intact. On n'a trouvé aucune marque visible de dommage. L'épaisseur du verre, mesurée à différents endroits, était en moyenne de 14,7 mm (0,58 pouce). Une règle placée sur la surface du verre a permis de constater que la surface était relativement plate mais qu'il y avait une légère concavité du côté intérieur mesurant 0,20 mm (0,008 pouce) au centre du verre. Le diamètre interne de la bague de blocage mesuré en trois points à 120° l'un de l'autre était de 460 mm (18,11 pouces) dans chaque cas, indiquant que la bague n'était pas ovalisée. Le diamètre externe de la bague de blocage mesuré de la même façon était de 476 mm (18,74 pouces) dans chaque cas. L'examen optique de la surface intérieure du contre-hublot a révélé des piqûres mineures dues à la corrosion à la suite d'une exposition à l'eau salée.

#### HUBLOT N° 4, PHOTOGRAPHIES 7 ET 8

Il n'y avait pas de verre dans le hublot n° 4. Le joint en caoutchouc du verre était en place dans la gorge du joint de la bride de support du verre. Le joint était rompu à un endroit adjacent à la charnière du contre-hublot, photographie 9, mais aucune partie du joint ne manquait. Sur les bords extérieurs de la bride de support du verre et du hublot, on a observé de nombreuses marques de coups et rainures, photographie 10. Ces marques étaient de couleur claire et semblaient être réparties au hasard sur toute la circonférence du hublot. Les marques semblaient résulter de coups concentrés et répétés. Les essais ont démontré que l'orientation et l'importance des marques pouvaient résulter uniquement de coups frappés de l'extérieur du hublot. Elles étaient de couleur claire (indiquant qu'elles étaient récentes) et l'on a déterminé qu'elles ont été faites très vraisemblablement pendant l'enlèvement du hublot de la structure de l'installation de forage. La bague de blocage du verre était toujours en place et la largeur de la gorge qui retenait le verre a été mesurée. La largeur de la gorge mesurée à partir de la partie supérieure du joint était de 14,5 mm (0,59 pouce) et, sans le joint, la gorge mesurait 16 mm (0,63 pouce).

Le diamètre interne de la bague de blocage tel qu'il a été mesuré en trois points à 120° l'un de l'autre était de 459 mm (18,07 pouces) et le diamètre intérieur était de 476 mm (18,74 pouces) dans chaque cas, indiquant qu'elle n'était pas ovalisée. A l'instar du contre-hublot du hublot n° 2, la surface intérieure du contre-hublot du hublot n° 4 présentait de faibles quantités de piqûres dues à la corrosion à la suite d'une exposition à l'eau salée. Il ne semblait pas y avoir prédominance d'égratignures sur la surface intérieure du contre-hublot comme celles qui pourraient être causées par du verre cassé frappant la surface.

**2.3** L'examen détaillé du hublot n° 1 a révélé que les débris de verre étaient inclinés vers le côté intérieur du hublot. A l'aide d'un niveau et d'un indicateur à cadran, il a été possible de mesurer la pente du verre sur la surface extérieure. L'angle calculé de la déclivité de la surface du verre était de 2,3 degrés. La direction de la pente du verre indique qu'une force agissant vers l'intérieur sur le verre a entraîné la rupture. La bague de blocage a été sortie du hublot et le verre enlevé, photographie 11. Le joint en caoutchouc du verre a été trouvé intact et en place dans sa gorge. L'une des caractéristiques distinctives des fragments de verre était le motif des fissures, photographie 12. Dans tous les cas, la surface extérieure du verre avait pris la forme de ce que l'on pourrait appeler «une lèvres de cisaillement». Ce motif de fissures est caractéristique d'un bris par surcharge de pliage, la direction de la force agissant à partir de l'extérieur sur le côté intérieur du verre.

**2.4** L'examen détaillé du hublot n° 4 a révélé une «lèvre» métallique saillante sur la bague de blocage, photographie 13. Cette lèvre était continue sur la circonférence de la bague du côté adjacent au verre. La bague a été enlevée et examinée plus à fond. La photographie 14 montre une coupe transversale polie et attaquée chimiquement de la bague de blocage du hublot n° 4 illustrant la lèvre saillante. L'examen de la structure du matériau à proximité de la lèvre a révélé un motif de refoulement du matériau, motif révélateur d'une déformation de la bague à ce point par cisaillement. Aux fins de comparaison, une coupe de la bague a été faite à 180° par rapport à la section montrée sur la photographie 14. La magnitude de la déformation par cisaillement ne semblait pas différer d'une quelconque quantité mesurable. Ce motif de déformation par cisaillement et la lèvre saillante continue autour de la circonférence de la bague indiquent que la rupture du verre s'est produite vers l'intérieur comme résultat d'une charge ayant un impact puissant et uniformément distribuée sur la surface du verre. Un examen identique de la coupe transversale de la bague du hublot n° 1 a été fait. Il

n'y avait pas de lèvre saillante ni de signe évident de déformation par cisaillement sur la surface de la bague adjacente au verre.

**2.5** L'examen métallurgique de la microstructure des bagues de blocage a révélé une étroite bande de lignes de glissement de déformation (caractérisées par un motif de hachures transversales) juste sous la surface de la bague qui s'accouple au verre, photographies 15 et 16. Le motif des lignes de glissement se prolongeait plus loin sous la surface de la bague du hublot n° 4 et, il était beaucoup plus évident dans la partie de la lèvre saillante, photographie 17. Des lignes de glissement se forment sous l'effet de la déformation du matériau et sont caractérisées par un motif de hachures transversales.

**2.6** L'analyse radioscopique à énergie dispersive a révélé que le matériau de la bague de blocage du verre du hublot était un alliage coulé de cuivre et de bronze contenant du plomb, de l'étain et du zinc comme éléments d'alliage. Les tests de degrés Brinell des sections transversales des bagues ont donné des chiffres de Brinell de 40-45 (BHN, charge de 500 kgm) dans le cas des deux bagues.

**2.7** Le motif granulaire du bris du verre du hublot n° 1 et l'absence de tout éclat pointu caractéristique sont typiques des bris du verre trempé. L'examen du verre n'a pas révélé de laminations et l'on a conclu que le verre utilisé pour ce hublot était du verre trempé.

#### EXPOSÉ

**3.1** L'analyse métallurgique des bagues de blocage indique que les charges appliquées sur le verre du hublot n° 4 étaient d'une magnitude supérieure et ressemblaient plus à un impact que les charges appliquées sur le verre du hublot n° 1. Nous estimons qu'il est très probable que le verre du hublot n° 4 a éclaté à cause de l'impact dynamique d'une vague de l'océan. D'autre part, l'absence de toute déformation importante du matériau de la bague de blocage du hublot n° 1 laisse plutôt supposer un état de charge statique. Des charges de pression statiques seraient appliquées comme résultat d'un enfoncement jusqu'au fond marin s'il y avait une pression différentielle dans le verre. Ceci aurait nécessité que le contre-hublot soit fermé et scellé, emprisonnant ainsi une poche d'air du côté intérieur du verre. Les charges de pression statiques seules n'auraient pas été suffisantes pour faire éclater le verre du hublot. Toutefois, un coup concentré au moyen d'un objet pointu aurait pu facilement faire éclater du verre trempé surtout s'il était déjà soumis à une charge de pression. Par conséquent, nous estimons que le verre a été vraisemblablement frappé par un objet quelconque pendant qu'il était sous l'eau.

**3.2** Si l'on avait observé des particules de verre incrustées dans la surface intérieure du contre-hublot du hublot n° 4, ou si des égratignures caractéristiques avaient été observées sur cette surface, une conclusion positive aurait pu être tirée à savoir que le contre-hublot était fermé lorsque le verre a éclaté sous l'effet des charges dynamiques imposées par l'impact des vagues. Même si ce n'est pas une preuve nécessairement concluante, l'absence de telles marques-témoins laisse croire que le contre-hublot du hublot n° 4 était ouvert à ce moment-là.

#### CONCLUSIONS

**4.1** Le type de verre utilisé dans les hublots était du verre trempé.

**4.2** La pression uniforme requise pour faire éclater le verre du hublot n° 2 sera déterminée par un essai distinct, voir le Rapport B du LTSA, (EP-90/83).

**4.3** Le verre des hublots n° 1 et n° 4 a éclaté comme résultat des forces appliquées vers l'intérieur. Une direction plus définitive de la force par rapport à la surface du verre n'a pu être déterminée.

**4.4** Il y avait des marques de coups répétés sur la bride externe du support du verre du hublot n° 4, lequel ne contenait pas de verre.

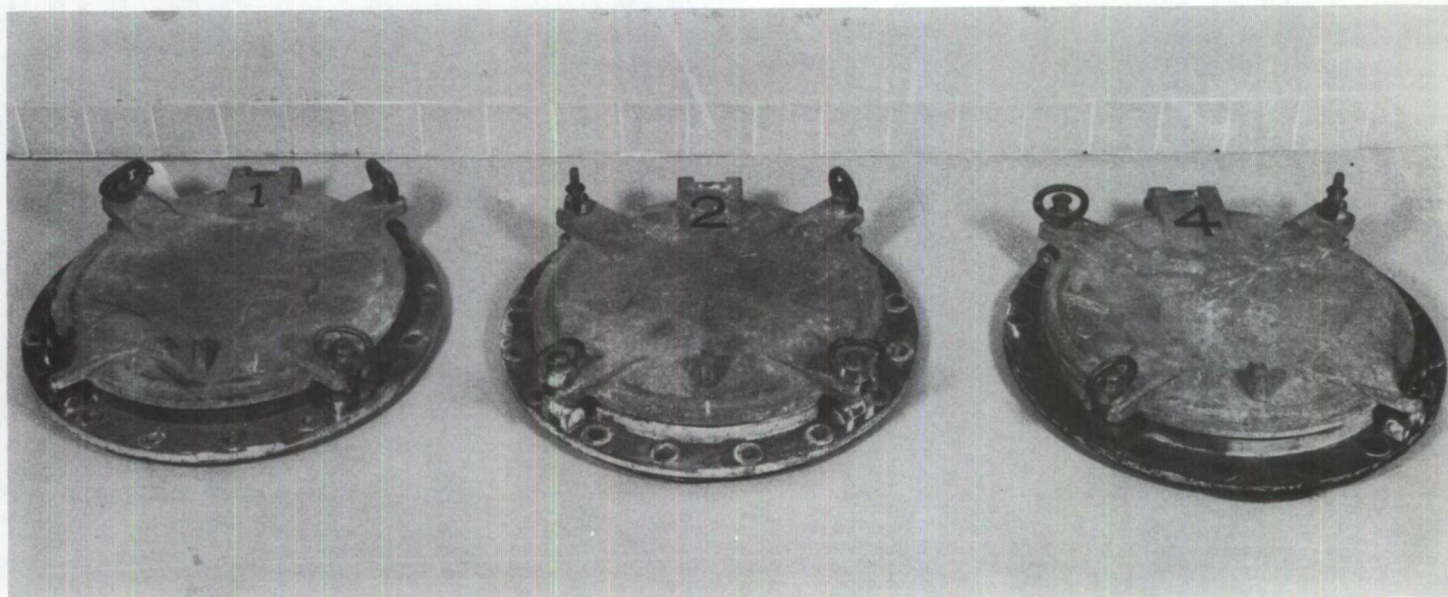
**4.5** Il n'y avait pas suffisamment de marques sur le hublot, marques qui auraient pu permettre de déterminer de façon concluante de quelle façon le verre a été enlevé.

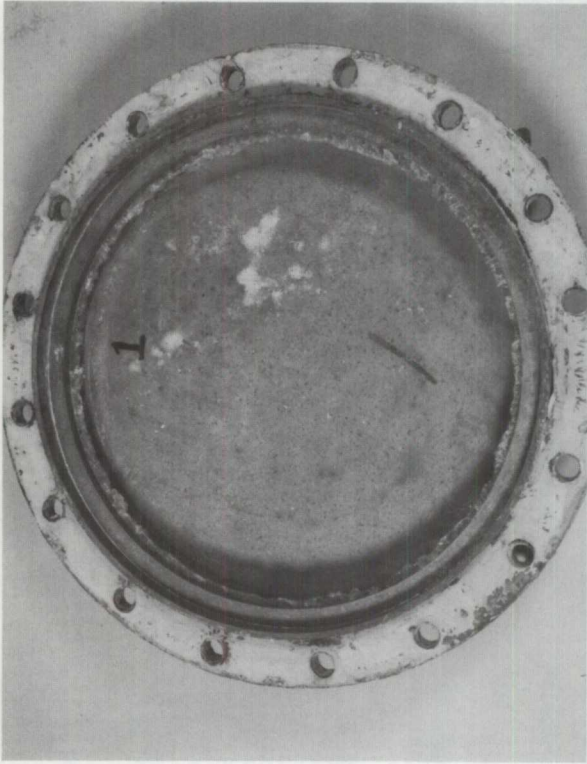
**4.6** L'analyse indique que le verre du hublot n° 1 a probablement éclaté sous l'effet des charges de pression uniformes résultant de l'enfoncement jusqu'au fond marin, combinées à un coup sur le verre pendant qu'il était sous l'eau. Nous concluons également que le contre-hublot était fermé lorsque le verre a éclaté.

**4.7** Le verre du hublot n° 4 a éclaté à cause des charges dues à un impact, vraisemblablement résultant des vagues en surface. Nous avons également estimé que le contre-hublot était probablement ouvert au moment du bris.

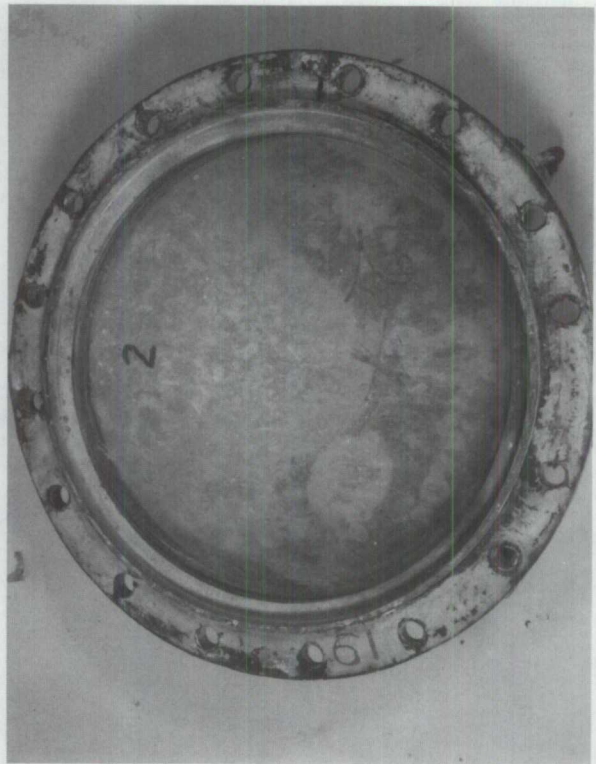
**4.8** Les boulons des contre-hublots des hublots 1, 2 et 4 étaient serrés à la main et nous n'avons pu enregistrer aucun couple important pendant le déblocage.

PHOTOGRAPHIE 1 Hublots tels qu'on les a reçus, avec contre-hublots fermés, identifiés par les chiffres 1, 2 et 4.

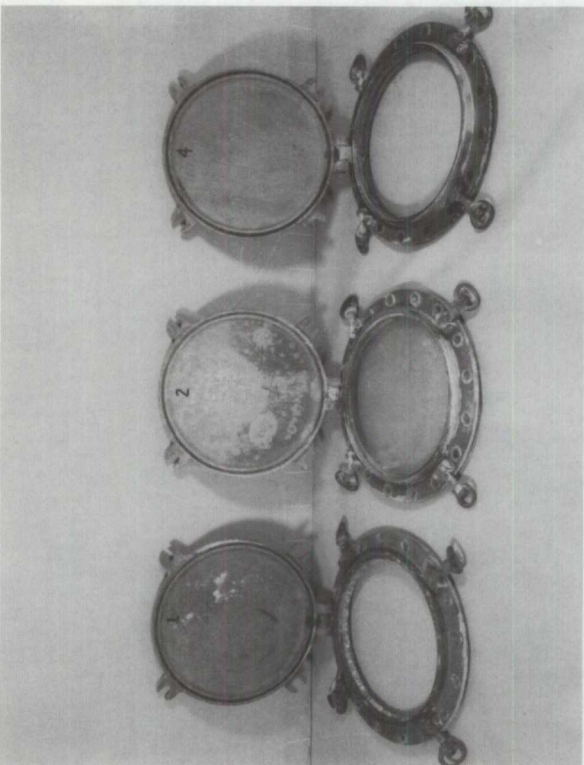




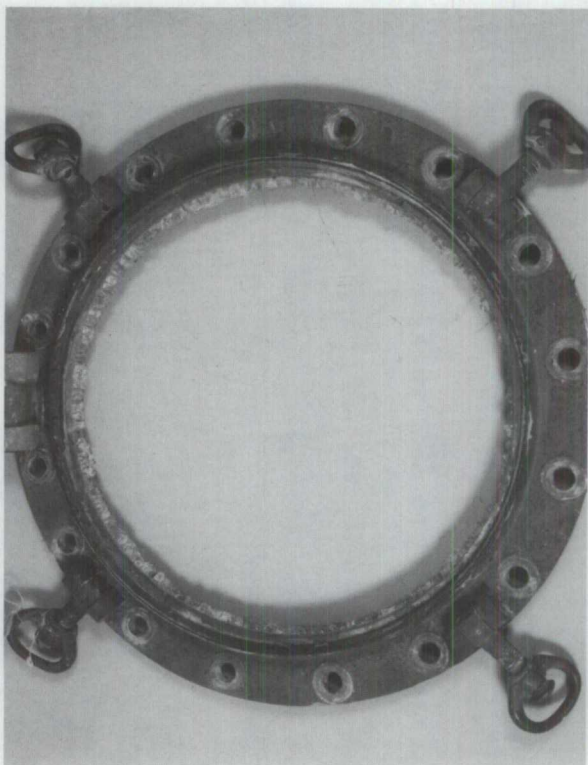
PHOTOGRAPHIE 3 Hublot n° 1, contre-hublot fermé. Vue vers l'intérieur.



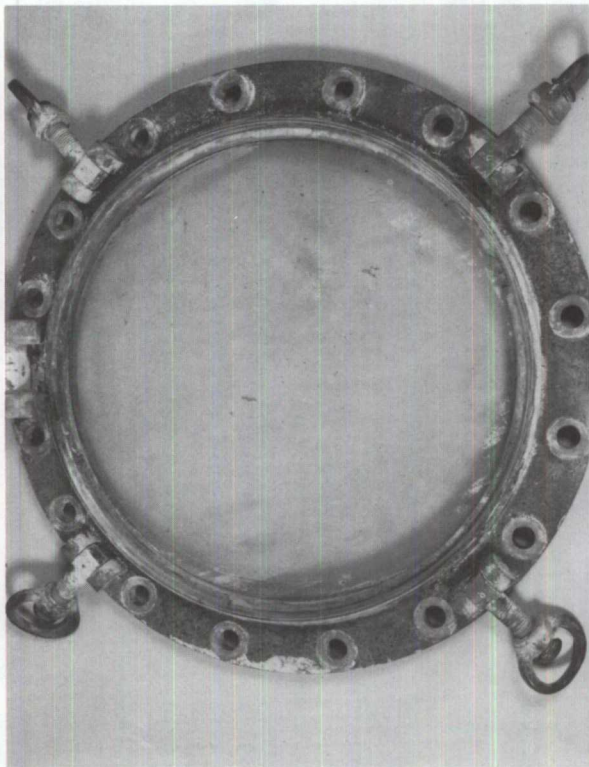
PHOTOGRAPHIE 5 Hublot n° 2, contre-hublot fermé. Vue vers l'intérieur.



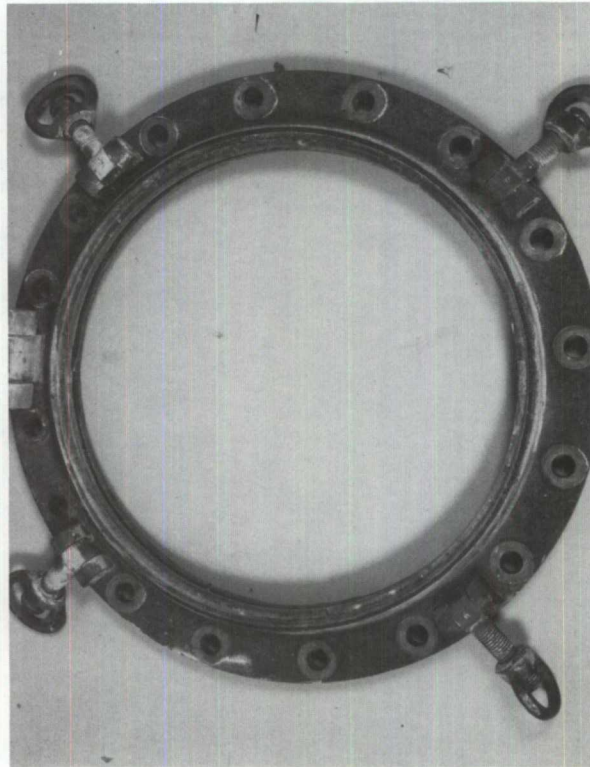
PHOTOGRAPHIE 2 Hublots avec contre-hublots ouverts, montrant l'état du verre dans chaque cas.



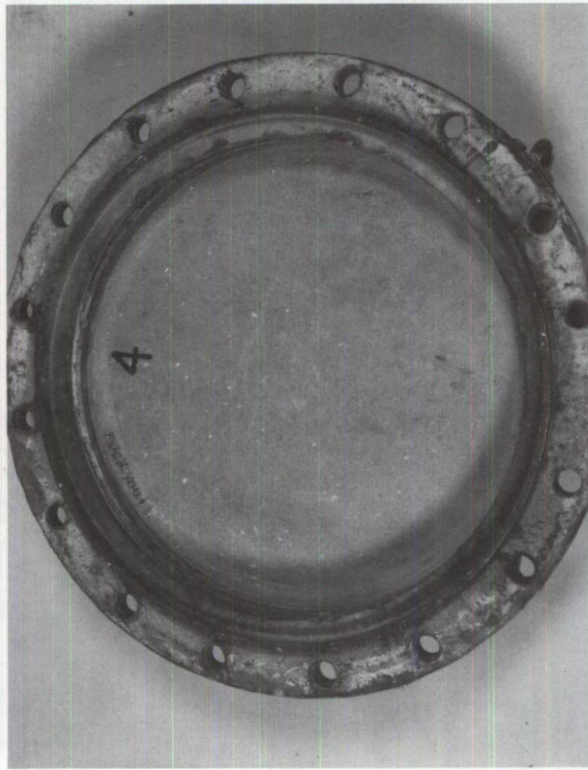
PHOTOGRAPHIE 4 Hublot n° 1, contre-hublot ouvert. Vue vers l'extérieur. Remarquer les fragments de verre en motif continu à la circonférence.



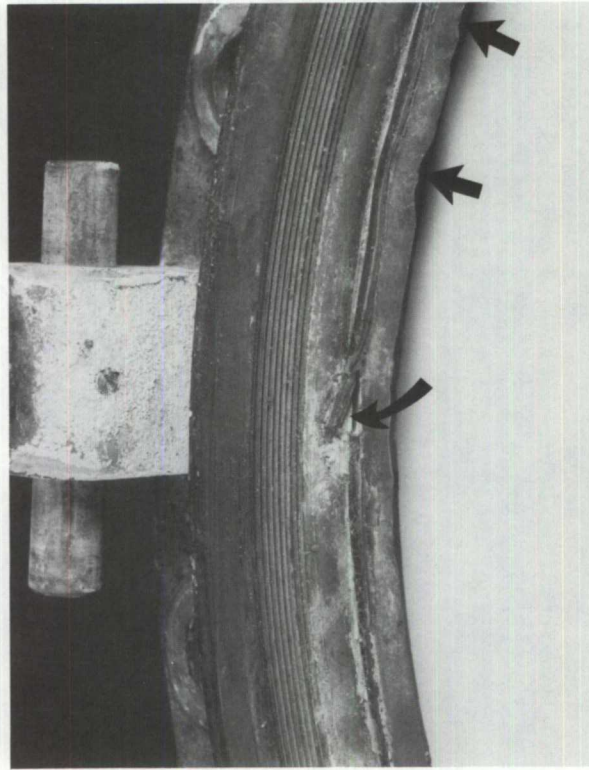
PHOTOGRAPHIE 6 Hublot n° 2, contre-hublot ouvert. Vue vers l'extérieur. Remarquer le verre intact.



PHOTOGRAPHIE 8 Hublot n° 4, contre-hublot ouvert. Remarquer le verre complètement enlevé, aucun fragment.



PHOTOGRAPHIE 7 Hublot n° 4, contre-hublot fermé. Vue vers l'intérieur.



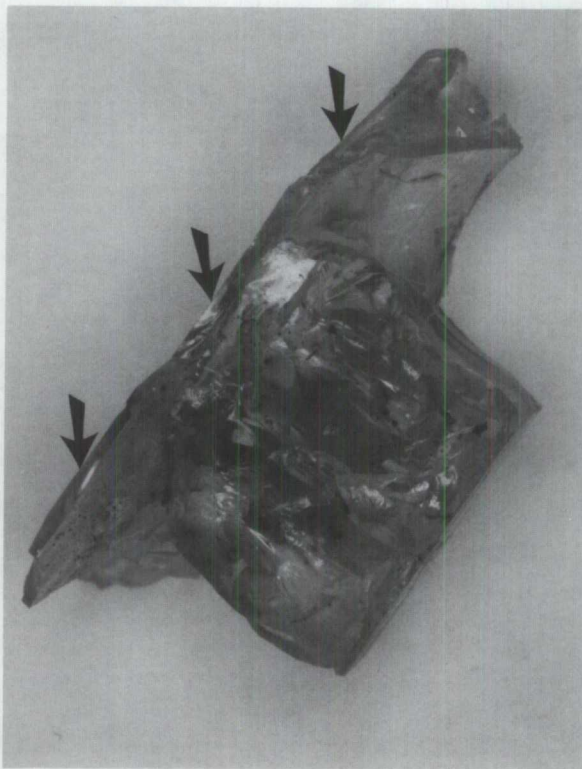
PHOTOGRAPHIE 9 Hublot n° 4, joint d'étanchéité brisé (flèches) près de la charnière du contre-hublot. Remarquer également le profil des marques de coups sur le bord externe du hublot (flèches). Comparer avec la photographie 10.



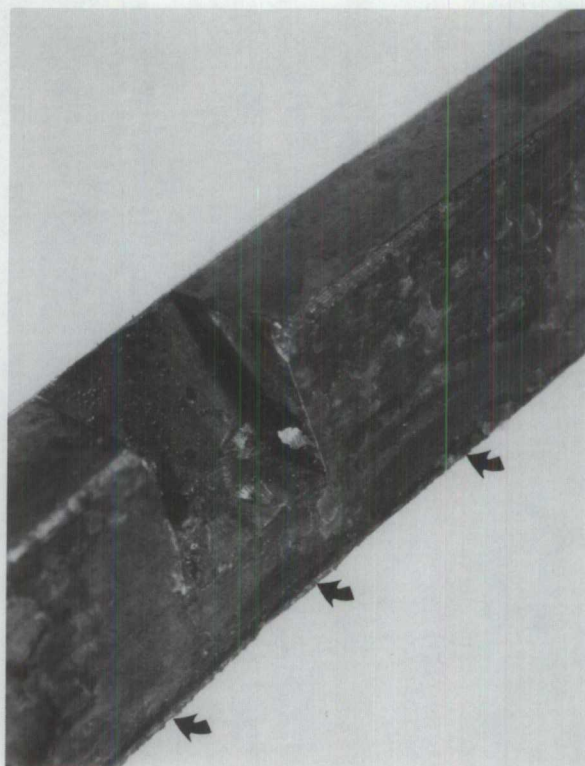
PHOTOGRAPHIE 10 Hublot n° 4, marques de coups et rainures (flèches) sur les bords externes du hublot.



PHOTOGRAPHIE 11 Hublot n° 1, fragments de verre après dépose de la bague de blocage.

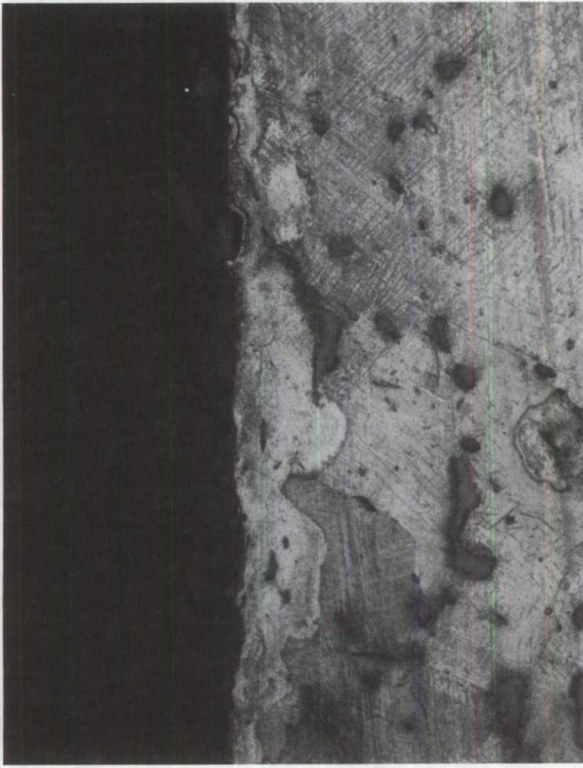


PHOTOGRAPHIE 12 Fragment de verre provenant du hublot n° 1, présentant une «lèvre de cisaillement» distinctive du côté extérieur du verre (flèches).



PHOTOGRAPHIE 13 Bague de blocage du verre du hublot n° 4, présentant une «lèvre» protréante le long du bord interne (flèches).

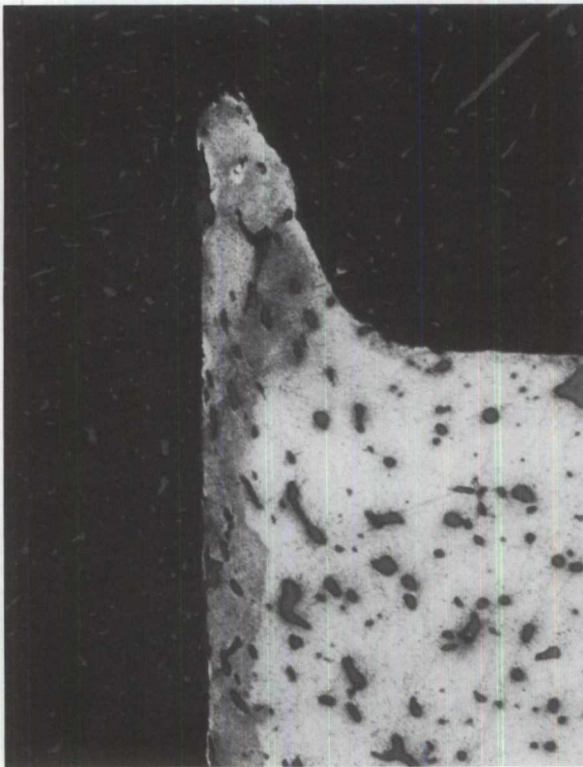




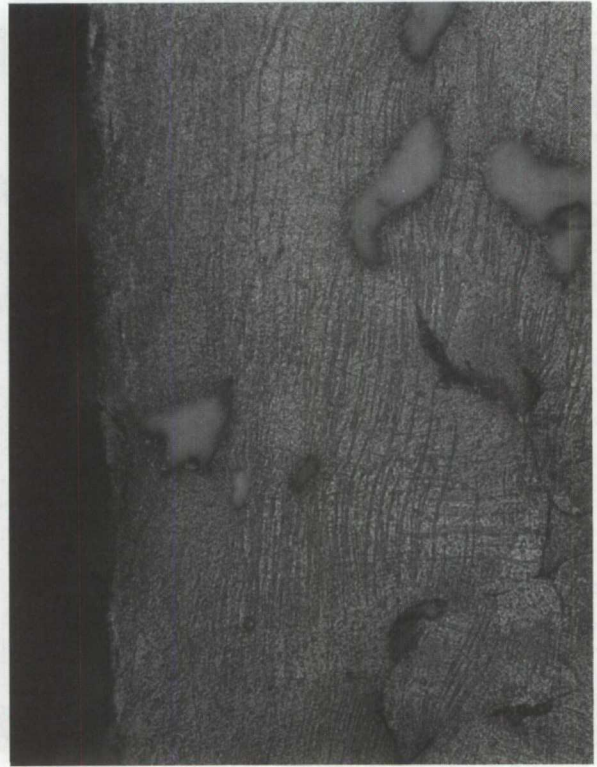
PHOTOGRAPHIE 15 Lignes de glissement de déformation (motif de hachures transversales) adjacentes à la surface correspondante du verre de la bague de blocage du hublot n° 4.



PHOTOGRAPHIE 17 Coupe transversale de la bague de blocage du hublot n° 4, présentant une forte concentration de lignes de glissement de déformation autour de la base de la lèvres protubérante.



PHOTOGRAPHIE 14 Coupe transversale de la bague de blocage présentant une lèvres protubérante du matériau. Remarquer le motif du glissement près de la base de la lèvres, indiquant une déformation du matériau par étirement.



PHOTOGRAPHIE 16 Lignes de glissement de déformation comme dans la photographie 15.

**RAPPORT «B»  
RAPPORT TECHNIQUE  
EP 90/83  
ESSAIS DE PRESSION DES VERRES DES  
HUBLOTS  
8 septembre 1983**

**INTRODUCTION**

**1.1** La Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger* a demandé au Laboratoire des techniques de sécurité aérienne (LTSA), du Bureau de la sécurité aérienne de Transports Canada de l'aider dans ses travaux en faisant certains essais et analyses sur des verres types de hublots de même que sur le hublot #2 récupéré de la salle de contrôle des ballasts de la plate-forme. On a demandé au LTSA de calculer les pressions auxquelles le verre pouvait éclater aux fins de comparaison avec les normes et en vue d'obtenir des données relatives aux pressions d'éclatement devant servir à l'analyse de la force des vagues.

**DESCRIPTION DES TESTS**

**2.1** Un dispositif d'essai illustré sur les photographies 1 et 2 a été fabriqué. Il est constitué d'une épaisse plaque d'acier placée sur un support auquel un hublot est boulonné, d'une conduite d'alimentation en air avec un petit réservoir d'air pouvant fournir suffisamment d'air pour emporter le verre lorsqu'il éclate d'une manière semblable à ce que fait une vague chassant le verre cassé à travers le hublot. Un robinet-vanne, un manomètre et un transducteur de pression ont permis de contrôler et de surveiller la pression pendant les tests.

**2.2** On a utilisé un appareil photographique à grande vitesse et deux caméras vidéo pour filmer chaque test. L'appareil à grande vitesse fonctionnait à 2000 images/seconde afin d'enregistrer l'éclatement, la répartition et la vitesse des fragments de verre. Une caméra vidéo surveillait le manomètre et l'autre la zone des essais, donnant une vue générale du dispositif et de la répartition du verre.

**2.3** Les tests étaient contrôlés par un mini-ordinateur qui chronométrait la mise en marche des caméras vidéo, l'ouverture du robinet-vanne, la mise en marche de la caméra à haute vitesse et l'échappement de l'air à la fin du passage de la pellicule à haute vitesse. En outre, il surveillait et enregistrait la sortie du transducteur de pression pendant tout le test. À la fin du test, les données enregistrées étaient imprimées directement sous forme graphique. Les figures 1 à 5 sont des imprimés d'ordinateur de ces tests.

**2.4** Le verre du hublot de la salle de contrôle des ballasts de la plate-forme avait 1,5 centimètre d'épaisseur et 48 centimètres de diamè-

tre. Le verre du hublot #2 récupéré de l'*Ocean Ranger* portait l'inscription «Tempered Glass». On a tenu pour acquis que le verre a été fabriqué conformément à la norme F2410 de l'industrie japonaise (JIS), dont copie est jointe au présent rapport.

**2.5** On a obtenu du verre pour hublots de deux fournisseurs différents. On a estimé que le verre était fabriqué en conformité avec une norme équivalente, soit la norme JIS-F2410. On a acheté six plaques de verre d'un fabricant canadien et trois autres d'un fabricant japonais. Les neuf plaques de verre avaient toutes à peu près les mêmes dimensions et elles étaient toutes marquées «Toughened» ou «Tempered Glass».

**2.6** La trempe du verre est traditionnellement un procédé de traitement à la chaleur au cours duquel on chauffe lentement la plaque de verre jusqu'à 600 degrés centigrades environ, puis on la refroidit rapidement à l'air. Ce procédé a pour résultat de faire «geler» en compression la couche superficielle du verre, ce qui renforce grandement la plaque. Cependant, lorsque le verre casse, la contrainte interne entraîne de façon «explosive» des milliers de fractures dans le verre, ce qui produit les minuscules fragments rectangulaires caractéristiques du verre trempé.

**2.7** Toutes les plaques de verre, y compris le verre du hublot #2, ont été testées afin de découvrir si le verre était trempé. Le verre a été placé entre deux feuilles de plastique optique polarisant pouvant indiquer les motifs bifrangés caractéristiques des gradients de contrainte résiduelle dans le verre. Les motifs bifrangés de trois types de verre soumis aux tests étaient nettement différents comme on peut le voir sur les photographies 3, 4 et 5. Ceci indique que les méthodes de refroidissement appliquées au cours du procédé de traitement à la chaleur étaient différentes. Le verre de l'*Ocean Ranger* a apparemment été refroidi au moyen d'un jet d'air concentré sur les deux côtés du verre à partir d'un point légèrement décentré, tandis que les verres canadiens et japonais ont révélé très peu de motifs bifrangés beaucoup plus distribués. Les plaques de verre ont été refroidies avec de l'air mieux distribué ayant un effet de refroidissement plus uniforme et donnant un gradient de contrainte interne moindre. Tout le verre soumis aux tests a éclaté en fragments rectangulaires caractéristiques, ce qui démontre une trempe appropriée.

**2.8** L'examen microscopique du verre du hublot #2 a révélé un nombre considérable de piqûres des deux côtés du verre, leur densité étant approximativement d'une piqûre par dix centimètres carrés et leur taille moyenne d'un demi millimètre. Généralement, les piqûres

réduisent la résistance au bris du verre, surtout celle du verre trempé. Afin de déterminer les effets des piqûres, une plaque neuve de verre canadien et une autre de verre japonais ont été piquées à dessin d'une manière similaire au verre de l'*Ocean Ranger*. Leur résistance au bris a été grandement réduite comme on peut le constater au Tableau 1.

**2.9** En tout, douze tests ont été réalisés sur les dix plaques de verre soumises aux essais. Les résultats des six tests les plus révélateurs sont donnés au Tableau 1. L'un de ces tests en était un de pression statique visant à déterminer l'importance de la déformation du verre (bombement) en raison de la pression. La déformation a été mesurée directement au moyen d'un bras de levier sur le verre et d'un indicateur de déplacement. On a déterminé qu'à une pression de 96 lb/po<sup>2</sup> (6,8 kg/cm<sup>2</sup>) le bombement du verre atteignait 7,5 millimètres, causant une rotation angulaire du verre de huit degrés approximativement au bord de la bague de blocage et entraînant une force totale de 120 tonnes ou d'une (1) tonne par centimètre de bague de blocage.

**2.10** Les cinq autres tests énumérés au Tableau 1 étaient semi-dynamiques, c'est-à-dire qu'on a laissé augmenter la pression de l'air aussi rapidement que l'équipement le permettait. Le temps requis pour atteindre la pression d'éclatement était surtout fonction de la résistance du verre et des fuites autour de ce dernier, et il ne pouvait pas être contrôlé sans modifier le montage typique du verre. Tous les résultats de ces tests sont indiqués au Tableau 1 et dans les graphiques 1 à 5.

**2.11** Après avoir fait le test d'éclatement du hublot #2, la bague de blocage du hublot a été soumise à une analyse métallurgique dont les résultats sont joints au présent rapport.

**CONCLUSIONS**

**3.1** Le verre canadien neuf et non endommagé a éclaté juste au-dessus de la pression d'essai de 7 kg/cm<sup>2</sup> (99 lb/po<sup>2</sup>) de la norme F2410 de l'industrie japonaise. Tous les autres verres ont éclaté en deçà de cette norme.

**3.2** Les piqûres en surface ont grandement réduit la résistance au bris du verre.

**3.3** Le verre du hublot #2 de l'*Ocean Ranger* a été trempé différemment de tous les autres verres soumis aux tests.

**3.4** La déformation élastique du verre avant rupture s'est produite sous la forme d'un bombement de 7,5 millimètres à 7 kg/cm<sup>2</sup>.

**3.5** Le verre du hublot #2 de l'*Ocean Ranger* a éclaté à une pression de 4,8 kg/cm<sup>2</sup> (68 lb/po<sup>2</sup>), entraînant une déformation de la bague de blocage, déformation très semblable à celle qui a été constatée dans le cas de la bague de blocage du hublot #4.

**Ministère des transports**  
**Laboratoire des techniques de sécurité**  
**aérienne**  
**Demande interne d'analyses techniques**

**EXIGENCES**

Le hublot n° 2 provenant de la plate-forme de forage Ocean Ranger a été soumis aux tests comme en fait foi le rapport «B» EP 90/83 du LTSA. Après les tests, la bague de blocage du verre a été enlevée. La section de l'analyse des matériaux est requise de faire l'analyse métallurgique de la bague de blocage afin de trouver des indices de déformation du matériau et de faire la comparaison avec les précédentes analyses métallurgiques des bagues de blocage des hublots n°s 1 et 4. Renvoi au rapport «A» du LTSA, (EP 266/82).

2 août 1983

M. Vermij

**CONCLUSIONS**

1. L'examen approfondi de la bague de blocage du verre du hublot n° 2 a été fait in-situ avant les tests de pression. Il n'y avait pas d'indice de lèvres de matériau sur la bague. La photographie 1 montre le hublot n° 2 monté sur le dispositif d'essai, suivant le test de pression jusqu'à l'éclatement du verre. La bague de blocage du verre a été enlevée, nettoyée à la brosse et examinée au microscope optique. Une «lèvre» continue de matériau a été observée sur toute la circonférence de la bague du côté adjacent au verre, voir les photographies 7 et 8. Cette lèvre de matériau était très semblable de par sa nature à la lèvre saillante observée sur la bague de blocage du verre du hublot n° 4, voir la photographie 9.

2. La bague de blocage du verre du hublot n° 2 a été sectionnée transversalement et montée aux fins de l'examen métallurgique. La photographie 5 montre une coupe transversale de la bague et illustre la lèvre saillante de matériau, laquelle est de nature généralement identique à la vue en coupe de la lèvre relevée dans la bague du hublot n° 4, photographie 6. L'effet de la déformation du matériau est révélé par le motif du refoulement à proximité de la lèvre, également généralement similaire dans les deux bagues comparées.

3. L'analyse radioscopique à énergie dispersive a indiqué que le matériau de la bague de blocage du verre du hublot n° 2 était un alliage de cuivre et de bronze coulé contenant du plomb, de l'étain et du zinc comme éléments d'alliage. Les essais de degré Brinell effectués sur les sections transversales des bagues ont donné des valeurs se situant dans la gamme de 40-45 des degrés Brinell (BHN, charge de 500 kgm, bille de 10 mm), ce qui a été mesuré précédemment dans le cas des bagues des hublots 1 et 4. Les valeurs du matériau et les degrés de dureté se comparaient favorablement dans le cas des trois bagues soumises aux tests (hublots 1, 2 et 4).

4. L'attaque chimique de la section transversale de la bague du hublot n° 2 n'a révélé que de légères lignes de glissement de déformation résultant d'une déformation du matériau. Le degré de ce motif de déformation était beaucoup moindre que celui qui a été observé dans la section transversale du hublot n° 4 et plus identique, en degré, aux motifs de déformation observés dans le cas de la section transversale de la bague du hublot n° 1.

5. À partir des résultats du test de pression du hublot n° 2, il a été indiqué que le test a été réalisé à un taux de pression de 27

lb/po<sup>2</sup>/seconde approximativement, l'éclatement du verre se produisant à environ 2,5 secondes. Dans ces conditions, la nature du test est jugée essentiellement dynamique, même si l'on ne croit pas que le verre du hublot n° 4 ait subi la même charge d'impact dynamique, lequel est jugé avoir éclaté sous l'impact des vagues. Les ressemblances des lèvres de déformation sur les bagues de blocage provenant des hublots n° 2 et n° 4 et l'absence de lèvre de déformation sur la bague du hublot n° 1 (qui a éclaté dans des conditions de pression plus statique) révèlent que la lèvre de déformation sur la bague de blocage du verre résulte d'une charge dynamique.

6. Les différences relatives dans le degré des motifs des lignes de glissement de déformation des bagues de blocage des hublots n° 1, n° 2 et n° 4 sembleraient être fonction de la nature de la charge imposée sur le verre. La bague de blocage du hublot n° 4 présente le degré le plus élevé de motifs de lignes de glissement et c'est également celle que l'on juge avoir été soumise au degré le plus élevé de charge résultant de l'impact.

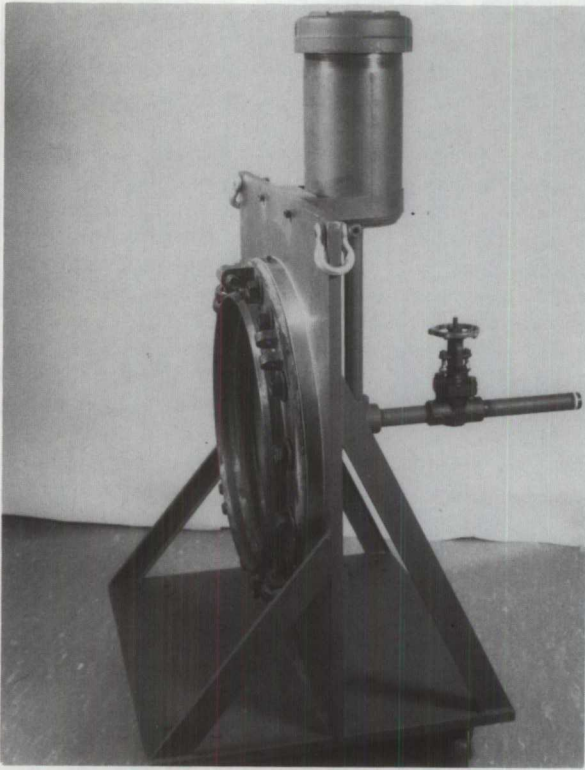
31 août 1983

J.W. Hutchinson

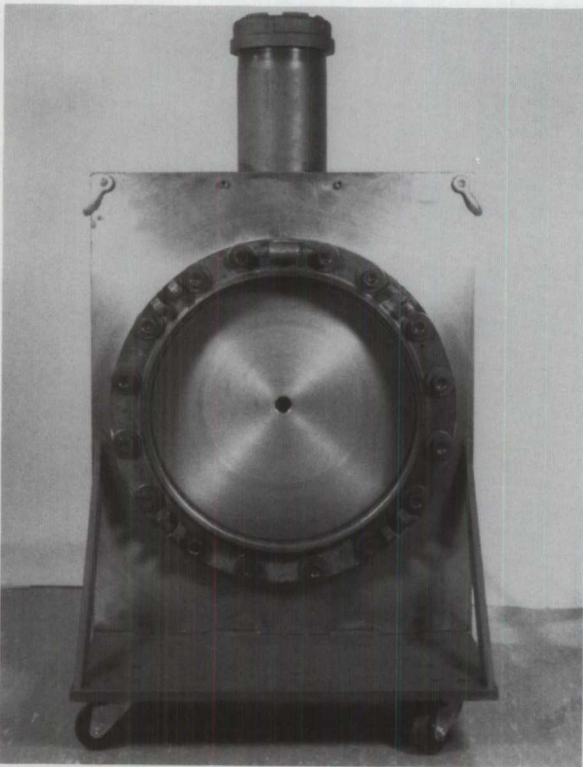
NUMÉRO DU TEST	RENOI RÉSULTAT DU TEST	ORIGINE DU VERRE	ÉTAT	PRESSION JUSQU'AU POINT DE RUPTURE		TEMPS JUSQU'AU POINT DE RUPTURE (SEC)
				kg/cm <sup>2</sup>	lb/po <sup>2</sup>	
1		Japon (neuf)	propre	6,8	96	Statique
2	6	Canada (neuf)	propre	7,4	105	5,7
3	11	Japon (neuf)	propre	6,8	96	7,0
4	7	Ocean Ranger	piqué	4,8	68	2,9
5	8	Canada (neuf)	piqué	5,6	79	3,4
6	10	Japon (neuf)	piqué	3,6	51	6,6

RÉSULTATS DES TESTS DE PRESSION

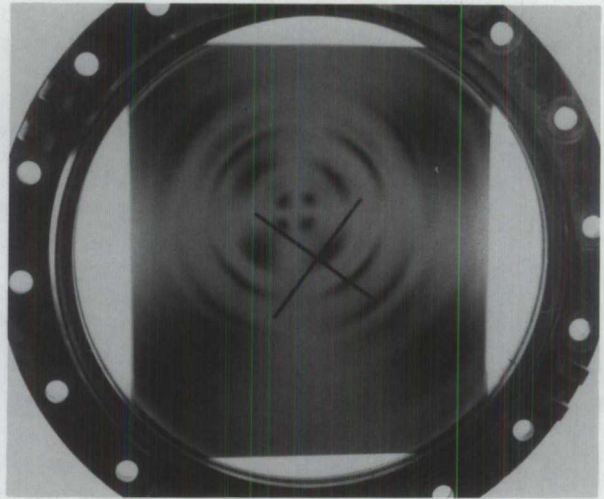
TABLEAU 1



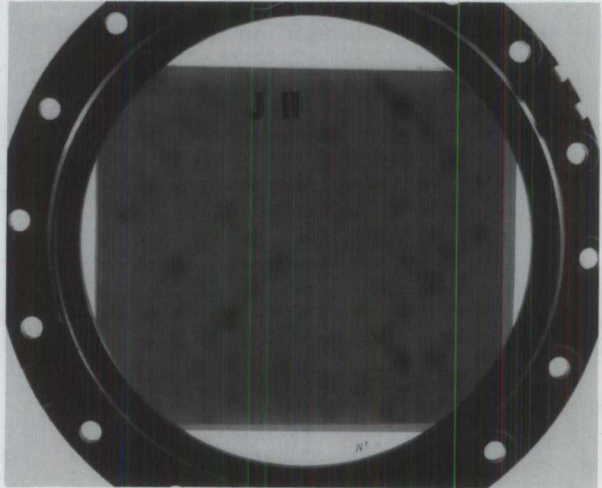
PHOTOGRAPHIE 1 Vue latérale du dispositif d'essai des verres des hublots.



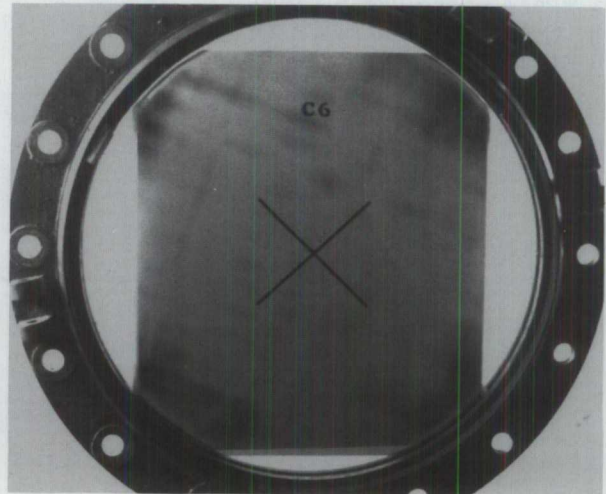
PHOTOGRAPHIE 2 Vue de face du dispositif d'essai des verres des hublots.



PHOTOGRAPHIE 3 Motif bifrangé du verre du hublot #2 de l'*Ocean Ranger*, indiquant des gradients de contrainte élevés.



PHOTOGRAPHIE 4 Motif bifrangé du verre japonais (neuf), indiquant des gradients de contrainte peu importants.



PHOTOGRAPHIE 5 Motif bifrangé du verre canadien (neuf), indiquant des gradients de contrainte faibles.

# F 2410-1955 Tempered Glasses for Ships' Side Scuttles

## 1. Scope

1.1 This standard covers the tempered glass for ships' side scuttles (hereinafter referred to as the "tempered glass").

## 2. Class

2.1 Tempered glass shall be classified into the following two classes:

- (1) Transparent tempered glass
- (2) Ground tempered glass

## 3. Dimensions and Dimensional Tolerance

3.1 Dimensions of tempered glass shall be in accordance with Table 1.

Nominal diameter	Dimensions of glass	
	Diameter	Thickness
200	212	10, 12
250	262	
300	312	10, 12
350	362	15
400	412	

3.2 Dimensional tolerances of tempered glass shall be in accordance with Table 2.

Diameter	Tolerance	
	Thickness	Tolerance
212	10	
262	12	
312	± 1.0	± 1.0
362		
412		

## 4. Quality

4.1 In addition to the quality of tempered glass specified in Table 3, its characteristic shall fulfill the following requirements; namely, the clearance test, impact test and pressure test specified in 5.3, 5.4 and 5.5 respectively.

Table 3

Kinds of defect	Specifications for quality
Bubbles, stones, knots, striates and frams	In accordance with the specification for the standard product of 32" x 24" or less size given in Table 4 of JIS R 3202: Polished Plate Glass.
Spots, cloudings, and scratches	No remarkable interference for practical purpose.
Grizzles	Not to have
Edge chippings	Within 3 mm towards inside from the circumference
Overall appearance	No permissible defects shall be concentrated
Ground surface of tempered glass	No part left on the ground surface through which clearly seen a perspective image.

## 5. Method of Test

5.1 Measuring Method of Dimensions The thickness of the tempered glass shall be measured by a micrometer with an accuracy up to 1/100 mm, and the thickness shall be determined by counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest.

5.2 Appearance The visual inspection of the tempered glass shall be performed by naked eyes at a distance of approximately 50 cm from the front face of the sample.

### 5.3 Clearance Test

(1) Supporting Method of Sample The sample shall be set on the surface plate, as shown in Fig. 1, so as to make a concentric circle with the inside circle of the surface plate. Further, a weight of approximately 5 kg shall be loaded on the central part of the sample.

(2) Surface Plate The surface plate having a hole of 12 mm less than the diameter of the sample shall be used as shown in Table 4.

Unit: mm	
Diameter of sample (A)	Diameter of inside circle (B)
212	200
262	250
312	300
362	350
412	400

(3) Measuring Method The clearance between the circumference of the sample and its surface plate shall be measured by a clearance gauge choosing any point which equally divides the circumference into three parts.

(4) Condition of Acceptance When the mean value of the measurement at the three points falls within 0.5 mm, the products shall be accepted.

### 5.4 Impact Test

(1) Supporting Method of Sample The sample shall be so supported on the frame of hardwood shown in Fig. 2 that the sample will make a horizontal at the time of impact. In case of testing the opaque tempered glass, the ground surface shall be laid downwards.

(2) Falling Body A good finished steel ball of 225±5 g in weight and 38 mm in diameter shall be used.

(3) Condition of Impulse The steel ball at rest shall be dropped on the central part of the sample without giving any force. In this case the height shall be in accordance with Table 5 and impulse acted on the glass surface is limited just for once, and the testing shall be performed at a normal temperature.

Table 5 (1)

Thickness of sample (mm)	Falling height of steel ball (m)
10	2.5
12	
15	
	3.0

Note (1) The above table provides only for the transparent tempered glass. For the ground tempered glass, these shall be determined by the agreement between the purchaser and the manufacturer.

(4) Condition of Acceptance Being free from cracks and fractures, the glasses shall be accepted.

5.5 Pressure Test

- (1) Supporting Method of Sample Samples shall be exactly fitted to a water pressure testing device as shown in Fig. 3.
- (2) Condition of Water Pressure The samples shall be tested by applying the pressure, according to each diameter and thickness of glass, specified in Table 6.

Table 6 (1)

		Unit: kg/cm <sup>2</sup>						
Thickness of sample (mm)	Diameter of sample (mm)	212	262	312	362	412		
		10	9	6	5	4	3	
12	12	9	7	6	5			
15	15	14	11	9	7			

Note (1) The above table provides only for the transparent tempered glass. For the ground tempered glass, these shall be determined by the agreement between the purchaser and the manufacturer.

(3) Condition of Acceptance The samples to withstand the pressure specified in Table 6 shall be accepted.

6. Inspection

- 6.1 The appearance and dimensions should be, as a rule, inspected on each product.
- 6.2 Sampling method to be used in 5.3-5.5 shall be conducted by rational sampling method upon agreement of the parties concerned.
- 6.3 Being inspected for appearance, dimensions and characteristics of the sample, it shall be determined to accept or not.

7. Marking

7.1 Every plate of tempered glass shall be plainly and indelibly marked with the indicat- of tempered glass, manufacturer's name or mark.

8. Designation

8.1 The tempered glass shall be designated in order of the class and dimensions.  
Example: Class of transparent tempered glass, dimensions of 212 mm in diameter and 10 mm in thickness shall be expressed by Transparent D 212×10.

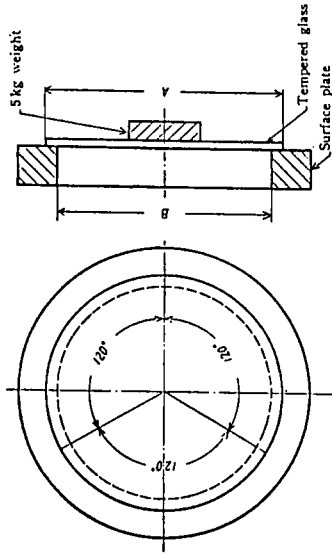


Fig. 1

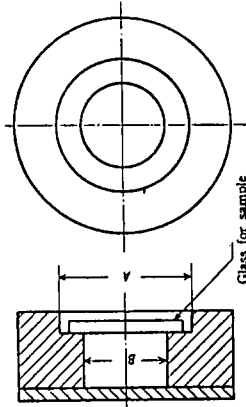


Fig. 2

Unit: mm

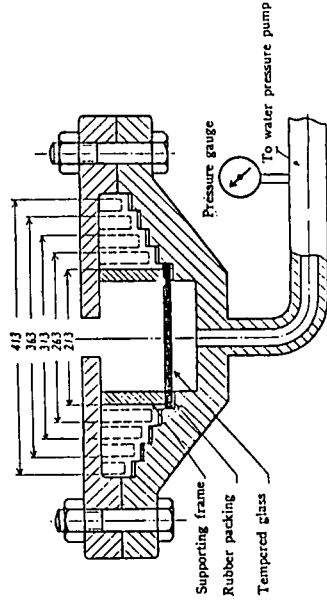
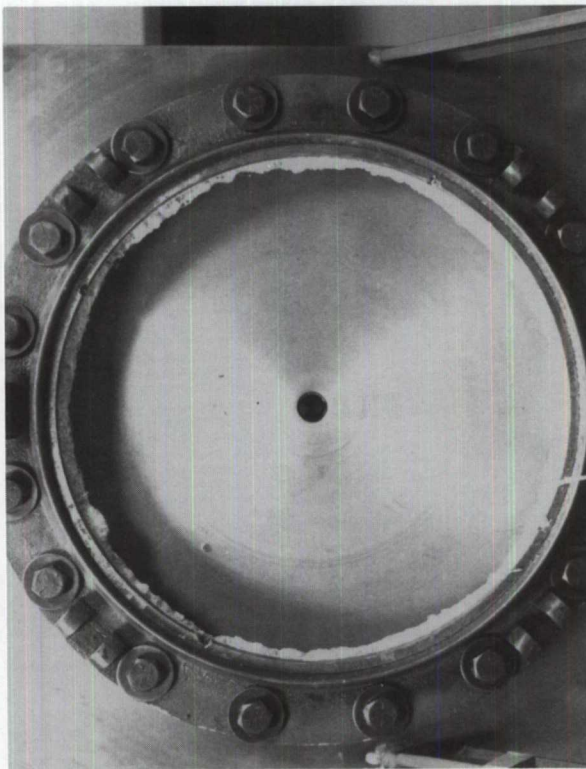
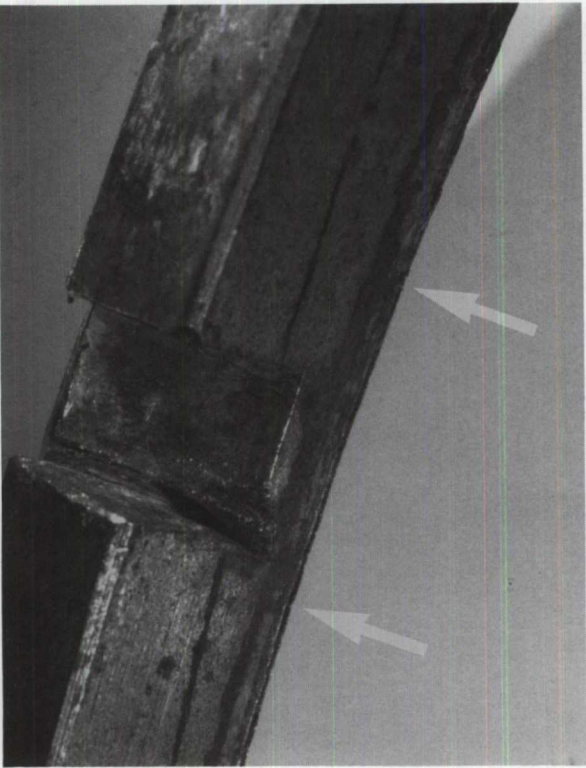


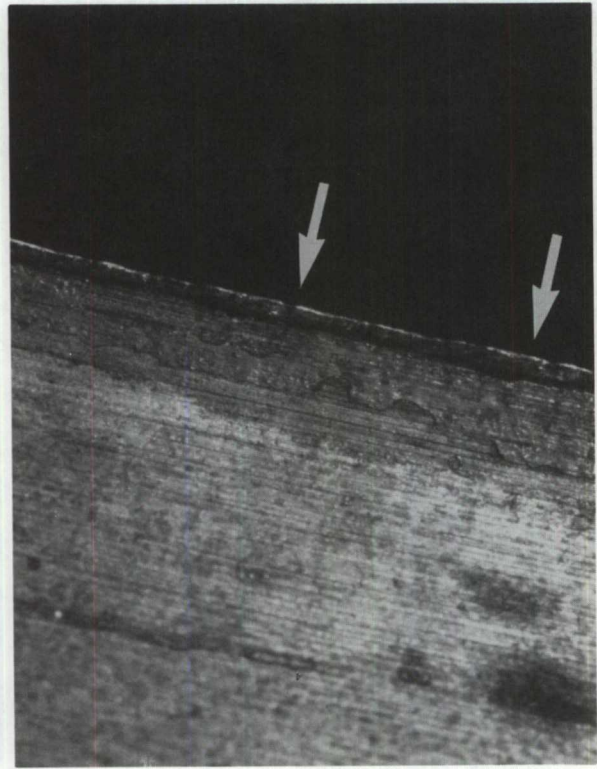
Fig. 3



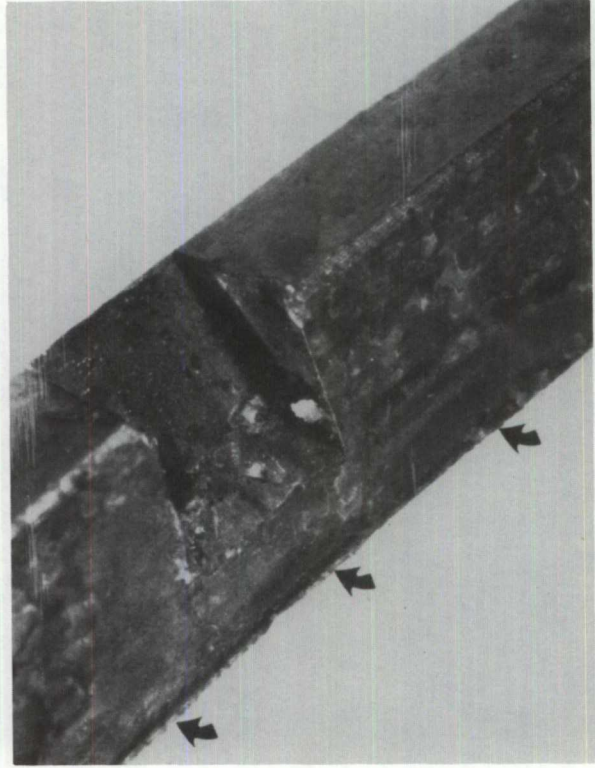
PHOTOGRAPHIE 6 Hublot n° 2, après l'essai monté dans le dispositif de retenue. Bague de blocage du verre en place.



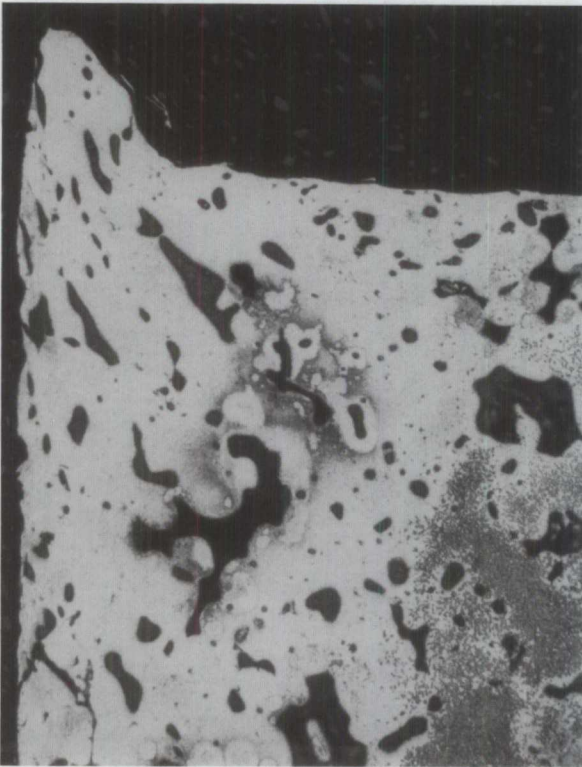
PHOTOGRAPHIE 7 Bague de blocage de verre enlevée du hublot n° 2, présentant une lèvres protubérante du matériau déformé (flèches).



PHOTOGRAPHIE 8 Gros plan de la lèvres du matériau (flèches).



PHOTOGRAPHIE 9 Bague de blocage de verre du hublot n° 4, présentant une lèvres protubérante similaire (flèches).



PHOTOGRAPHIE 10 Coupe transversale de la bague de blocage du hublot n° 2, présentant une lèvre protubérante distincte. Remarquer le motif du glissement au niveau de la lèvre, indiquant une déformation du matériau par étirement.



PHOTOGRAPHIE 11 Coupe transversale de la bague de blocage du hublot n° 4, présentant une lèvre protubérante similaire.

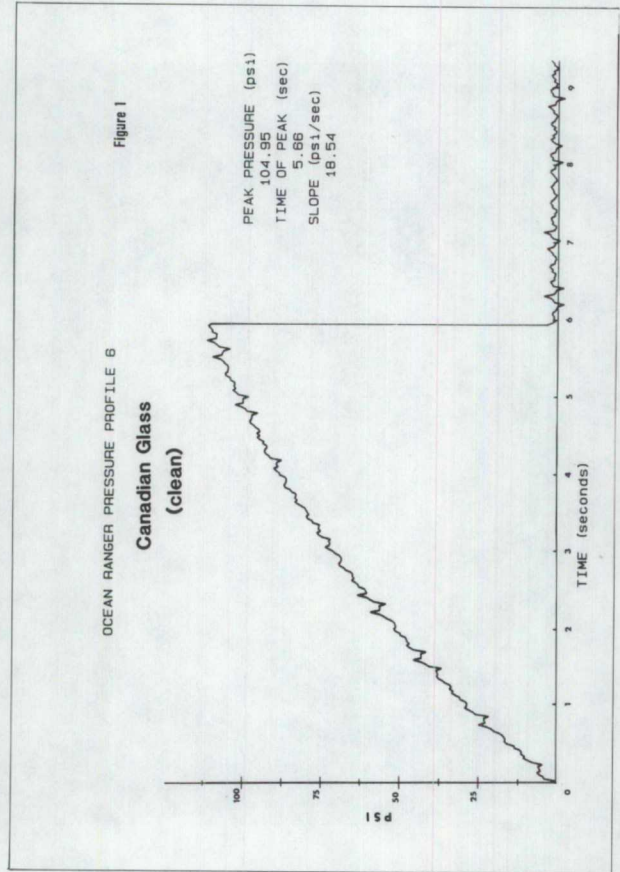


Figure 1

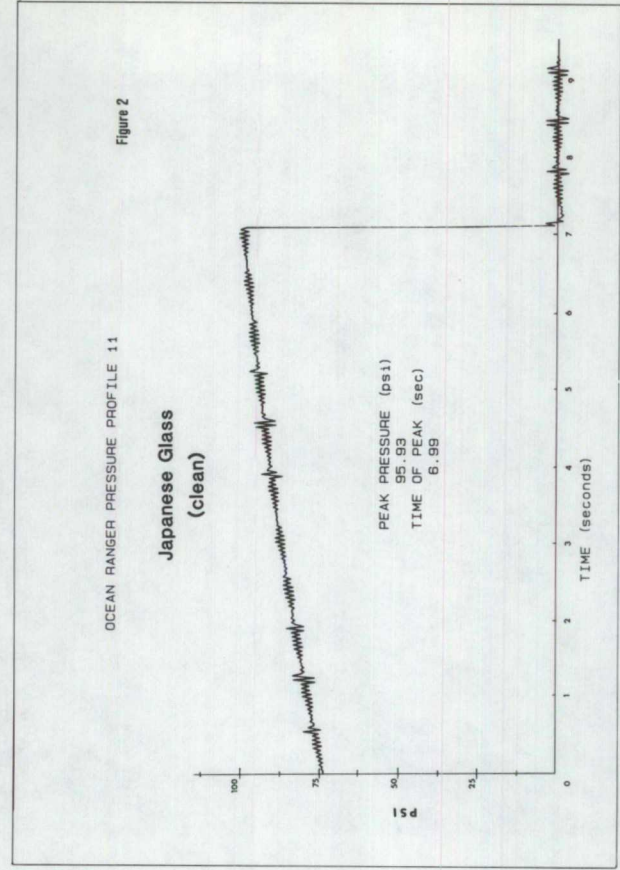
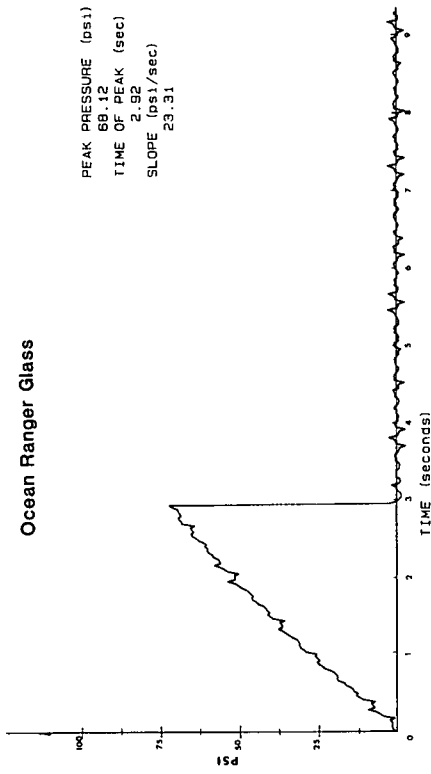


Figure 2



OCEAN RANGER PRESSURE PROFILE 7

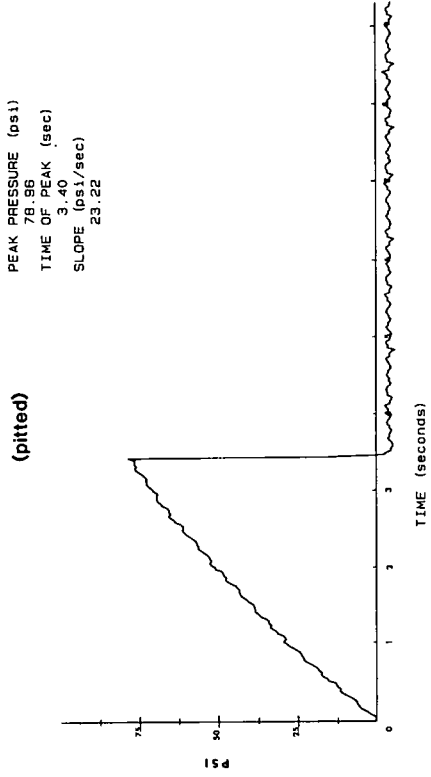
Figure 3



OCEAN RANGER PRESSURE PROFILE 8

Figure 4

**Canadian Glass (pitted)**

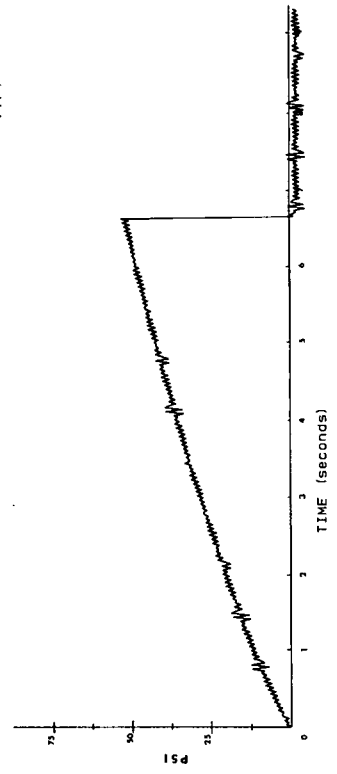


OCEAN RANGER PRESSURE PROFILE 10

Figure 5

**Japanese Glass (pitted)**

PEAK PRESSURE (psi)	50.98
TIME OF PEAK (sec)	6.58
SLOPE (psi/sec)	7.74



**RAPPORT «C»**  
**RAPPORT TECHNIQUE EP 265/82**  
**ANALYSE DES SOUPAPES À COMMANDE**  
**PAR SOLÉNOÏDES**  
**8 septembre 1983**

**INTRODUCTION**

**1.1** La Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger* a demandé au Laboratoire des techniques de sécurité aérienne (LTSA), du Bureau de la sécurité aérienne de Transports Canada, de l'aider dans ses travaux en faisant certains essais et analyses concernant quatre bancs de 11 soupapes à commande par solénoïdes et deux bancs de 10 soupapes à commande par solénoïdes retirés de la salle de contrôle des ballasts de l'*Ocean Ranger* au cours des opérations de récupération sous-marines. Ces 64 soupapes à commande par solénoïdes ont été envoyées au LTSA avec lettres d'accompagnement datées du 29 juillet 1982 et du 3 août 1982.

**1.2** La Commission demandait formellement au LTSA de tenter de déterminer ce qui suit :

- signes évidents de commandement manuel des soupapes;
- les obturateurs en caoutchouc non retrouvés dans les soupapes ont-ils été poussés à l'intérieur des carters des solénoïdes;
- quelles soupapes étaient à la position de fonctionnement et quelles étaient celles qui ne l'étaient pas;
- signes évidents de transfert de matériau et/ou de dentelures sur les tiges des solénoïdes pouvant indiquer un fonctionnement manuel;
- nature de tout débris trouvé à l'intérieur des soupapes;
- effet possible de l'immersion dans l'eau salée sur les soupapes à commande par solénoïdes;
- importance des fuites d'air des soupapes lorsqu'elles sont soumises à la pression d'air normale de fonctionnement de 90 lb/po<sup>2</sup>;
- les soupapes fonctionnaient-elles normalement lorsqu'elles étaient sous tension;
- autres remarques pertinentes.

**EXAMEN ET ANALYSE**

**2.1** Les 64 soupapes à commande par solénoïdes reçues au LTSA ont été identifiées comme des solénoïdes SMC modèle VS4130, du type bobine à 4 directions, dimension de l'admission 3/8 pouce avec canalisations normalisées, fabriquées par SMC, Shoketsu Kinzoku Kogyo Co., Ltd. Les soupapes de ce type comportent un mécanisme de retour à ressort simple et fonctionnent normalement sur alimentation en air de 90 lb/po<sup>2</sup> et sur alimentation en courant alternatif de 115 volts. Les six

bancs de soupapes à commande par solénoïdes tels qu'on les a reçus étaient montés au-dessous du panneau schématique de la salle de contrôle des ballasts et ils sont visibles sur les photographies 1 à 3. La figure 1 est un schéma des positions relatives des 64 soupapes dans les 6 bancs. Lorsqu'elles sont excitées, les soupapes à solénoïdes commandent l'ouverture et la fermeture des robinets-vannes à papillon des réservoirs, régissant ainsi la distribution relative de l'air et de l'eau dans les différents réservoirs des pontons et, de-là, la flottaison relative de l'installation mobile de forage.

**2.2** Trente-deux soupapes à solénoïdes étaient utilisées pour les pontons de bâbord et trente-deux pour les pontons de tribord. On a constaté que deux systèmes de désignation différents servaient à identifier les soupapes, comme l'indique la photographie 4 :

- une plaque de laiton avec le lettrage suivant P1, P2, . . . P32 pour le côté bâbord S1, S2, . . . S32 pour le côté tribord;
- un ruban «Dymo» en plastique rouge avec le lettrage blanc suivant SOV-1 à SOV-32 pour les soupapes P1 à P32 inclusivement SOV-33 à SOV-64 pour les soupapes S1 à S32 inclusivement.

Le Tableau 1 contient la liste des robinets-vannes à papillon contrôlés par chacune des soupapes à solénoïdes, conformément au dessin 061, pièce 74A des pièces produites par la Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger*.

**2.3** En cas d'urgence un obturateur et une tige de commande en laiton permettent de faire fonctionner manuellement les soupapes à

commande par solénoïdes. La photographie 3 montre une tige de commande cassée et une tige de commande intacte, les deux insérées dans un obturateur en laiton. La photographie 4 montre une tige de commande courbée, telle que reçue. La partie d'une tige de commande non brisée était de 1,9 pouce et sa partie lisse avait 2,3 pouces. Le diamètre était de 0,21 pouce.

**2.4** Les 64 soupapes ont été reçues dans trois états différents :

- avec un obturateur en laiton, avec ou sans restes de tige de commande;
- avec des obturateurs en caoutchouc;
- sans obturateurs.

Dix-huit soupapes ont été reçues avec un obturateur en laiton, les tiges de commande de 14 de ces soupapes étant insérées dans l'obturateur. Ces 14 tiges de commande étaient toutes cassées. On a également reçu quatre tiges de commande intactes; ainsi le nombre total des tiges en laiton reçues correspondait au nombre d'obturateurs en laiton. L'état de chaque soupape était tel qu'il est indiqué au Tableau 2, la photographie 4 montrant les trois types. Les obturateurs en caoutchouc trouvés sur 22 soupapes comportaient une rainure moulée en travers afin d'empêcher toute accumulation de pression différentielle derrière l'obturateur. En fonctionnement, l'interrupteur des micro-contacts du panneau schématique de contrôle des ballasts excite un relais qui, en retour, permet au courant électrique de faire fonctionner la soupape à commande par solénoïdes associée en utilisant le courant alternatif de 115 volts CA. En cas d'urgence, les soupapes à solénoïdes peuvent être commandées à la main par l'intermédiaire

Soupapes à solénoïdes	Soupapes à papillon
1, 2, 3, 4	Réservoirs d'eau de ballast
5, 6	Réservoirs d'eau de forage
7, 8, 9, 10, 11	Réservoirs d'eau de ballast
12, 13	Réservoirs d'eau de forage
14, 15, 16	Réservoirs d'eau de ballast
17, 18, 19	Pompe à eau de forage vers les réservoirs
20	Collecteur d'eau de ballast
21, 22, 23	Pompes de cale de secours
24, 25, 26	Pompes à eau de ballast vers le collecteur
27	Collecteur d'eau de ballast
28, 29	Service d'eau de forage
30	Refoulement par-dessus bord
31	Réservoir d'eau de mer
32	Prise d'eau de mer

**TABLEAU 1**  
**SOUPAPES À COMMANDE PAR SOLÉNOÏDES ET SOUPAPES**  
**À PAPILLON CORRESPONDANTES**  
**BÂBORD ET TRIBORD**

de tiges de commande insérées dans un obturateur en laiton.

**2.5** Les photographies 7 et 8 montrent les divers composants des soupapes. La photographie 8 présente une coupe transversale du mécanisme interne des soupapes. Les composants identifiés numériquement sur les photographies 7 et 8, sont énumérés ci-dessous :

1. carter et garniture du solénoïde;
2. noyau du solénoïde;
3. solénoïde;
4. dispositif de retenue en plastique;
5. bobine s'insérant dans le manchon;
6. manchon avec ses six joints toriques;
7. ressort de rappel;
8. corps principal de soupape avec ses cinq chapelles pour la circulation d'air;
9. contre-plaque et garniture.

Le noyau du solénoïde est normalement tiré électriquement afin d'entraîner la soupape. En cas d'urgence, on peut le pousser à la main en insérant la tige de commande en laiton contre la bobine qui se déplace alors dans le manchon, ce qui permet à l'air de circuler dans les chapelles d'air.

**2.6** Une copie du dessin NMA 298-2 présenté à la Figure 2 illustre le circuit d'air. L'ensemble type d'un banc de solénoïdes comporte un collecteur d'entrée et d'échappement, une sous-plaque pour chaque soupape, ainsi que les 10 ou 11 soupapes comme le montre la photographie 9. Chaque collecteur a trois conduites d'air isolées dans lesquelles l'air circule par l'intermédiaire de chaque soupape. Les conduites au centre d'air et les deux échappements, un de chaque côté, constituent l'alimentation en air. L'air pressurisé à 90 lb/po<sup>2</sup> passe dans les conduites d'échappement, les orifices de la sous-plaque et les chapelles des soupapes. Les orifices et les chapelles sont identifiés E1 et E2, S, et C1 et C2 sur la photographie 10; pour les échappements 1 et 2, alimentation et cylindres 1 et 2 respectivement. À la position de repos, cet air sort par l'échappement; à la position de fonctionnement, l'air est acheminé au piston des robinets-vannes à papillon.

**2.7** Les positions des manchons-bobines en fonctionnement et au repos sont indiquées sur les photographies 11 et 12 afin d'illustrer la direction du flux d'air. À la position de repos, l'air passe de «S» à «C1». Étant donné que les deux échappements du cylindre 1 sont normalement scellés des deux côtés comme l'indique la photographie 11, l'air se trouve piégé à l'intérieur de la soupape. Lorsque la bobine est poussée pendant le fonctionnement, l'air passe de «S» à «C2» puis à la conduite ouverte du cylindre 2 menant au robinet-vanne à papillon du réservoir. L'air précédemment piégé à l'intérieur de la soupape à la position de repos

avec obturateurs en laiton				avec obturateurs en caoutchouc		sans obturateurs	
avec tige de commande		sans tige de commande					
Tribord	Bâbord	Tribord	Bâbord	Tribord	Bâbord	Tribord	Bâbord
S1	P2	S2	P13	S4	P3	S5	P1
S3	P11		P14	S18	P8	S11	P4
S6	P12		P15	S19	P9	S12	P5
S7	P16			S20	P10	S13	P6
S8				S23	P17	S17	P7
S9				S25	P18	S21	P19
S10				S27	P22	S22	P20
S14				S28	P23	S24	P21
S15					P24	S26	P28
S16					P25	S29	P30
					P26	S30	P31
					P27	S31	
					P29	S32	
					P32		

TABLEAU 2  
LES TROIS GROUPES DE SOUPAPES À COMMANDE PAR SOLÉNOÏDES TELLES QU'ELLES ONT ÉTÉ REÇUES

est purgé jusqu'à la conduite d'échappement du collecteur à travers «E1», comme «C1» et «E1» s'interconnectent. Lorsque la bobine revient à la position de repos, «C2» et «E2» s'interconnectent et l'air est purgé jusqu'à la conduite d'échappement du collecteur à travers «E2», et le robinet-vanne à papillon se referme.

**2.8** Afin de vérifier l'état des soupapes à solénoïdes, des mesures micrométriques des positions des noyaux des solénoïdes ont été prises sur toutes les soupapes. Ces mesures sont énumérées au Tableau 3 dans le cas des soupapes munies d'obturateurs en laiton, et au Tableau 4 dans le cas de celles n'en ayant pas. (Les mesures sont identifiées de 1 à 4 comme on peut le voir sur les photographies 14 et 15.) On peut constater que seule la mesure #3 peut être faite lorsqu'il n'y a pas de tige de commande, mais on peut faire les quatre mesures lorsque la tige de commande est en place. La mesure #3 donne la profondeur du noyau du solénoïde par rapport à la surface extérieure du carter du solénoïde de la soupape. La valeur moyenne mesurée était de 0,72 pouce dans le cas des soupapes munies d'obturateurs en laiton, et de 0,52 pouce dans le cas de celles n'en ayant pas. Une soupape (P-13) munie d'un obturateur en laiton donnait une lecture de 0,65 pouce dans le cas de la mesure #3, plus qu'à mi-chemin entre celles qui étaient munies d'obturateurs en laiton et celles qui ne l'étaient pas.

**2.9** Les quatorze tiges de commande trouvées dans les soupapes avaient été cassées.

La surface de la cassure de ces tiges a été analysée au microscope à balayage électronique. Les quatorze surfaces des cassures étaient toutes conformes aux bris de surcharge par pliage ductile caractérisés par une surface irrégulière et rugueuse comme le fait voir la photographie 16. Dans chaque cas, la cassure partait à la base d'un filet (photographie 17) et était accompagnée d'une déformation par pliage unidirectionnel adjacent à la cassure.

**2.10** Chacune des faces des noyaux des soixante-quatre solénoïdes a été examinée afin d'y déceler des marques de tige de commande. Toutes les faces des soupapes comportant des obturateurs en laiton portaient une marque circulaire visible et distinctive. Une marque typique, telle qu'on l'a observée, est présentée sur la photographie 18 qui est une micrographie à balayage électronique obtenue par rétrodiffusion d'électrons pour différencier les divers éléments. Le diamètre de la marque était de 0,16 pouce environ. Aucune déformation de la surface du noyau n'a été observée. Quatre soupapes (P10, S11, S12 et S13) reçues sans obturateurs en laiton présentaient une marque circulaire profonde sur les faces des noyaux de leurs solénoïdes. Examinées individuellement au microscope à balayage électronique utilisant un imageur par rétrodiffusion d'électrons, ces marques ne présentaient pas le motif typique observé dans le cas des soupapes récupérées avec les obturateurs de laiton en place, et le diamètre de la marque était en moyenne de 0,11 pouce. Une certaine déformation de la surface du noyau a égale-

ment été observée. La photographie 19 fait voir une marque typique.

**2.11** Aucune des 64 soupapes à solénoïdes, telles que reçues, ne pouvait fonctionner à la main parce que le mécanisme se bloquait, probablement à cause de l'émulsion du lubrifiant. Des débris ont également été trouvés dans diverses parties à l'intérieur des soupapes. Une fois ces dernières nettoyées, la force requise pour faire fonctionner une soupape à la main en poussant directement sur le noyau du solénoïde était de trois livres dans le cas des treize soupapes soumises aux tests, force facilement contrée en insérant les tiges de commande en laiton. Le jeu maximum du noyau du solénoïde et de la bobine des soupapes a été mesuré à 0,20 pouce. Le noyau du solénoïde, une fois nettoyé, revenait à sa position de repos lorsqu'on dévissait la tige de commande.

**2.12** Des débris ont été trouvés à l'intérieur de la plupart des soupapes. Des échantillons représentatifs ont été sélectionnés et envoyés aux laboratoires du Conseil national de recherches du Canada. Les résultats des analyses ont révélé qu'il n'y a pas de preuve que les matières fibreuses et les particules métalliques trouvées étaient dans les soupapes avant l'immersion de ces dernières dans l'eau de mer. Les matières fibreuses correspondaient aux fibres provenant d'éponges marines. Les particules métalliques étaient de la rouille ( $Fe_2O_3$ ) et de l'alumine ( $Al_2O_3$ ) résultant typiquement de la corrosion, par l'eau salée, des composants en fer et en aluminium des soupapes.

**2.13** Soixante-trois des soixante-quatre soupapes ont été testées électriquement et fonctionnaient correctement. (La soixante-quatrième soupape a été remise à la Commission royale aux fins des tests qu'elle a fait faire à St. John's). La tension minimale requise pour activer une soupape a été mesurée à 76 volts en moyenne. Le noyau du solénoïde était ramené à la position de fonctionnement immédiatement sur application de la tension appropriée, et relâché de la même façon lorsqu'on enlevait la tension.

**2.14** L'essai d'une soupape à commande par solénoïdes a été fait afin de déceler des fuites sous la pression d'air de fonctionnement de 90 lb/po<sup>2</sup>. L'alimentation en air a d'abord été acheminée par la conduite d'alimentation en air du collecteur d'échappement de la sous-plaque du cylindre 2, toutes les sous-plaques des soupapes étant bloquées. L'alimentation a été ensuite acheminée à travers l'échappement de la sous-plaque du cylindre 2 de la soupape. Dans les deux cas, une fuite minimale a été observée au niveau de tous les échappements des collecteurs, et aucune chute importante de pression n'a été notée.

Soupape	Déplacement (pouces)			
	#1	#2	#3*	#4
S1	0,665	0,555	0,715	1,190
S2	Tige manquante	0,580	0,725	S/O
S3	0,640	0,510	0,720	1,160
S6	0,650	0,510	0,730	1,135
S7	0,710	0,590	0,730	1,230
S8	0,655	0,560	0,722	1,195
S9	0,730	0,535	0,720	1,185
S10	0,690	0,595	0,715	1,240
S14	0,760	0,620	0,725	1,275
S15	0,645	0,480	0,725	1,115
S16	0,700	0,545	0,725	1,185
P2	0,670	0,550	0,725	1,205
P11	0,690	0,555	0,725	1,205
P12	0,635	0,560	0,730	1,205
P13	Tige manquante	0,600	0,655	S/O
P14	Tige manquante	0,550	0,715	S/O
P15	Tige manquante	0,580	0,720	S/O
P16	0,650	0,630	0,720	1,270

\*NOTE : Moyenne de la mesure #3 = 0,723 pouce. La soupape P13 n'a pas été incluse dans le calcul moyen étant donnée que sa mesure #3 n'était pas conforme à la mesure #3 des autres soupapes.

TABLEAU 3  
MESURES MICROMÉTRIQUES DES TIGES MUNIES D'OBTURATEURS EN LAITON

(Voir sur les photographies 14 et 15 l'endroit des mesures 1 à 4)

On a ensuite vérifié le fonctionnement de la soupape avec une alimentation en courant alternatif de 115 volts et une pression interne de 74 lb/po<sup>2</sup>. La chute de pression était de 2 lb/po<sup>2</sup> approximativement au niveau de l'échappement de la contre-plaque du cylindre 2.

#### EXPOSÉ

**3.1** Les 64 soupapes à commande par solénoïdes ont été reçues soit à la position de fonctionnement soit à la position de repos. L'état de fonctionnement ou de repos a été déterminé en procédant aux mesures micrométriques de la profondeur de la position du noyau du solénoïde. On a trouvé que les 18 soupapes reçues munies d'obturateurs de laiton étaient toutes à la position de fonctionnement. (Ceci inclut la soupape P13 pour laquelle la mesure #3 était plus qu'à mi-chemin entre les soupapes munies d'obturateurs de laiton et celles qui ne l'étaient pas. On estime qu'il y aurait eu une pression d'air suffisante au niveau du robinet-vaive à papillon associé pour l'ouvrir.) Les autres soupapes munies ou non d'obturateurs en caoutchouc étaient à la position de repos. Il a été établi que les obturateurs en caoutchouc trouvés sur 22 soupapes n'ont joué aucun rôle dans le fonctionnement des soupapes. La longue période d'immersion dans l'eau de mer a

eu pour effet d'émulsifier le lubrifiant des soupapes, causant de ce fait le blocage du mécanisme que l'on a pu conséquemment déterminer ultérieurement être à la position de fonctionnement ou à la position de repos.

**3.2** Les analyses au microscope optique et au microscope à balayage électronique ont permis de déterminer que les 14 tiges de commande cassées l'ont toutes été par surcharge de pliage. Aucun signe évident de surcharge de torsion n'a été relevé.

**3.3** On a découvert des signes positifs évidents de transfert de matériau des tiges de commande en laiton sur la surface du noyau du solénoïde de chacune des 18 soupapes reçues munies d'obturateurs en laiton. On n'a pas décelé de transfert de cette nature sur aucun autre noyau de solénoïde. Les marques circulaires profondes relevées sur quatre noyaux de solénoïdes provenant des soupapes autres que celles qui ont été reçues munies d'obturateurs en laiton ont été faites au moyen d'un dispositif composé d'un matériau plus dur que celui du noyau des solénoïdes, causant de ce fait une certaine déformation de la surface du noyau. On a trouvé que ces marques circulaires profondes avaient un diamètre inférieur à celui des marques faites par les tiges de commande en laiton. La force requise pour faire fonctionner une soupape à la main était très

peu élevée et il ne fallait que quelques secondes seulement (5 à 10) pour faire fonctionner la soupape à fond à la main une fois la tige de commande en place.

**3.4** L'analyse des débris trouvés à l'intérieur des soupapes a révélé qu'ils étaient directement liés au fait que les soupapes avaient séjourné longtemps au fond de la mer, et que ces débris ne se trouvaient pas dans les soupapes avant l'accident.

**3.5** Les essais des soupapes ont démontré qu'elles étaient toutes en bon état avant l'accident.

**3.6** Les essais de pression des soupapes ont révélé qu'il y avait des fuites minimales lorsque la pression de fonctionnement était appliquée.

#### CONCLUSIONS

**4.1** En réponse aux demandes spécifiques de la Commission royale (renvoi alinéa 1.2, demandes a) à i) respectivement) : –

a) il y avait des signes évidents que toutes les soupapes munies d'obturateurs en laiton avaient été commandées à la main;

b) les obturateurs en caoutchouc trouvés sur 22 soupapes comportaient une rainure en travers afin de prévenir l'accumulation de pression différentielle, et ils n'ont pas pu avoir été poussés à l'intérieur du carter du solénoïde des soupapes, pas plus qu'il n'en a été trouvé à cet endroit;

c) seules les soupapes à commande par solénoïdes munies d'obturateurs en laiton étaient à la position de fonctionnement. On en a conclu que ce sont les seules soupapes qui ont été commandées à la main au moment de l'accident;

d) toutes les soupapes munies d'obturateurs en laiton présentaient un certain transfert de matériau des tiges sur les surfaces du noyau des solénoïdes. Aucune des soupapes reçues sans obturateurs en laiton ne présentait de tels dépôts. La manipulation des obturateurs en laiton et des tiges de commande d'une soupape à l'autre aurait eu pour effet que certaines soupapes reçues sans obturateurs en laiton auraient présenté des traces identiques de laiton, étant donné que ces traces n'auraient pas pu disparaître de la surface du noyau des solénoïdes pendant leur immersion au fond de l'océan. De là, on peut conclure qu'aucune des soupapes reçues sans obturateurs en laiton n'a été commandée à la main lors de l'accident. Les marques découvertes sur les surfaces du noyau des solénoïdes P10, S11, S12 et S13 étaient très probablement dues aux essais qui ont eu lieu avant l'accident au moyen d'une tige qui n'était pas en laiton et, par conséquent, sont jugées ne pas se rapporter à l'accident;

Soupapes de bâbord	Mesure #3 (en pouce)	Soupapes de tribord	Mesure #3 (en pouce)
P1	0,522		
P3	0,527		
P4	0,524		
P5	0,525		
P6	0,516	S4	0,522
P7	0,525	S5	0,599
P8	0,523	S11	0,531
P9	0,525	S12	0,526
P10	0,529	S13	0,526
P17	0,524	S17	0,536
P18	0,528	S18	0,519
P19	0,536	S19	0,531
P20	0,529	S20	0,540
P21	0,524	S21	0,519
P22	–	S22	0,525
P23	0,533	S23	0,522
P24	0,527	S24	0,520
P25	0,525	S25	0,527
P26	0,515	S26	0,519
P27	0,522	S27	0,525
P28	0,514	S28	0,528
P29	0,529	S29	0,528
P30	0,522	S30	0,521
P31	0,498	S31	0,525
P32	0,533	S32	0,526
Moyenne	0,524 pouce	Moyenne	0,529 pouce

Valeur moyenne de toutes les mesures : 0,526 pouce

TABLEAU 4

#### MESURES MICROMÉTRIQUES DES SOUPAPES SANS OBTURATEURS EN LAITON

(Voir sur la photographie 14 l'endroit de la mesure #3)

e) les débris trouvés à l'intérieur des soupapes résultaient directement de l'immersion des soupapes dans l'eau salée pendant une longue période. On n'a découvert aucun signe évident de la présence de ces débris avant l'accident, débris qui auraient entraîné une défektivité des soupapes;

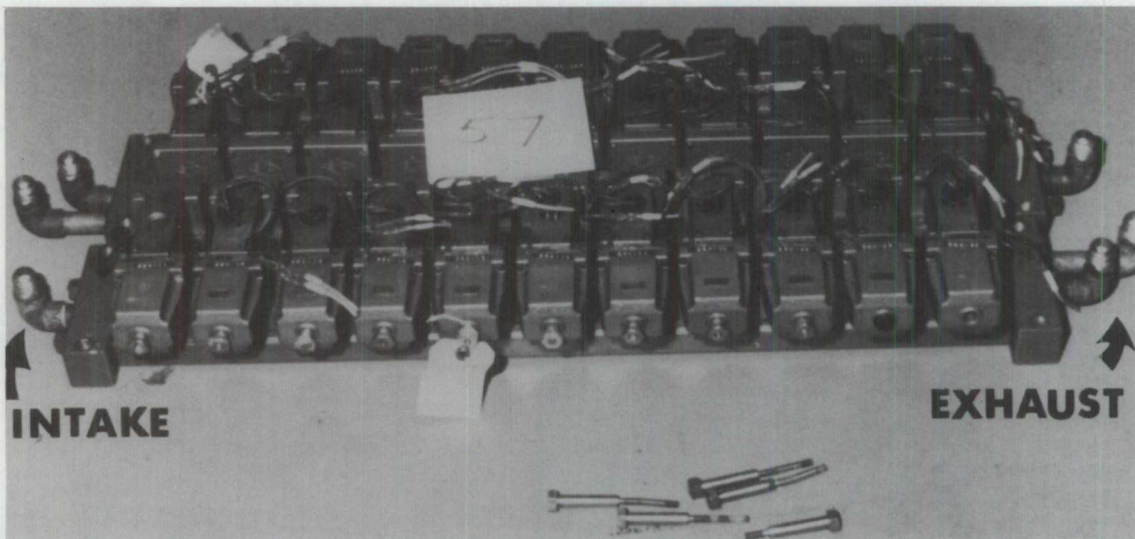
f) les tiges de commande insérées dans les obturateurs maintenaient le mécanisme de chacune des soupapes à la position de fonctionnement pendant l'accident. Lorsque les soupapes ont été submergées, l'eau salée a émulsifié leur lubrifiant, ce qui a fait bloquer leur mécanisme. Ceci a empêché les soupapes commandées à la main de revenir à la position de repos une fois leur tige de commande en laiton enlevée. Étant donné qu'aucun des soupapes reçues sans obturateurs en laiton n'a été retrouvée à la position de fonctionnement, on peut conclure qu'elles étaient soit à la position de repos au moment de l'accident, ou encore que leur mécanisme est revenu à une position de repos dès que

leur alimentation électrique a été coupée;

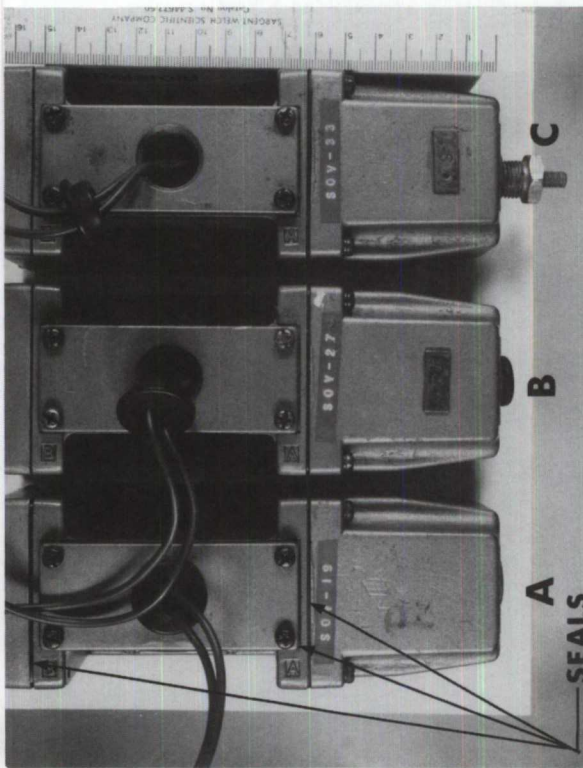
g) aucune fuite importante n'a été décelée pendant les essais des soupapes à la pression d'air normale de fonctionnement;

h) les essais des soupapes ont révélé qu'elles étaient en bon état avant l'accident;

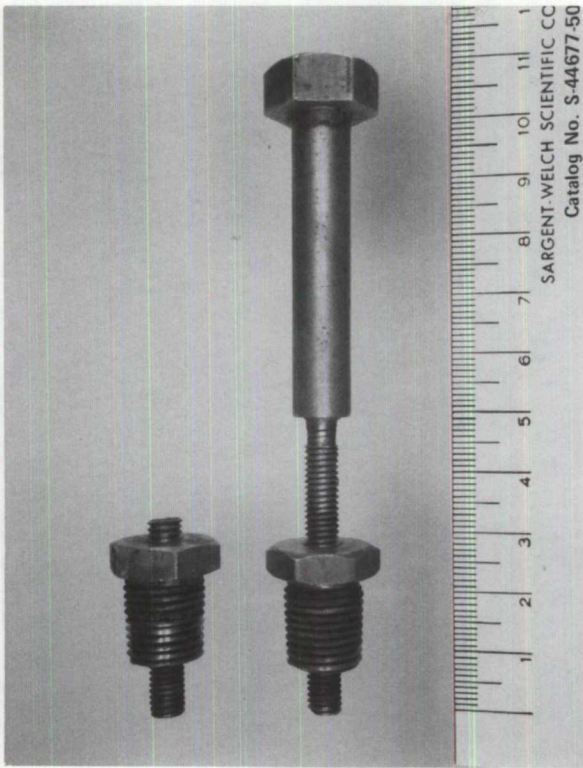
i) la casse des tiges de commande est due au surcharge de pliage, et l'on juge qu'elles ont vraisemblablement toutes été cassées lorsque les bancs de soupapes à commande par solénoïdes ont été récupérés de l'épave et non pas avant ou pendant l'accident.



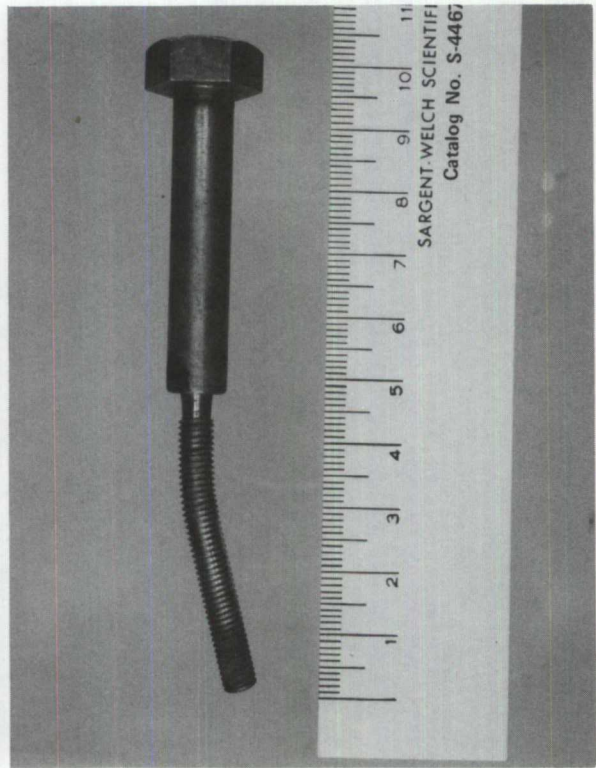
PHOTOGRAPHIES 1 à 3 Les 6 bancs de solénoïdes tels que reçus. L'entrée et l'échappement du collecteur sont indiqués sur la photographie présentée au centre.



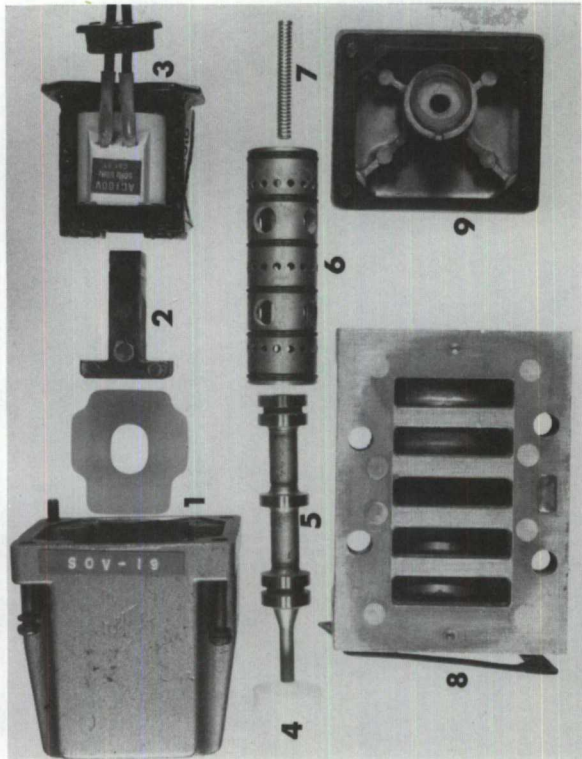
PHOTOGRAPHIE 4 Échantillons de soupapes à commande par solénoïdes : sans obturateur de caoutchouc ou de laiton, «A»; avec obturateur de caoutchouc, «B»; avec obturateur de laiton et avec reste de tige de commande, «C»; Remarquer le lettrage sur les plaques en laiton et les rubans de plastique.



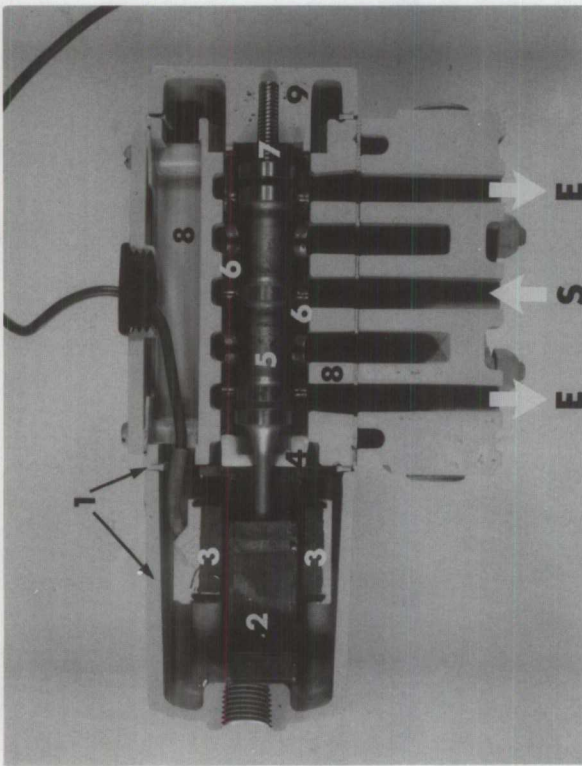
PHOTOGRAPHIE 5 Tige de commande cassée et tige intacte, insérée dans un obturateur de laiton.



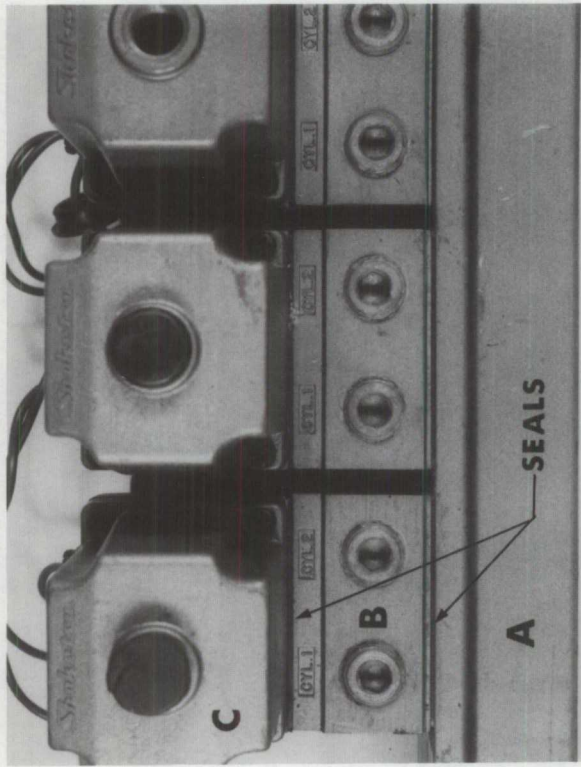
PHOTOGRAPHIE 6 Tige de commande courbée, telle qu'elle a été reçue.



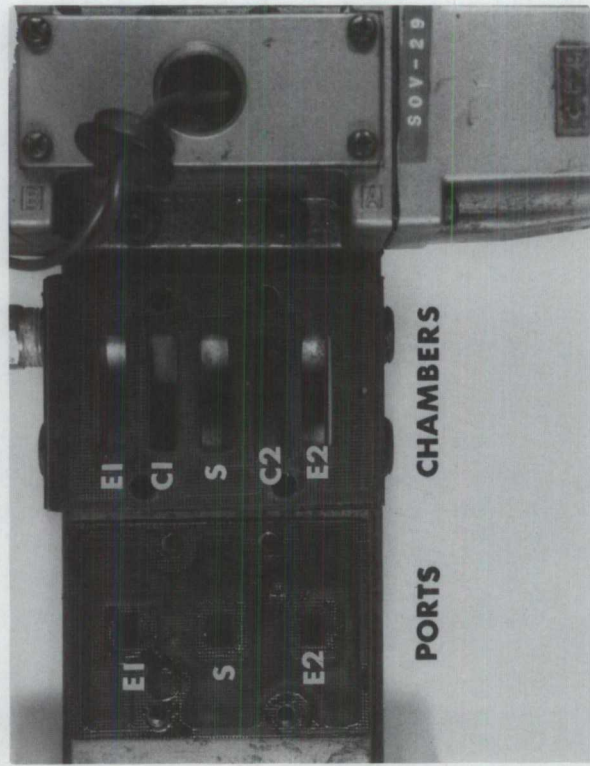
PHOTOGRAPHIE 7 Les différents composants d'une soupape à commande par solénoïdes : 1) couvercle et garniture 2) noyau du solénoïde 3) solénoïde 4) dispositif de retenue en plastique 5) bobine 6) manchon 7) ressort 8) corps principal de soupape 9) contre-plaque et garniture.



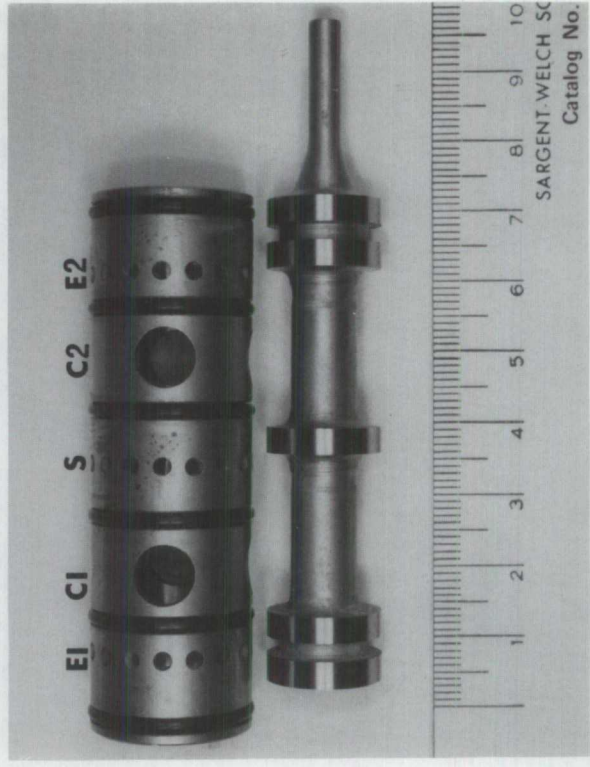
PHOTOGRAPHIE 8 Coupe transversale d'une soupape illustrant le mécanisme interne. On a utilisé la même identification numérique que celle de la photographie 7. L'alimentation en air et les deux échappements sont identifiés S et E, respectivement.



PHOTOGRAPHIE 9 Montage typique d'un banc de soupapes à commande par solénoïdes : collecteur «A», contre-plaque «B», et soupape «C». Remarquer les obturateurs en caoutchouc sur deux des soupapes.

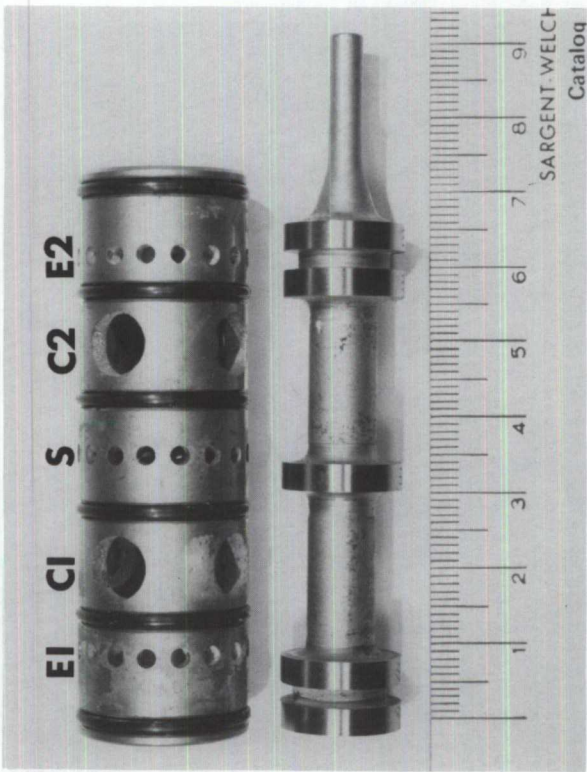


PHOTOGRAPHIE 10 Les orifices du collecteur et les chapelles de la soupape et de la contre-plaque sont identifiés sur cette photographie.

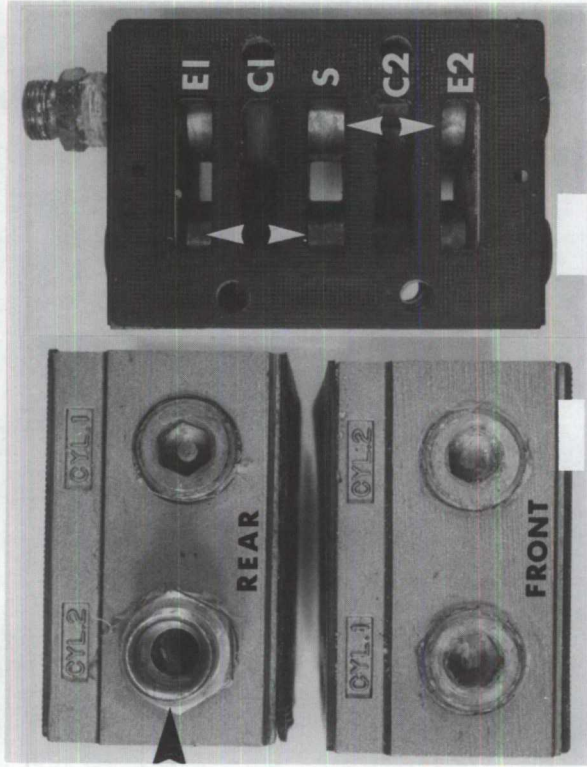


PHOTOGRAPHIE 11 Le manchon et la bobine sont montrés séparément mais sont alignés, à la position de repos de la soupape. Le rapport entre le manchon et les chapelles de la soupape est indiqué par E1, C1, S, C2 et E2.

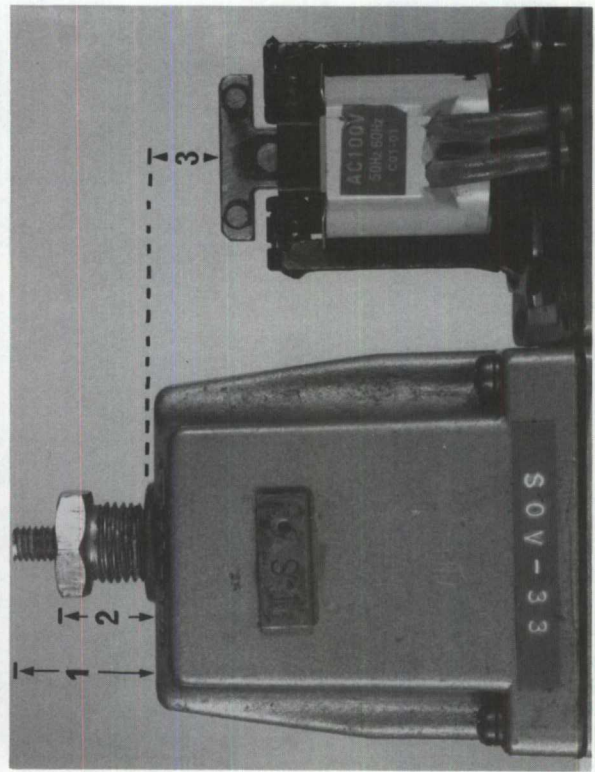




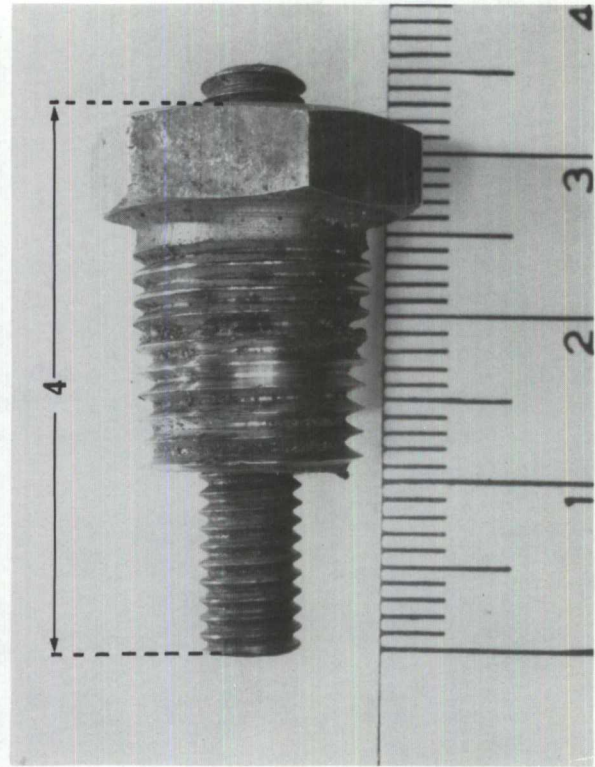
PHOTOGRAPHIE 12 Le manchon et la bobine sont montrés séparément mais sont alignés à la position de fonctionnement de la soupape. Le rapport entre le manchon et les chapelles de la soupape est indiqué par E1, C1, S, C2 et E2.

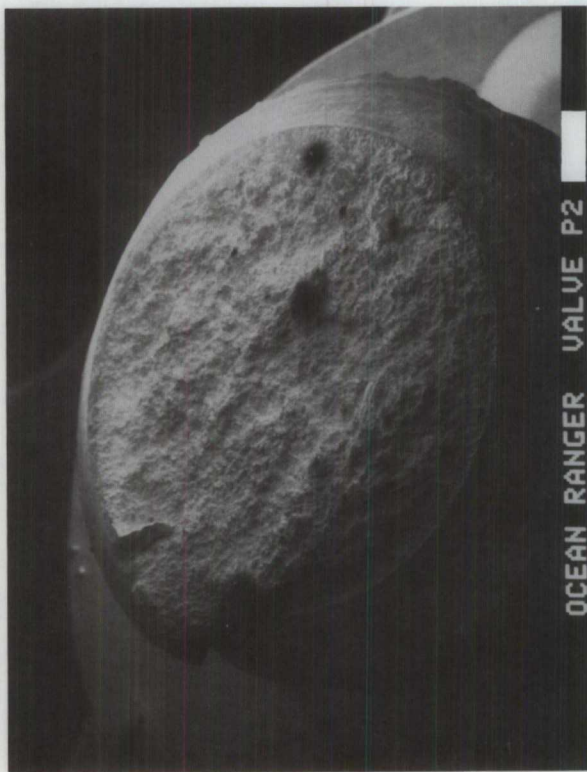


PHOTOGRAPHIE 13 Vue arrière et vue avant de la contre-plaque, à gauche. La flèche indique le seul échappement ouvert. À droite, vue du dessus de la contre-plaque avec direction du flux d'air à partir de «C1» et «C2».



PHOTOGRAPHIES 14 à 15 Les quatre mesures micrométriques complétées aux tableaux 3 et 4 sont présentées ici avec les numéros de renvoi utilisés dans ces tableaux.





OCEAN RANGER VALVE P2

PHOTOGRAPHIE 16 Photographie d'une micrographie obtenue par balayage électronique montrant une surface typique de fracture dans les 14 tiges de commande.



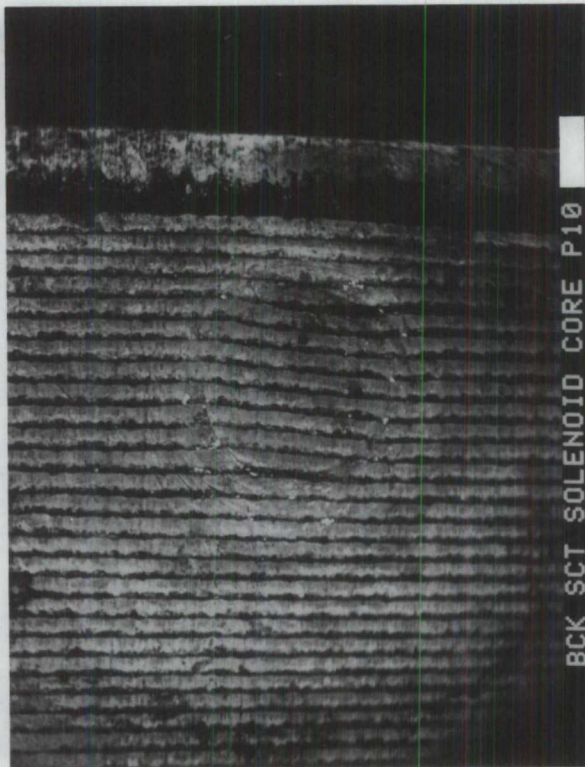
OCEAN RANGER VALVE P2

PHOTOGRAPHIE 17 Photographie d'une micrographie obtenue par balayage électronique montrant les fissures observées dans les filets d'une tige de commande cassée. Typique de toutes les 14 tiges de commande examinées.



BCK SCT SOL CORE S1 200H

PHOTOGRAPHIE 18 Micrographie obtenue par balayage électronique montrant une marque typique de laiton observée sur la face du noyau de solénoïde de la soupape S1.



BCK SCT SOLENOID CORE P10

PHOTOGRAPHIE 19 Micrographie obtenue par balayage électronique montrant une marque typique observée sur la face du noyau des solénoïdes des soupapes P10, S11, S12 ET S13.

# DISPOSITION DES 64 SOUPAPES À COMMANDE PAR SOLÉNOÏDES SOUS LA CONSOLE DE CONTRÔLE DES BALLAST, MONTRANT L'ÉTAT DANS LEQUEL ELLES FURENT TROUVÉES

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 3

P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 2

P	P	P	P	P	P	P	P	P	S
11	12	13	14	15	16	1	2	3	4
									5

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 1

S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
									16

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 4

P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 5

P	P	P	P	P	P	P	P	S	S
27	28	29	30	31	32	17	18	19	20
									21

BANC DE SOLÉNOÏDES NO. 6

S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
									32



MUNIES D'UNE TIGE  
EN LAITON

FIGURE 1



**RAPPORT «D»  
RAPPORT TECHNIQUE EP 331/83  
ANALYSE DES PANNEAUX  
SCHÉMATIQUES DE CONTRÔLE DES  
BALLASTS  
8 septembre 1983**

**INTRODUCTION**

**1.1** La Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger* a demandé au Laboratoire des techniques de sécurité aérienne (LTSA) du Bureau de la sécurité aérienne de Transports Canada de l'aider dans ses travaux en faisant certains essais et analyses concernant les panneaux schématiques de contrôle des ballasts récupérés de l'épave de la plate-forme.

**1.2** Les photographies 1 à 4 font voir les quatre panneaux tels qu'on les a reçus. Ces photographies ont été prises à bord du bateau de plongée peu après la récupération des panneaux de la salle de contrôle des ballasts de l'*Ocean Ranger* en juillet 1982. À ce moment-là, les panneaux ont été lavés à l'eau douce au moyen d'un boyau d'arrosage puis on les a vaporisés de WD-40 afin d'en enlever le plus d'eau possible dans une tentative de prévenir toute corrosion supplémentaire des interrupteurs. La Commission demandait formellement ce qui suit :

- 1) photographier et identifier tous les interrupteurs de commande et des pompes, ainsi que les lampes témoins des soupapes manuelles avant de procéder aux tests;
- 2) examiner tous les interrupteurs et les lampes témoins afin de déceler tout signe évident de brûlure ou de carbonisation;
- 3) examiner tous les interrupteurs et toutes les lampes témoins afin de déceler tout signe évident d'amorçage d'arc aux bornes des contacts des ampoules;
- 4) consigner le nombre d'ampoules dans chaque interrupteur et lampe témoin, et déterminer si elles sont en bon état ou non;
- 5) examiner en détail les contacts des micro-contacts contenus dans les ensembles d'interrupteurs suivants afin de déceler tout signe évident d'amorçage d'arc : interrupteurs de bâbord/tribord 1 à 16 inclusivement, 20, 27, 30 et 32.

**EXAMEN**

**2.1** Les quatre panneaux récupérés de l'épave et envoyés au LTSA étaient les panneaux schématiques des soupapes des réservoirs de bâbord et de tribord et les panneaux schématiques des chambres des pompes de bâbord et de tribord tels qu'on peut les voir sur les photographies 1 à 4 et décrits dans les schémas de principe NMA298-1-1 et 2 ci-joints, figures 3 et 4.

**2.2** Les panneaux schématiques des réservoirs contenaient normalement 16 paires de micro-contacts de commande numérotées de 1 à 16. Il a été noté que les commutateurs P-2 et P-8 n'étaient pas en place. Les panneaux des chambres des pompes contenaient 16 paires de micro-contacts de commande, 10 paires de lampes témoins et 6 paires d'interrupteurs de pompes identifiés par fonction. La lampe témoin S-35 et la douille de l'interrupteur P-17 manquaient. En outre, 10 des 12 boutons rouges d'arrêt des pompes et 4 des 12 boutons verts de marche des pompes avaient disparu; toutefois, leurs ampoules étaient encore in situ. Tout ceci est indiqué dans les photographies 1 à 4.

**2.3** Un diagramme d'acheminement, gravé sur les panneaux, liait schématiquement chaque fonction d'interrupteur et de lampe témoin au système de contrôle des ballasts, voir les schémas de principe NMA298-1-1 et 2.

**2.4** Les panneaux semblaient relativement propres et en bon état. Il y avait peu de corrosion sur les parties extérieures des interrupteurs, leurs bornes et leur câblage, et certains n'en présentaient aucune trace. Les panneaux eux-mêmes étaient en acier inoxydable et n'étaient pas touchés par la corrosion. Cependant, la peinture qui faisait ressortir les lignes gravées du schéma des conduites était pelée en plusieurs endroits comme l'indiquent les photographies 2 et 4. On a découvert qu'un seul interrupteur (P-19) avait été endommagé par des étincelles et des brûlures autour de ses bornes. La photographie 5 montre cet interrupteur. On n'a pu relever aucun signe évident de suie ou de noircissement (pouvant résulter typiquement de brûlures ou d'étincelles) nulle part sur les panneaux à l'exception de ce qu'on a trouvé sur la paire d'interrupteurs P-19.

**2.5** Le câblage de tous les interrupteurs et de toutes les lampes témoins des panneaux était du même type. Il était de calibre 18 avec gaine isolante en PVC. La gaine était de couleur grise et beaucoup plus résistante et rigide que ce que l'on considère normal pour ce type d'application.

**2.6** Chaque paire d'interrupteurs avait 10 connexions soudées sur 8 bornes, et les lampes témoins 5 connexions sur 4 bornes. La paire d'interrupteurs des pompes avait des pattes de fixation vissées comportant 12 connexions sur 8 bornes. Ceci donne un total de 740 connexions soudées sur 96 bornes. Toutes les connexions des bornes étaient exposées comme on peut le constater sur les photographies 5 à 9 qui montrent l'arrière (ou le dessous) des panneaux.

**2.7** Les interrupteurs enlevés des panneaux ont été identifiés ainsi qu'il suit : 62 paires de

micro-contacts de commande, numéro de pièce MCN-22-M10, 19 paires de lampes témoins, numéro de pièce MCN-23, tous fabriqués par IZUMI Denki du Japon; 12 interrupteurs de pompes, «rouges», numéro de pièce LS-4031E-11R, et 12 interrupteurs de pompes «verts», numéro de pièce LS-1031E-11G, tous manufacturés par Tokyo Denki du Japon. Les micro-contacts de commande et les lampes témoins étaient conçus pour loger chacun deux ampoules. Cependant, ils étaient tous câblés pour loger chacun une seule ampoule seulement. Après les avoir déposés des panneaux, tous les interrupteurs ont été photographiés de profil sur diapositives de 35 millimètres. Ces dernières seront soumises à la Commission avec le présent rapport.

**2.8** La construction des micro-contacts de commande est décrite à la figure 1. La paire d'interrupteurs faisant partie du circuit de commande des soupapes à papillon est présentée à la figure 2 sous forme schématique. Elle est indiquée par les deux parties entourées de lignes en traits. À partir de ce schéma, il est évident que les ampoules et les micro-contacts de la paire d'interrupteurs sont dans des circuits séparés et qu'ils ont un rapport entre eux uniquement par l'intermédiaire des disjoncteurs de sécurité des soupapes à papillon et par les contacts de relais.

**2.9** L'examen microscopique de tous les contacts des ampoules n'a révélé aucun signe évident d'amorçage d'arc ni de brûlure. Une certaine corrosion de peu d'importance a été relevée sur la majorité des contacts; cependant, ceci peut être dû au fait que les panneaux ont séjourné six mois dans l'eau salée. À l'exception de la paire d'interrupteurs P-19, aucun des interrupteurs des soupapes ne présentait de signes évidents de dommages.

**2.10** L'examen microscopique détaillé des 76 micro-contacts Burgess V4T6 enlevés des paires des micro-contacts P1 à 16, 20, 27, 30 et 32 (les interrupteurs P-2 et P-8 manquaient) et S1 à 16, 20, 27, 30 et 32 n'a révélé aucun signe évident d'amorçage d'arc. La photographie 10 montre l'un de ces micro-contacts avec une partie de son boîtier enlevée afin de révéler son mécanisme. Tous ces micro-contacts ont été photographiés sur diapositives de 35 mm afin d'en révéler le mécanisme. Ces dernières seront présentées à la Commission avec le présent rapport.

**2.11** Les lampes témoins de commande manuelle des soupapes de bâbord/tribord 33 à 41 (S-35 manquait) ont été examinées afin de déceler tout signe évident de dommage, tel que carbonisation, brûlures ou amorçage d'arc. Aucun dommage de cette nature n'a été trouvé sur l'une quelconque des 19 lampes témoins examinées. Les contacts des ampou-

les présentaient une légère corrosion semblable à celle qu'on a relevée sur les interrupteurs.

**2.12** Les interrupteurs des pompes étaient d'une conception bien différente de celle des micro-contacts de commande comme en font foi les photographies 11 et 12. Une paire d'interrupteurs de pompes comprenait un interrupteur spontané «marche» à bouton-poussoir vert qui, lorsqu'il était enfoncé, mettait en circuit un relais à verrouillage automatique qui mettait la pompe en marche «ON», et un interrupteur «arrêt» à verrouillage automatique à bouton-poussoir rouge qui, lorsqu'il était enfoncé, relâchait le relais et arrêtait la pompe. Le bouton «arrêt» devait être enfoncé de nouveau pour que la lampe témoin rouge s'éteigne et pour que le bouton de marche vert s'allume. L'ampoule de 18 volts logée dans le bouton-poussoir de ces interrupteurs était alimentée directement à partir du circuit de commande de 115 volts par l'intermédiaire d'un petit transformateur monté dans l'interrupteur juste sous le bouton-poussoir, comme le montre la photographie 13. Le mécanisme même de l'interrupteur était placé au fond de l'interrupteur, voir la photographie 13. Aucun dommage par amorçage d'arc ou par brûlure n'a été constaté dans l'un quelconque des 24 interrupteurs de pompes montés dans les panneaux.

**2.13** Chacun des 152 interrupteurs et des 40 lampes témoins des quatre panneaux contenait normalement une ampoule. On a découvert que deux interrupteurs et une paire de lampes témoins ainsi que deux supports d'ampoules manquaient, ce qui a porté à 184 le nombre d'ampoules examinées. Les filaments de 80 ampoules sur les 184 étaient cassés. Le Rapport «E» (EP 332/82) du LTSA porte sur l'analyse de ces ampoules. Les 80 ampoules brûlées ont toutes été photographiées sur diapositives de 35 mm qui seront présentées à la Commission avec le présent rapport.

**2.14** La paire d'interrupteurs P-19 est le seul composant des panneaux que l'on a trouvé endommagé. Seul l'interrupteur vert était endommagé, comme le montrent les photographies 5 et 14. L'interrupteur rouge ne présentait aucun dommage. Le logement du micro-contact était endommagé par la chaleur près de la borne commune du micro-contact, et une borne d'ampoule était réduite en cendres.

#### EXPOSÉ

**3.1** L'interrupteur vert P-19 a brûlé très vraisemblablement en raison de l'infiltration de l'eau de mer qui a causé un tracé conducteur entre la masse et le circuit de 115 volts par l'intermédiaire des pièces métalliques du micro-contact de commande, du panneau

métallique et de la borne de 115 volts. Nous jugeons qu'il est très probable que cet interrupteur est l'endroit même à partir duquel il s'est produit une «fuite» de courant alternatif de 115 volts dans le circuit des ampoules de 24 volts en courant alternatif, ce qui a fait griller les 68 ampoules.

**3.2** Comme on peut le constater sur la photographie 13, les bornes secondaires de 18 volts et les bornes primaires de 115 volts dans les interrupteurs des pompes sont très rapprochées les unes des autres. Lorsque les panneaux ont été inondés, l'eau de mer a très probablement pénétré dans les interrupteurs des pompes au niveau des bornes du transformateur et a court-circuité les contacts primaires au secondaires, ce qui a fait passer la tension de 115 volts dans les ampoules de 18 volts et fait griller les filaments en raison d'une surtension. Ceci s'est produit uniquement au niveau des lampes témoins des pompes qui étaient allumées.

#### CONCLUSIONS

**4.1** Toutes les photographies requises ont été prises et seront remises à la Commission avec le présent rapport.

**4.2** Aucun signe évident de brûlure, de carbonisation ou d'amorçage d'arc n'a été relevé sur

l'un quelconque des composants des panneaux, exception faite de l'interrupteur «vert» P-19.

**4.3** Tous les interrupteurs et toutes les lampes témoins étaient câblés pour une ampoule seulement. Aucune ampoule ne manquait dans ces derniers, sauf P-17. Cependant, il n'y avait pas de douille dans cette paire d'interrupteurs.

**4.4** Les filaments de 80 des 184 ampoules examinées étaient brûlés.

**4.5** Le Rapport «E» (EP 332/83) du LTSA contient l'analyse détaillée des défaillances des ampoules.

**4.6** La partie inférieure du logement des micro-contacts de l'interrupteur «vert» P-19 présentait des signes évidents de dommages causés par amorçage d'arc et brûlures, résultant probablement d'un court-circuit dû à l'eau de mer entre les bornes de 115 volts et la masse par l'intermédiaire des structures métalliques du corps de l'interrupteur.

**4.7** Le court-circuitage de l'interrupteur «vert» P-19 est probablement à l'origine de la fuite de la tension de 115 volts dans le circuit des ampoules de 24 volts, ce qui a fait griller les 68 ampoules.

**4.8** Aucun signe évident d'amorçage d'arc dans l'un quelconque des micro-contacts examinés n'a pu être décelé.

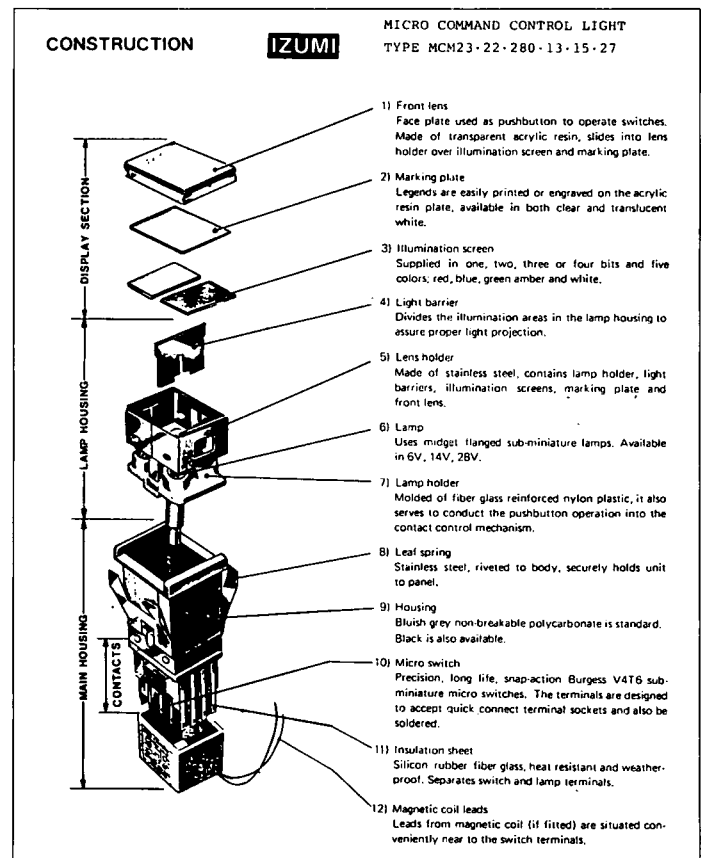
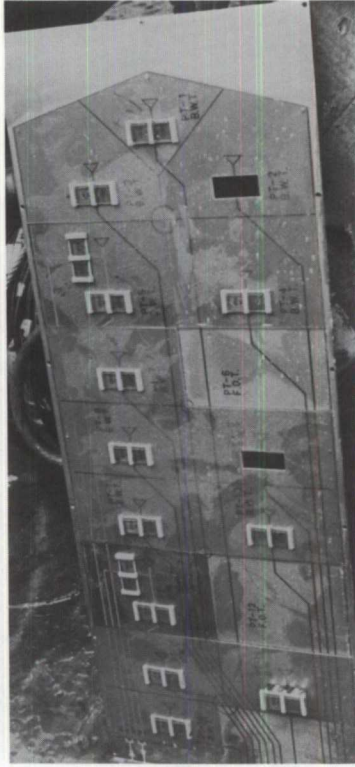
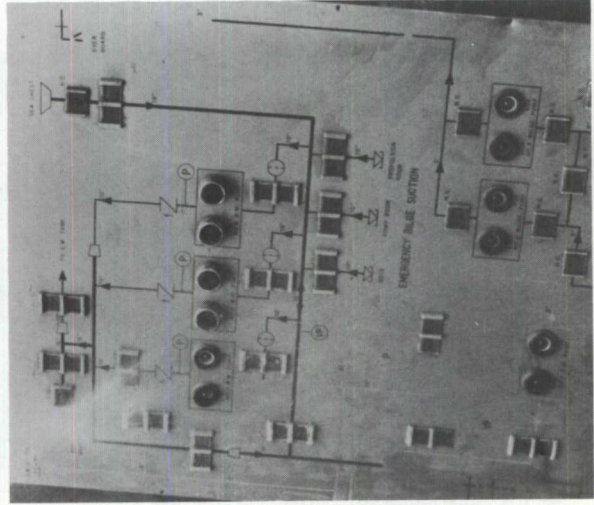


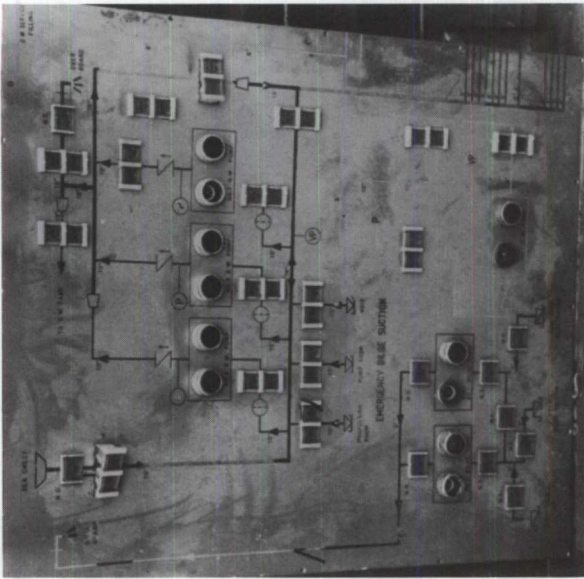
FIGURE 1



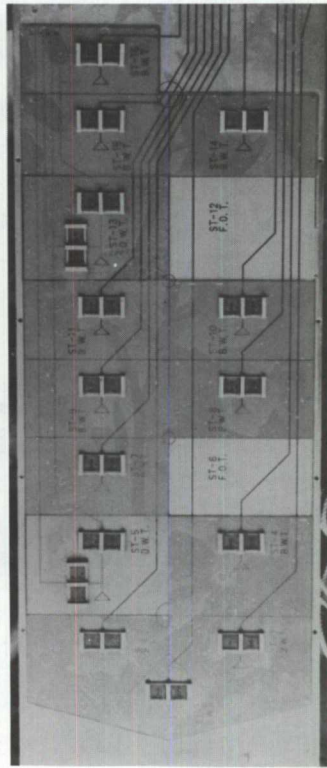
PHOTOGRAPHIE 2 Panneau schématique des soupapes des réservoirs (bâbord)



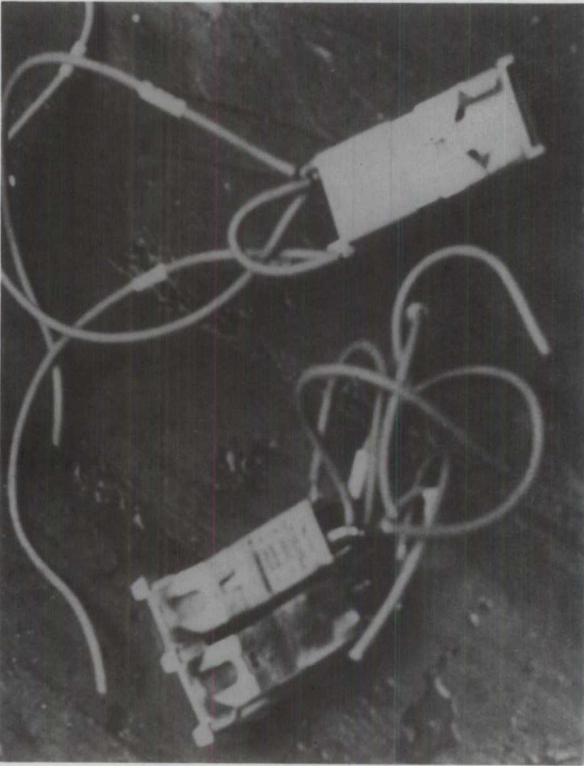
PHOTOGRAPHIE 4 Panneau schématique des soupapes de la chambre des pompes (tribord)



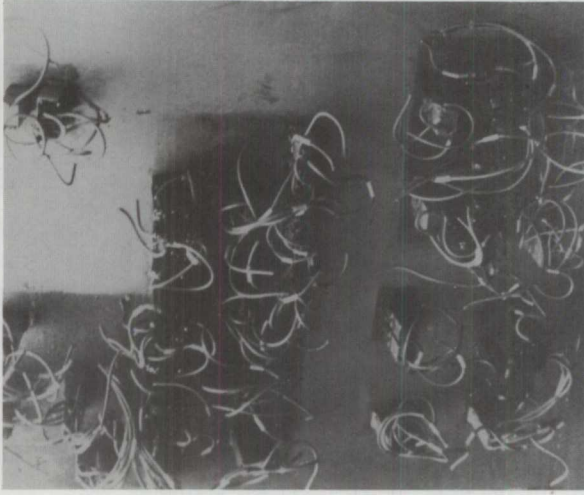
PHOTOGRAPHIE 1 Panneau schématique des soupapes de la chambre des pompes (bâbord)



PHOTOGRAPHIE 3 Panneau schématique des soupapes des réservoirs (tribord)



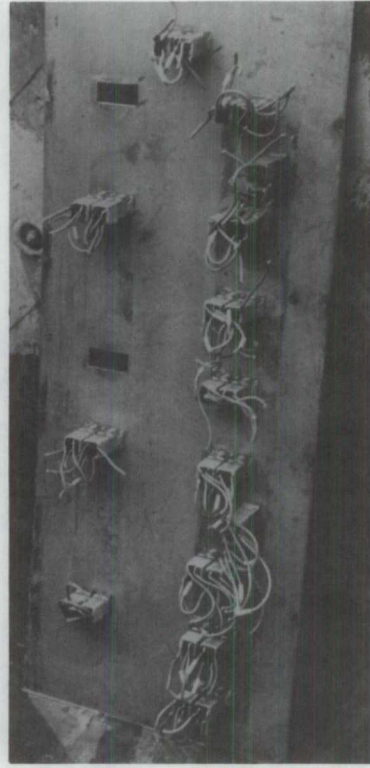
PHOTOGRAPHIE 5 Interrupteur P-19. Dommages causés par jaillissement d'étincelles.



PHOTOGRAPHIE 6 Vue du dessous du panneau schématique des soupapes de la chambre des pompes (bâbord).

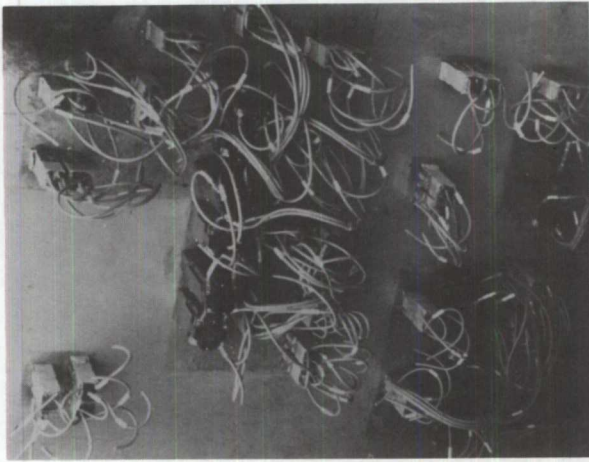


PHOTOGRAPHIE 7 Vue du dessous du panneau schématique des soupapes des réservoirs (bâbord).

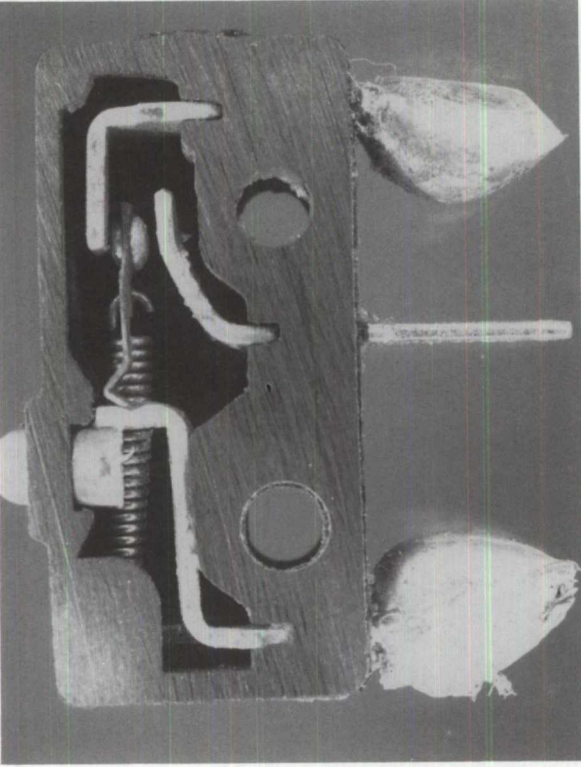


PHOTOGRAPHIE 8 Vue du dessous du panneau schématique des soupapes des réservoirs (tribord).

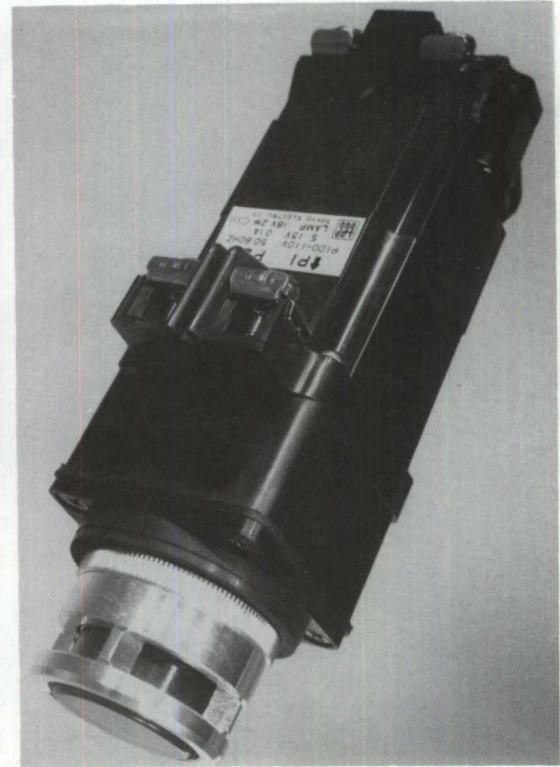




PHOTOGRAPHIE 9 Vue du dessous du panneau schématique des soupapes de la chambre des pompes (tribord).



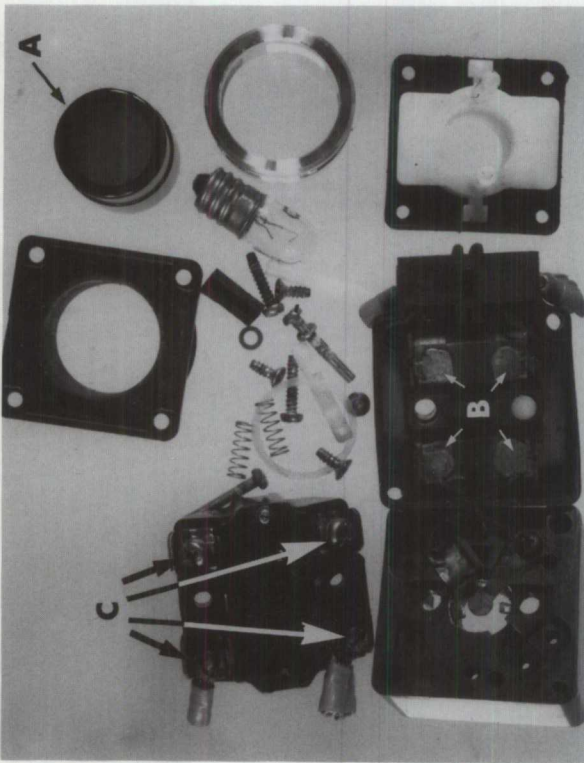
PHOTOGRAPHIE 10 Micro-contact «burgess V4T6», avec vue interne de mécanisme et contacts.



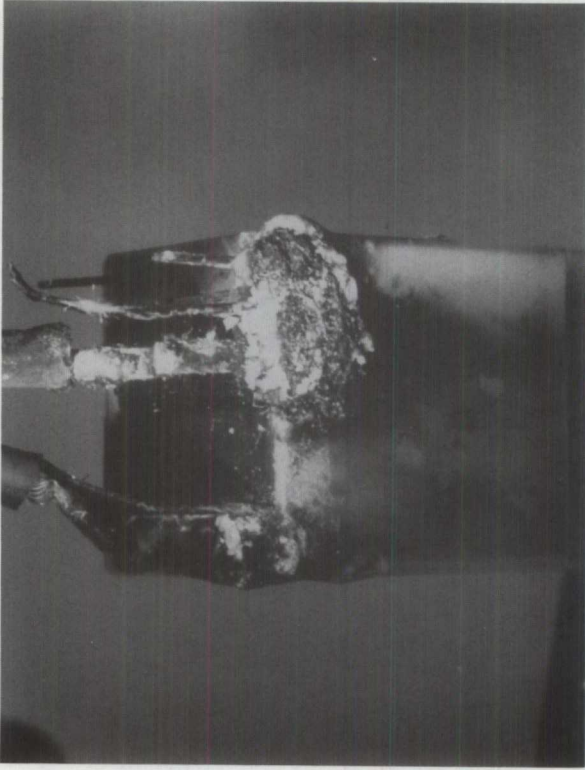
PHOTOGRAPHIE 11 Interrupteur de pompe «rouge».



PHOTOGRAPHIE 12 Interrupteur de pompe «vert».



PHOTOGRAPHIE 13 Composants d'un interrupteur de pompe. "A" bouton-poussoir, "B" transformateur et "C" contacts de l'interrupteur.



PHOTOGRAPHIE 14 Détail de la partie brûlée de l'interrupteur P-19.

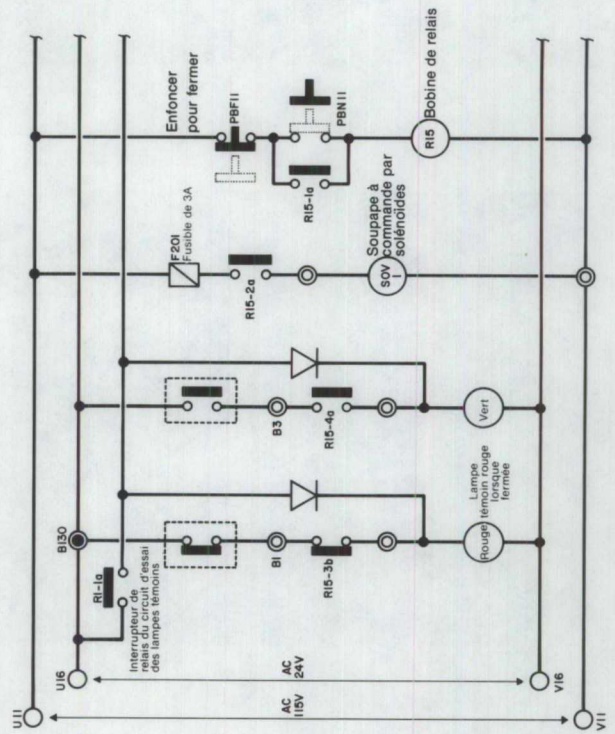
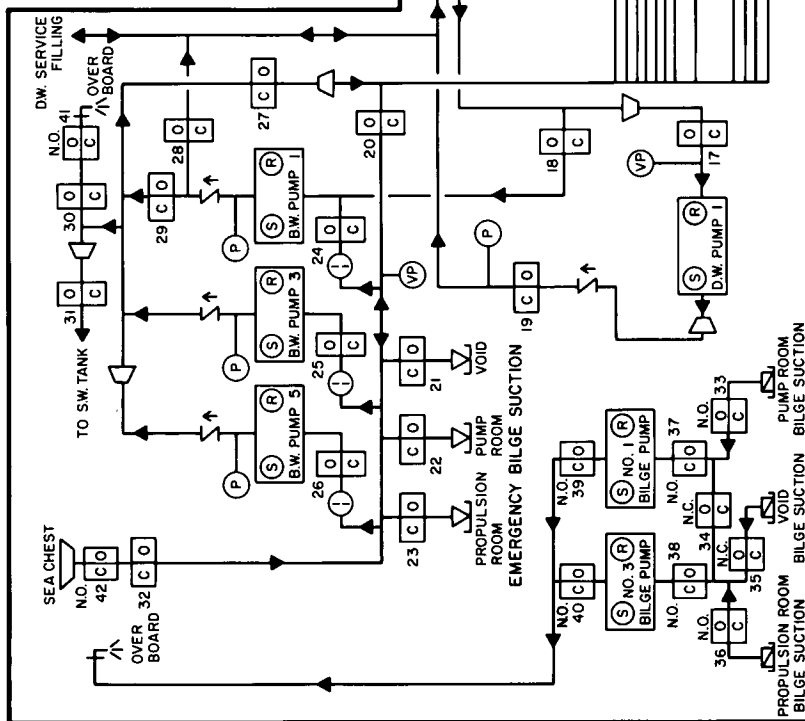


FIGURE 2

### PANNEAU SCHEMATIQUE DE L'OCEAN RANGER (CÔTÉ BÂBORD)

- PT RÉSERVOIR DE BÂBORD O OUVERT N.O. NORMALEMENT OUVERT  
 B.W. EAU DE BALLAST C FERMÉ N.C. NORMALEMENT FERMÉ  
 D.W. EAU DE FORAGE S ARRÊT P TRANSMETTEUR DE PRESSION  
 F.O. COMBUSTIBLE R MARCHE VP TRANSMETTEUR DE PRESSION À VIDE  
 S.W. EAU DE MER



Note: Voir page 102 pour la traduction des termes au complet.

FIGURE 3

**PANNEAU SCHEMATIQUE DE L'OCEAN RANGER  
(CÔTÉ TRIBORD)**

- ST RÉSERVOIR DE TRIBORD O OUVERT N.O. NORMALEMENT OUVERT
- B.W. EAU DE BALLAST C FERMÉ N.C. NORMALEMENT FERMÉ
- D.W. EAU DE FORAGE S ARRÊT P TRANSMETTEUR DE PRESSION
- F.O. COMBUSTIBLE R MARCHÉ VP TRANSMETTEUR DE PRESSION À VIDE
- S.W. EAU DE MER

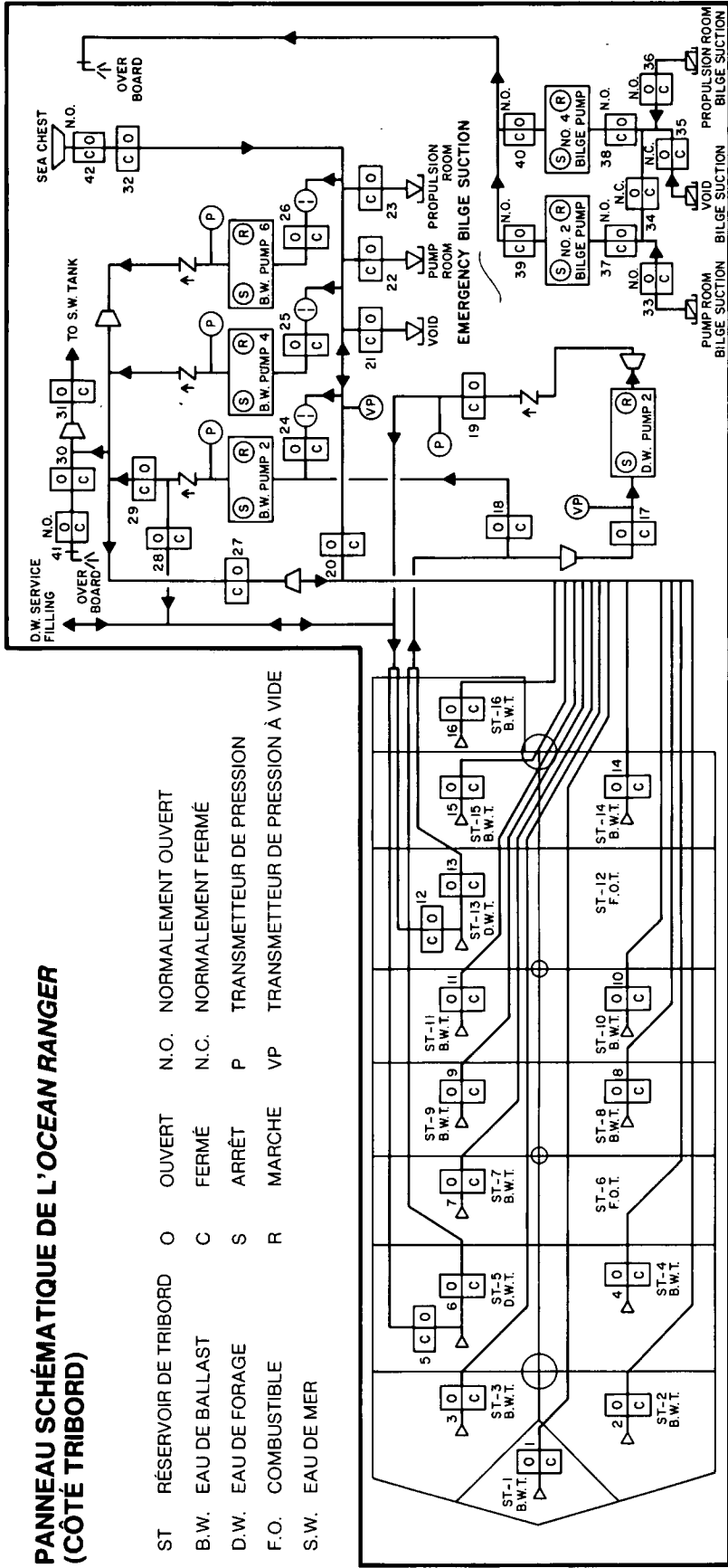


FIGURE 4

**RAPPORT «E»  
RAPPORT TECHNIQUE EP 332/83  
ANALYSE DES AMPOULES DU PANNEAU  
DE CONTRÔLE DES BALLASTS  
8 septembre 1983**

TABLEAU 1

**Lampes témoins des soupapes — Bâbord et tribord**

## INTRODUCTION

**1.1** La Commission royale d'enquête sur le désastre maritime de l'*Ocean Ranger* a demandé au Laboratoire des techniques de sécurité aérienne (LTSA) du Bureau de la sécurité aérienne de Transports Canada de l'aider dans ses travaux en faisant certains essais et analyses concernant les ampoules enlevées du panneau de contrôle de l'*Ocean Ranger* afin de déterminer celles qui fonctionnaient et celles qui avaient été endommagées.

## EXAMEN

**2.1** Aux fins des analyses, les ampoules provenant du panneau de contrôle ont été divisées en quatre groupes : les ampoules étiquetées P1 à P42 des soupapes du côté bâbord, les ampoules S1 à S42 des soupapes du côté tribord, les lampes témoins des pompes de bâbord et celles des pompes de tribord. Les ampoules numérotées 1 à 42 des soupapes de bâbord et de tribord étaient logées dans des ensembles d'interrupteurs ou de lampes témoins qui pouvaient contenir chacun quatre ampoules. La plupart des ensembles ne contenaient chacun que deux ampoules, l'une pour l'éclairage de la plaque de fonction rouge translucide identifiée «closed» et l'autre pour l'éclairage de la plaque verte translucide identifiée «open». Dans les ensembles qui contenaient plus de deux ampoules, deux seulement étaient câblées dans le circuit. Par conséquent, les ampoules supplémentaires n'ont pas été examinées en tant que partie du circuit. Les lampes témoins des pompes de bâbord et de tribord indiquaient les pompes qui étaient en marche en éclairant une plaque verte alors qu'un bouton rouge signalait une pompe arrêtée. Les ensembles des interrupteurs étaient câblés pour fournir une alimentation de 24 volts aux ampoules, et un circuit de 115 volts passait le long du circuit de 24 volts, afin d'alimenter les solénoïdes. Les lampes témoins des soupapes, numérotées 33 à 42, étaient des lampes témoins sans interrupteurs pour indiquer le fonctionnement manuel des soupapes, et leur câblage ne permettait qu'une alimentation de 24 volts seulement.

**2.2** Les ampoules retirées du panneau avaient été fabriquées par diverses sociétés (surtout par Stanley et Chicago Miniature) et elles étaient typiquement du type 387. Toutes les ampoules ont été jugées acceptables pour ce type d'application.

INTER-RUPTEUR	REMARQUES
P3 Ouvert	Cassure chaude.
P3 Fermé	Filament soudé au verre à trois endroits, cassé à trois endroits.
P4 Ouvert	Fracture chaude à un endroit et soudé au verre.
P4 Fermé	Fracture chaude et soudé au verre.
P5 Fermé	Fracture chaude et soudé au verre à deux endroits.
P6 Ouvert	Fracture chaude et soudé au verre.
P7 Ouvert	Bornes de support et filament à travers le verre.
P11 Fermé	Filament soudé au verre.
P12 Fermé	Fracture chaude et soudé au verre.
P13 Fermé	Fracture chaude, plusieurs fragments. Grillage dû à l'usure et à la surtension.
P14 Fermé	Fracture chaude et soudé au verre.
P15 Ouvert	Fracture friable.
P16 Fermé	Fracture chaude et légère fusion.
P19 Fermé	Fracture chaude, filament.
P20 Ouvert	Fracture chaude, chaque borne de contact. Probablement fracture chaude.
P20 Fermé	Fracture près de la borne de contact. Probablement fracture chaude.
P25 Ouvert	(Données non incluses).
P25 Fermé	Fracture chaude du filament. Signes évidents de points de fusion sur le filament et une fracture friable.
P27 Fermé	Fracture chaude.
P28 Fermé	Filament à travers le verre et borne de support à travers le verre. Grillage possible.
P28 Ouvert	Filament cassé lâche, cassures friables internes.
P29 Ouvert	Filament cassé, friable et fusion.
P31 Ouvert	Fracture chaude du filament.
P33 Ouvert	Fracture chaude près de la borne de support.
P34 Fermé	Fracture chaude.
P35 Ouvert	Fracture chaude, parties soudées à l'enveloppe de verre.
P35 Fermé	Fracture chaude, pièces soudées au verre.
P36 Fermé	Fracture chaude entre les bornes de support.
P37 Ouvert	Fracture chaude.
P38 Ouvert	Plusieurs fragments de filament, chaude.

**2.3** L'examen des ampoules a inclus un examen des filaments au microscope optique. Cet examen a révélé que plusieurs ampoules contenaient des filaments cassés, photographie 1, et/ou des filaments étirés, photographie 2 et/ou des filaments fondus et soudés à l'enveloppe de verre, photographie 3. Toutes les ampoules présentant quelque dommage ont été subséquemment examinées au microscope à balayage électronique. Dans la majorité des cas où les filaments étaient cassés, ils l'étaient à proximité de leur bornes de contact, ce qui est en soi un point faible des filaments des ampoules. L'analyse des surfaces brisées au moyen du microscope à balayage électronique a révélé que la plupart des cassures présentaient une surface régulière caractéristique d'un filament chaud au moment du bris, exception faite de huit cassures qui étaient friables. Les photographies 4, 5 et 6 montrent des fractures «chaudes» ou régulières typiques de ce qu'on a constaté dans le cas de l'*Ocean Ranger*. Le Tableau 1 est une liste de toutes les ampoules examinées et dans lesquelles on a décelé des dommages.

#### EXPOSÉ

**3.1** Les fractures «chaudes» observées dans presque tous les filaments cassés peuvent se produire de façon typique comme résultat de trois mécanismes différents :

- a) impact violent alors que le filament est incandescent;
- b) grillage en raison de l'usure;
- c) grillage en raison d'une surtension.

Le fait que 43% des ampoules aient fait défaut et qu'il ne semble pas qu'un choc considérable ait pu se produire pendant que la plate-forme coulait laissent croire que les ampoules ont grillé en raison d'une surtension. Des tests en laboratoire des ampoules de type 327 de la Générale Électrique (semblables aux ampoules récupérées de l'*Ocean Ranger*) ont été effectués afin de déterminer les effets d'une haute tension. Ces tests ont révélé que les filaments cassaient de façon typique près d'une ou des deux bornes de contact, et qu'ils fondaient et se soudaient souvent à l'enveloppe de verre. Les cassures étaient typiquement régulières et semblables à celles que l'on a découvert dans le panneau de contrôle de l'*Ocean Ranger*. La majorité des ampoules provenant de l'*Ocean Ranger* n'ont révélé, à leur examen, aucun signe d'usure excessive (apparence fortement dentelée) ce qui nous a permis d'exclure le grillage en raison de l'usure. La haute tension appliquée au cours des tests a également causé l'étirement local des filaments et, lorsqu'on a augmenté les niveaux de tension, les bris sont devenus plus explosifs, les filaments venant se souder à l'enveloppe de verre.

TABLEAU 1 – (SUITE)

#### Lampes témoins des soupapes — Bâbord et tribord

INTER-RUPTEUR	REMARQUES
P41 Ouvert	Fracture chaude.
P42 Ouvert	Fracture chaude, usé
S2 Fermé	Filament soudé au verre, présence d'eau, corrosion importante.
S3 Fermé	Filament cassé. Borne de support soudée au verre.
S5 Ouvert	Filament cassé et soudé au verre. Cassure semble friable.
S8 Fermé	Fracture chaude du filament. Support touche le verre. Signe évident de fusion locale.
S13 Fermé	Fracture chaude.
S14 Ouvert	Grillage possible. Pas de fracture mais étirement.
S14 Fermé	Bornes de support fondues. Fracture chaude.
S15 Fermé	Fracture chaude du filament, soudé au verre.
S16 Fermé	Signes évidents de fusion locale, fracture.
S17 Ouvert	Fracture chaude.
S18 Fermé	Fracture chaude.
S20 Ouvert	Fracture chaude du filament. Bornes soudées au verre.
S21 Fermé	Fracture chaude.
S22 Fermé	Fracture chaude.
S25 Fermé	Fracture chaude. Soudé au verre.
S28 Fermé	Fracture chaude et une fracture friable. Grillage possible.
S29 Ouvert	Fracture chaude, fusion locale.
S29 Fermé	Fracture chaude et fondu. Fusion locale.
S30 Fermé	Fracture chaude et fondu. Cassure friable.
S31 Fermé	Fracture chaude et fondu.
S32 Ouvert	Fracture friable et fondu.
S32 Fermé	(Données non incluses).
S33 Ouvert	Fracture chaude.
S34 Ouvert	Fracture chaude.
S34 Fermé	Fracture chaude.
S37 Ouvert	Fracture chaude.
S37 Fermé	Fracture chaude.
S38 Ouvert	Fracture chaude.
S39 Ouvert	Fracture chaude.

**3.2** Une maquette du panneau de contrôle du côté tribord, photographie 7, contenant des ampoules de type 327 de la Générale Électrique a été inondée d'eau de mer afin de simuler les dommages observés subis par le panneau de contrôle. Le fusible du circuit de 24 volts a fondu peu après et toutes les ampoules se sont éteintes. Après un certain temps, les ampoules ont commencé à clignoter au hasard avec une forte intensité variable. Environ 80% des ampoules de la maquette qui ont été examinées ont révélé les dommages caractéristiques d'un grillage dû à une surtension. Les photographies 8 et 9 montrent les filaments des ampoules de la maquette. La photographie 8 montre un étirement de filament identique à celui présenté sur la photographie 2 qui fait voir le panneau original. La photographie 9 est un agrandissement local de la coupe transversale du filament semblable aux résultats des essais de surtension indiqués sur la photographie 10 et semblable à la photographie 4 du panneau original. L'agrandissement local du fil de chauffage près de la cassure n'était pas aussi évident dans le cas des ampoules originales de l'*Ocean Ranger*, possiblement à cause de l'usure des filaments. Il se peut que le circuit de 24 volts ait sauté et que le circuit de 115 volts ait amorcé un arc à cause de l'eau, ce qui a soumis les ampoules à une tension excédant de beaucoup la tension de 24 volts dans le panneau original de l'*Ocean Ranger* aussi bien que dans le panneau de la maquette. Les ampoules énumérées au Tableau 1 ont été probablement soumises à des surtensions bien supérieures à 24 volts.

#### CONCLUSIONS

**4.1** Les ampoules ont été jugées convenir à ce type d'utilisation dans un circuit de 24 volts.

**4.2** Les 76 ampoules énumérées au Tableau 1 semblent avoir été endommagées par la chaleur, probablement à cause de surtensions bien supérieures à 24 volts.

**4.3** Huit ampoules parmi celles qui sont énumérées au Tableau 1 présentaient des cassures friables ainsi que des signes évidents de fusion, et l'on juge qu'elles ont également grillé.

**4.4** Vingt-trois ampoules contenaient des filaments et/ou des bornes de support fusionnés à l'enveloppe de verre, ce qui indique qu'il y a eu surtension ou chaleur excessive.

**4.5** Les figures 1 et 2 sont des schémas de principe du panneau de l'*Ocean Ranger* montrant les ampoules réputées avoir été endommagées par une surtension, et la figure 3 présente un schéma du panneau de la maquette (panneau de tribord seulement) montrant les ampoules endommagées par surtension.

TABLEAU 1 – (SUITE)  
Lampes témoins des pompes – Tribord

INTERRUPTEUR	REMARQUES
#2 EAU DE BALLAST — ARRÊT	Filament soudé au verre.
#4 EAU DE BALLAST — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#6 EAU DE BALLAST – MARCHÉ	Usé, fracture chaude.
#2 CALE — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#4 CALE — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#2 EAU DE FORAGE – ARRÊT	Fracture chaude.
S39 Fermé	Fracture chaude.
S41 Ouvert	Fracture chaude.
S42 Ouvert	Fracture chaude.

Lampes témoins des pompes – Bâbord

INTERRUPTEUR	REMARQUES
#1 EAU DE BALLAST — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#3 EAU DE BALLAST — ARRÊT	Usé fracture chaude.
#5 EAU DE BALLAST — ARRÊT	Fondu, fracture chaude.
#1 CALE — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#3 CALE — ARRÊT	Usé, fracture chaude.
#1 EAU DE FORAGE — ARRÊT	Usé, fracture chaude.