

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR UN ACCIDENT MARITIME

M99L0011

ÉCLATEMENT D'UN COMPRESSEUR

À BORD DU PORTE-CONTENEURS « CANMAR SPIRIT »
DANS LE PORT DE MONTRÉAL (QUÉBEC)

LE 27 JANVIER 1999

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet accident dans le seul but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ou à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête sur un accident maritime

Éclatement d'un compresseur

à bord du porte-conteneurs « CANMAR SPIRIT »
dans le port de Montréal (Québec)
le 27 janvier 1999

Rapport numéro M99L0011

Sommaire

Le 27 janvier 1999, le « CANMAR SPIRIT » remontait dans le port de Montréal (Québec) et se dirigeait vers un poste à quai de la section 78 pour qu'on procède à la manutention de la cargaison.

Dans le cadre des tâches normales au cours de la manoeuvre, on a chargé un membre de l'équipage du service machines de faire démarrer deux des compresseurs d'air principaux du bord. Après avoir fait démarrer le compresseur n° 1 sans incident, le membre d'équipage a entamé le processus de démarrage du compresseur n° 3. Au moment du démarrage, une surpression subite et violente s'est produite à l'intérieur du compresseur. Des tubes du refroidisseur du deuxième étage ont éclaté, le carter du compresseur au droit de la chambre d'eau de refroidissement a également éclaté et une conduite flexible d'alimentation en air a été éraillée. Le couvercle du refroidisseur du deuxième étage a aussi éclaté, et les fragments projetés ont grièvement blessé le membre d'équipage.

Comme le « CANMAR SPIRIT » n'était pas encore à quai, on a évacué le blessé à bord d'un remorqueur de port. L'opération s'est déroulée sous la supervision de techniciens ambulanciers compétents. Le décès du membre d'équipage a été constaté à son arrivée à l'hôpital.

Le Bureau a déterminé que le compresseur n° 3 du « CANMAR SPIRIT » a subi une surpression violente et presque instantanée parce que le clapet de refoulement est resté fermé pendant le démarrage du compresseur. Cet oubli, combiné au mauvais fonctionnement des vannes de mise à l'air libre, a créé un circuit fermé qui a fait en sorte que certains éléments du compresseur n'ont pu résister à l'augmentation de la pression. Le fait que l'entretien des clapets anti-retour laissait à désirer a contribué à l'accident.

This report is also available in English.

1.0	Renseignements de base	1
1.1	..... Fiche technique du navire	1
1.1.1	..... Description du navire	1
1.2	..... Déroulement du voyage	2
1.3	..... Victimes	3
1.3.1	..... Expérience traumatisante pour l'équipage	3
1.4	..... Avaries au navire	3
1.5	..... Certificats et brevets	4
1.5.1	..... Certificats du navire	4
1.5.2	..... Brevets du personnel	4
1.6	..... Antécédents du personnel	4
1.7	..... Examens et essais en laboratoire	5
1.7.1	..... Clapets anti-retour et soupapes de sûreté	5
1.7.2	..... Pompe à eau Jabsco	5
1.7.3	..... Couvercle du refroidisseur d'air du deuxième étage	5
1.7.4	..... Tubes des refroidisseurs d'air des premier et deuxième étages	6
1.8	..... Le compresseur	6
2.0	Analyse	7
2.1	..... Les compresseurs	7
2.1.1	..... Procédures de fonctionnement	7
2.1.2	..... Procédure de démarrage	7
2.1.3	..... Conception du système	7
2.2	..... Pièces de rechange	8
2.2.1	..... Tubes du refroidisseur du deuxième étage	8
2.3	..... Entretien	8
2.3.1	..... Pompe Jabsco	8
2.3.2	..... Soupapes de sûreté	9
2.3.3	..... Clapets anti-retour	9

2.3.4	..... Tubes du refroidisseur	9
2.4	..... Règlements et essais obligatoires	9
2.4.1	..... Règlements	9
2.4.2	..... Essais	10
2.5	..... Rotation des membres de l'équipage	11
2.6	..... Soutien psychologique après l'accident	12
3.0	Conclusions.....	13
3.1	..... Faits établis	13
3.2	..... Causes	14
4.0	Mesures de sécurité	15
4.1	..... Mesures prises	15
5.0	Annexes	
	Annexe A - Photographies.....	17
	Annexe B - Liste des rapports pertinents	19
	Annexe C - Sigles et abréviations	20

1.0 Renseignements de base

1.1 Fiche technique du navire

	« CANMAR SPIRIT »
Numéro officiel	341333
Port d'immatriculation	Hong Kong
Pavillon	Zone administrative spéciale de Hong Kong (Chine)
Type	Porte-conteneurs
Jauge brute ¹	15 647 tonneaux
Longueur	167 m
Tirant d'eau	Avant : 6,46 m Arrière : 7,26 m
Construction	1970
Propulsion	Un moteur diesel B&W de huit cylindres avec turbocompresseur fournissant 11 100 kW
Cargaison	Marchandises générales en conteneurs
Nombre de membres d'équipage	23
Gestionnaires	Split Ship Management Ltd. (Croatie)
Propriétaires	Canada Maritime Ltd. (Bermudes)

1.1.1 Description du navire

Le « CANMAR SPIRIT » est un porte-conteneurs d'une capacité de 793 TEU² (équivalence de conteneurs de 20 pieds) qui possède quatre cales. Les emménagements et la salle des machines sont situés à l'arrière. Le navire fait escale régulièrement au port de Montréal puisqu'il navigue sur la route commerciale de l'Atlantique Nord entre l'Europe et l'Amérique du Nord. Sa vitesse commerciale moyenne est de 16,5 noeuds.

Le « CANMAR SPIRIT » a été lancé en 1971. Il s'appelait alors le « CP TRADER », mais il a connu une série de changements de nom et de gestionnaires. En 1982, il a été rebaptisé « ANDES TRADER ». Il est devenu le « SAN LORENZO » en 1986. Et en 1994, il a été rebaptisé « CANMAR SPIRIT ».

¹ Les unités de mesure dans le présent rapport sont conformes aux normes de l'Organisation maritime internationale (OMI) où, à défaut de telles normes, elles sont exprimées selon le système international (SI) d'unités.

² Voir l'annexe C pour la signification des sigles et abréviations.

1.2 *Déroulement du voyage*

Dans l'après-midi du 18 janvier 1999, le «CANMAR SPIRIT» part de Lisbonne (Portugal) à destination de Montréal (Québec). En début d'après-midi, le 27 janvier 1999, après avoir traversé l'océan sans incident, le navire approche de la section 78 du port de Montréal où il doit accoster pour qu'on procède à la manutention de la cargaison.

Dans la salle des machines, les membres de l'équipage ont été appelés aux postes de manoeuvre et s'acquittent des tâches qui leur ont été assignées. Le chef mécanicien et l'officier de quart (OQ) se trouvent dans la salle de commande. Vers 13 h 45, heure normale de l'Est (HNE)³, on envoie le graisseur de quart faire démarrer les compresseurs d'air principaux n^{os} 1 et 3. Après avoir mis en route le compresseur n^o 1 sans incident, le graisseur entreprend de faire démarrer le compresseur n^o 3. Peu après le début de la procédure de démarrage, vers 14 h, une surpression subite et violente se produit à l'intérieur du compresseur. On entend un bruit semblable à celui d'une explosion à la grandeur du navire, et les membres d'équipage de la salle de commande observent un nuage de vapeur blanche près du compresseur. L'OQ se rend immédiatement sur les lieux de l'accident et voit le graisseur tituber puis s'effondrer près du compresseur n^o 1, à environ huit mètres de la scène de l'accident. Il semble que le graisseur était en train de fermer les robinets de purge des premier et deuxième étages au moment de la surpression. Il se trouvait proche du couvercle du refroidisseur du deuxième étage et un peu à droite du couvercle. La rupture complète et violente de cette pièce d'équipement, due à la surpression à l'intérieur du compresseur, a blessé grièvement le graisseur de quart, qui ne survivra pas à ses blessures.

L'équipage du navire prodigue alors les premiers soins au blessé à l'endroit même où il est tombé. Les Services de communications et de trafic maritimes (SCTM) de Montréal, avisés de la situation, dépêchent immédiatement le remorqueur « OCEAN INTREPID », ayant à son bord des techniciens ambulanciers. À 14 h 18, les techniciens ambulanciers montent à bord du « CANMAR SPIRIT » et prodiguent les premiers soins à la victime. Vers 14 h 55, le blessé est évacué et placé à bord du remorqueur, qui le ramène à terre; le blessé est ensuite conduit à un hôpital local sous la supervision des techniciens ambulanciers.

Après l'évacuation du blessé, le « CANMAR SPIRIT » accoste sans encombre. À l'arrivée du blessé à l'hôpital, les autorités de l'hôpital ne peuvent que constater son décès.

³

Les heures sont exprimées en HNE (temps universel coordonné [UTC] moins cinq heures), sauf indication contraire.

1.3 Victimes

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	1	-	-	1
Disparus	-	-	-	-
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/ indemnes	22	-	-	22
Total	23	-	-	23

L'enquête a établi que le graisseur de quart a succombé à des blessures causées par des fragments de métal projetés à grande vitesse. Il est fort probable que les fragments de métal provenaient du couvercle de l'orifice de refoulement du deuxième étage, qui a éclaté au moment de la surpression du compresseur.

1.3.1 Expérience traumatisante pour l'équipage

Dans les 48 heures qui ont suivi l'accident, un grand nombre de responsables sont montés à bord du navire, dont des inspecteurs, des enquêteurs, des experts maritimes, la police, des représentants des propriétaires et de la compagnie d'assurance. Chacun a posé de nombreuses questions pour s'acquitter de son mandat respectif. Les questions ont surtout été posées aux officiers supérieurs, notamment au capitaine et au chef mécanicien. On s'y attendait en raison de la gravité de la situation, mais, selon l'information recueillie, les questions ont augmenté le niveau de stress et d'angoisse de l'équipage qui était déjà ébranlé.

1.4 Avaries au navire

Le compresseur n° 3, en l'occurrence un compresseur à pistons à lubrification sous pression et refroidi à l'eau, a été endommagé au point de ne pouvoir être réparé à un coût raisonnable. Le couvercle du refroidisseur d'air du deuxième étage a éclaté, et ses fragments ont été projetés à grande vitesse, un peu comme des éclats d'obus. Le compresseur a subi les dommages suivants : 18 des 33 tubes du refroidisseur du deuxième étage ont éclaté, le carter du compresseur au droit de la chambre d'eau de refroidissement a éclaté, et une conduite flexible d'alimentation en air présentait des éraflures.

1.5 *Certificats et brevets*

1.5.1 *Certificats du navire*

La dernière inspection annuelle du « CANMAR SPIRIT » a été faite à Rijeka, en Yougoslavie, le 9 septembre 1998. Le Certificat de sécurité de construction pour navire de charge a été délivré à Londres le 16 août 1996 et devait venir à échéance le 14 mai 2001. Le Certificat de sécurité du matériel d'armement pour navire de charge a été délivré à Hong Kong le 11 juin 1997, et la dernière annotation lui a été apportée à Montréal le 12 juin 1998.

1.5.2 *Brevets du personnel*

Le graisseur qui a trouvé la mort dans l'accident était titulaire d'un certificat de capacité de graisseur délivré le 1^{er} octobre 1996 et annoté en décembre 1997. Il était aussi titulaire d'un certificat de lutte contre l'incendie, d'un certificat relatif à l'utilisation des dispositifs de sauvetage et d'un certificat de recherche et sauvetage et de survie en mer, conformes à la *Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille de 1978* (STCW).

Le chef mécanicien était titulaire d'un brevet de mécanicien de première classe délivré en 1989. Le plus récent certificat de maintien des compétences avait été délivré en 1997.

Le capitaine était titulaire d'un brevet de capitaine qui avait été délivré en 1972. Le plus récent certificat de maintien des compétences datait de 1997.

Les brevets et certificats mentionnés précédemment ont tous été délivrés par le ministère des Affaires maritimes de Croatie.

1.6 *Antécédents du personnel*

Le graisseur qui a été tué par l'éclatement du compresseur s'était joint à l'équipage du «CANMAR SPIRIT» le 9 décembre 1998, soit sept semaines avant l'accident. Il était affecté au quart de 12 h à 16 h et il était considéré comme un travailleur fiable qui connaissait bien les procédures du service machines. Il avait de l'expérience dans l'utilisation des compresseurs et maîtrisait les procédures de démarrage. Il en était à sa première période de service à bord du « CANMAR SPIRIT ».

Le capitaine naviguait depuis 1965 et avait été capitaine à bord de différents navires depuis 1978. Il s'était joint au «CANMAR SPIRIT» le 13 janvier 1999.

Le chef mécanicien travaillait comme marin depuis 1977 et avait travaillé comme chef à bord de divers navires depuis 1996. Il s'était joint au navire le 9 décembre 1998.

1.7 *Examens et essais en laboratoire*

1.7.1 *Clapets anti-retour et soupapes de sûreté*

Les trois compresseurs du «CANMAR SPIRIT» étaient équipés de clapets anti-retour (de retenue). Le clapet anti-retour sert à empêcher que l'air contenu dans le réservoir d'air revienne vers le compresseur. Lors de l'examen, on a découvert que le clapet anti-retour de chacun des trois compresseurs ne fonctionnait pas correctement et laissait fuir de l'air à haute pression qui revenait vers le compresseur.

Les compresseurs sont aussi munis de soupapes de sûreté à basse pression et à haute pression, aux premier et au deuxième étages respectivement. Ces soupapes à pistons et à ressorts sont réglées pour s'ouvrir dès que la pression dépasse de 10 % la pression de fonctionnement de l'étage auquel elles sont associées. Les examens et les essais des soupapes de sûreté du compresseur défectueux ont révélé que des résidus d'huile brûlée bloquaient complètement la soupape de sûreté du deuxième étage du côté admission, et la bloquaient à au moins 50 % du côté refoulement. Il est fort peu probable que la soupape ait pu fonctionner convenablement dans cet état. La soupape de sûreté du premier étage a été endommagée par la projection de débris lors de l'éclatement du compresseur et n'a donc pas fait l'objet de tests, mais un examen visuel a révélé qu'elle était complètement bloquée par des résidus d'huile et de la suie.

Les soupapes de sûreté des deux autres compresseurs ont aussi fait l'objet d'examens et de tests. Seulement une soupape du premier étage et une soupape du deuxième étage fonctionnaient convenablement, ce qui donne un taux global de défaillance légèrement supérieur à 66 %, puisque quatre des six soupapes de sûreté ne fonctionnaient pas convenablement. Ces défauts sont attribuables à une accumulation de dépôts d'huile et de suie.

1.7.2 *Pompe à eau Jabsco*

On a démonté et examiné la pompe à eau de refroidissement Jabsco du compresseur défectueux; cette pompe fournit l'eau de refroidissement aux enveloppes de cylindre et aux culasses des refroidisseurs d'air des premier et deuxième étages. L'examen a révélé que 4 des 9 ailettes du rotor étaient brisées, et que deux des ailettes brisées étaient coincées entre le rotor et le carter de la pompe. Une cinquième ailette était sur le point de se briser complètement. L'examen au microscope des surfaces de rupture des ailettes a révélé que la rupture avait été graduelle et n'était pas due à la défectuosité du compresseur.

1.7.3 *Couvercle du refroidisseur d'air du deuxième étage*

Le couvercle du refroidisseur d'air du deuxième étage est muni d'un robinet de purge, d'un bouchon fusible et de la soupape de sûreté haute pression. Au moment de la défaillance, ce couvercle s'est brisé en plusieurs morceaux qui ont été projetés à grande vitesse. Un examen au microscope optique a montré que les surfaces de rupture affichaient tous des signes de rupture fragile consécutive à une surcharge instantanée. Aucun signe de fissuration antérieure n'a été observé.

1.7.4 Tubes des refroidisseurs d'air des premier et deuxième étages

Aucun des tubes du refroidisseur du premier étage ne s'est brisé, mais 18 des 33 tubes du faisceau du deuxième étage ont connu une défaillance typique d'une surpression. L'examen au microscope n'a révélé aucun signe de fissuration antérieure sur les surfaces de rupture des tubes. De même, on n'a relevé aucun signe de surchauffe ou de combustion typique d'une explosion. Les signes observés sont typiques d'un éclatement.

L'examen minutieux et les tests menés sur les tubes des refroidisseurs des premier et deuxième étages ont révélé que les tubes du premier étage étaient conformes aux indications du fabricant, mais que ceux du deuxième étage ne l'étaient pas. Plus précisément, le fabricant exige des tubes de cuivre de qualité BS2871 ayant une teneur en cuivre d'au moins 99,85 % et une paroi tubulaire d'une épaisseur de 0,91 mm, pour les tubes des premier et deuxième étages. Les tubes installés sur le deuxième étage du compresseur étaient des tubes de laiton d'aluminium, alliage UNS C68700; ces tubes n'étaient pas conformes aux indications du fabricant car leur épaisseur moyenne était inférieure de moitié à l'épaisseur exigée par le fabricant.

De plus, un examen minutieux de ces tubes a révélé des piqûres de corrosion qui pourraient être attribuables à l'absence d'additifs antioxydants dans l'eau de refroidissement.

1.8 Le compresseur

Le compresseur n° 3 était un appareil Hamworthy de type 2TM63 fabriqué en 1976. Il avait une capacité nominale de 350 mètres cubes à l'heure à une pression de 29,3 bars. Il s'agissait d'un compresseur à pistons à deux étages, lubrifié sous pression et refroidi à l'eau. Les dossiers du navire indiquent qu'à la fin de décembre 1998, le compresseur totalisait 48 002 heures de fonctionnement.

2.0 *Analyse*

2.1 *Les compresseurs*

2.1.1 *Procédures de fonctionnement*

L'examen et les tests effectués sur les différentes pièces du compresseur défectueux et des deux autres compresseurs ont révélé que les clapets anti-retour des trois compresseurs fuyaient parce qu'ils étaient bloqués par des résidus d'huile et de suie. Du fait que les clapets anti-retour étaient inopérants, une intervention manuelle s'imposait, notamment pour ouvrir le clapet de refoulement de chaque compresseur avant le démarrage et pour le fermer après l'arrêt du compresseur.

2.1.2 *Procédure de démarrage*

L'examen du compartiment des compresseurs après l'accident a permis de recueillir des indices sur les gestes que le graisseur de quart a posés pendant la procédure de démarrage du compresseur n° 3. Fait important à signaler, l'examen a permis de constater que le clapet de refoulement du compresseur n° 3 était resté fermé pendant la procédure de démarrage. Il est plausible que le graisseur de quart ait oublié d'ouvrir le clapet de refoulement au début de la procédure de démarrage. Il aurait oublié cette étape malgré le fait qu'il connaissait bien la procédure de démarrage, qu'il avait fait démarrer les compresseurs à de nombreuses reprises à bord de ce navire depuis qu'il s'était joint à l'équipage, et qu'il venait de mettre en route sans encombre le compresseur n° 1. Il est fort possible que le graisseur ait commis une « erreur de mode ». Ce type d'erreur se produit quand on identifie mal une situation et que, par voie de conséquence, on prend des mesures qui ne conviennent pas à la situation. Cela se produit souvent quand le mode de fonctionnement de l'équipement n'est pas visible d'emblée et que l'information dont l'opérateur dispose est ambiguë. Le clapet de refoulement était resté en position fermée, et cela n'était pas visible sur le compresseur. Cet oubli a contribué à la forte surpression à l'intérieur du compresseur.

2.1.3 *Conception du système*

En termes simples, on peut dire qu'un système est une combinaison d'éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat ou de manière à former un ensemble.⁴ Un système comprend l'être humain, la machine et d'autres éléments qui interagissent pour atteindre un but. Les principes de conception des systèmes visent à réduire les risques d'erreurs en éliminant la possibilité que l'opérateur introduise des erreurs dans le système; pour ce faire, on fait en sorte que les erreurs soient visibles et qu'il soit possible de les corriger, et on atténue leurs conséquences. Toute interaction entre l'opérateur et la machine (tout objet matériel) à l'intérieur d'un système présente une possibilité d'erreur humaine. Dans le cas des interfaces opérateur-machine que l'on

⁴

R. Baily, *Human Performance Engineering: A Guide for Systems Designers* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1982) cité dans Mark S. Sanders and Ernest J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design* (New York: McGraw-Hill Book Co., 1987), p. 12.

considère essentielles, il faut que l'opérateur puisse contrôler le fonctionnement de la machine. Pour ce faire, l'opérateur doit connaître l'état de la machine et il doit être en mesure de modifier cet état ou d'apporter des changements. Pour ce faire, on s'en remet aux affichages et aux commandes.⁵ Rien n'indiquait sur le compresseur que le clapet de refoulement était encore fermé. En outre, on aurait pu éviter d'intervenir manuellement si les clapets anti-retour avaient fonctionné comme il faut et si les compresseurs avaient été configurés pour fonctionner automatiquement. Le fonctionnement automatique des compresseurs d'air n'est pas obligatoire à bord des navires de cette classe.

2.2 *Pièces de rechange*

2.2.1 *Tubes du refroidisseur du deuxième étage*

L'examen et l'essai des tubes du refroidisseur du deuxième étage ont permis de déterminer que les tubes en question n'étaient pas conformes aux indications du fabricant pour ce qui est du matériau utilisé, du diamètre extérieur et de l'épaisseur de la paroi tubulaire. Un essai destructif fait avec des tubes conformes aux indications du fabricant a révélé que la pression d'éclatement était de 7 000 livres au pouce carré (lb/po²). Des essais similaires faits avec les tubes du refroidisseur de deuxième étage ont révélé une pression d'éclatement de 4 000 lb/po².

Bien que cette anomalie ne semble pas être une cause directe de l'accident ou un facteur sous-jacent, elle met en évidence le fait qu'on a utilisé des pièces de rechange de qualité très inférieure pour remplacer les tubes du refroidisseur du deuxième étage. L'expérience a démontré que des accidents graves de compresseurs se sont produits à bord de navires parce qu'on avait installé des pièces de rechange de qualité inférieure.

2.3 *Entretien*

2.3.1 *Pompe Jabsco*

Du fait que le bouchon fusible du couvercle de refoulement haute pression était en bon état, on peut conclure qu'il n'y a pas eu de surchauffe. Il est donc probable que la pompe fonctionnait encore au moment de l'accident, même si son débit était fort probablement réduit. Cet élément du compresseur n'est donc pas en cause.

⁵

I.A.R. Galer, ed., *Applied Ergonomics Handbook* (London: Butterworths & Co. Publishers, 1987).

2.3.2 *Soupapes de sûreté*

L'enquête a révélé que les soupapes de sûreté étaient obstruées par des résidus d'huile et de suie. Selon toute vraisemblance, ces résidus provenaient de la migration de l'huile de graissage entre les pistons et les parois des cylindres du compresseur. L'huile était présente sous forme atomisée dans l'air comprimé. Rien n'indique qu'on ait procédé à une vérification régulière de l'efficacité et du réglage des soupapes de sûreté à bord du navire, sauf lors des inspections quinquennales obligatoires. Habituellement, le fabricant règle ces soupapes pour qu'elles ouvrent si la pression est supérieure de 10 % à la pression normale de fonctionnement de l'étage en question. Le calendrier d'entretien recommandé par le fabricant suggère de démonter la soupape de sûreté de la chemise d'eau tous les trois mois ou toutes les 250 heures de fonctionnement. Toutefois, le fabricant ne mentionne aucun régime de vérification concernant les vannes de mise à l'air libre, ni de méthodes par lesquelles l'équipage peut procéder « sur place » à la vérification des soupapes de sûreté de ce modèle.

2.3.3 *Clapets anti-retour*

On a constaté que les clapets anti-retour étaient aussi obstrués par des résidus d'huile et de suie similaires à ceux qu'on a trouvés sur les soupapes de sûreté. Le calendrier d'entretien recommandé par le fabricant pour les clapets anti-retour précise qu'il faut les nettoyer et les inspecter tous les six mois ou après 500 heures de fonctionnement. On n'a trouvé aucun document prouvant que l'équipage a procédé à l'entretien recommandé. Le clapet anti-retour du compresseur défectueux ainsi que ceux des deux autres compresseurs ne fonctionnaient pas conformément aux indications du fabricant, ce qui révèle que l'entretien en question n'a probablement pas été effectué. Les facteurs sous-jacents à l'accident sont le mauvais fonctionnement des clapets anti-retour et le fait que les compresseurs n'étaient pas configurés en mode de fonctionnement automatique. Il fallait donc une intervention humaine et une personne sur place pour faire démarrer l'équipement.

2.3.4 *Tubes du refroidisseur*

Au microscope, les tubes du refroidisseur du deuxième étage montraient des signes de piqûres de corrosion sur les surfaces extérieures. Les tubes avaient un aspect oxydé, et leur épaisseur n'était pas uniforme. On a déterminé que l'utilisation de produits anti-oxydants dans l'eau de refroidissement était inadéquate, ce qui a contribué à une corrosion induite des tubes. Bien que les manuels du fabricant n'en fassent pas mention, on considère que l'ajout d'additifs anti-oxydants à l'eau de refroidissement est une pratique recommandable.

2.4 *Règlements et essais obligatoires*

2.4.1 *Règlements*

Comme le « CANMAR SPIRIT » est immatriculé à Hong Kong, il est assujéti à la législation de Hong Kong en matière de sécurité maritime. L'alinéa 27(2)(b) du *Merchant Shipping Regulations* de Hong Kong précise ce qui suit :

(Traduction) À bord de ces navires, des dispositifs doivent être prévus pour éviter les

surpressions dans tous les éléments de ces circuits d'air comprimé et chaque fois que les chemises d'eau ou les carters de compresseur d'air et de refroidisseur pourraient être soumis à des surpressions dangereuses dues à un défaut d'étanchéité causant des fuites vers les pièces sous pression.

De plus, l'alinéa 77(1)(a) des *Merchant Shipping Regulations* stipule ce qui suit :

(Traduction) On doit entretenir le navire et son équipement de façon à se conformer aux dispositions pertinentes du présent règlement.

La réglementation canadienne concernant les circuits d'air comprimé, notamment l'annexe XI du *Règlement sur les machines de navires*, expose des règles très similaires à celles de l'alinéa 27(2)(b) des *Merchant Shipping Regulations* de Hong Kong. Ils concordent aussi avec les dispositions de la *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer* (SOLAS), chapitre II-1, règle 34.1. En outre, la réglementation canadienne exige qu'on procède à des inspections générales périodiques des compresseurs d'air et de leurs éléments, à des intervalles qui n'excèdent pas cinq ans.

Toutefois, ni la réglementation du Canada ni celle de Hong Kong ne prévoient l'obligation de soumettre les soupapes de sûreté à des tests et de revoir leur réglage. En fait, en vertu de la réglementation canadienne, il revient à l'inspecteur de décider s'il y a lieu de recourir à cette vérification. Plus précisément, la partie IV, division I de l'annexe XI, précise ce qui suit :

Dans le cas des compresseurs d'air et de gaz de réfrigération ainsi que des machines pneumatiques, s'il y a lieu et lorsque l'inspecteur juge la chose possible, vérification du réglage et de l'état de fonctionnement des compresseurs, des machines pneumatiques des circuits de refroidissement et des dispositifs de commande, de contrôle, d'alarme et de sécurité.

2.4.2 Essais

Le Certificat de sécurité de construction pour navire de charge est annoté chaque année et renouvelé tous les cinq ans. Dans le cadre de ce renouvellement, on procède à l'*inspection* de tous les dispositifs de sécurité, comme les soupapes de sûreté. Le Certificat de sécurité de construction du « CANMAR SPIRIT » avait été délivré à Londres le 16 août 1996 et avait été annoté à Rejeka, en Croatie, le 9 septembre 1998.

En ce qui concerne les soupapes de sûreté des compresseurs du « CANMAR SPIRIT », l'inspection a été menée en 1996 par un inspecteur spécialisé de la société de classification Lloyd. L'inspection normale consiste à examiner les pièces des compresseurs quand les compresseurs sont démontés puis à faire un essai de fonctionnement pour vérifier les dispositifs de sécurité. Pour se conformer à l'esprit de la réglementation, y compris à la règle 34.1 de la convention SOLAS, chapitre II-1, et pour disposer de moyens d'éviter les surpressions dans les systèmes de compresseurs, il faut veiller à ce que les soupapes de sûreté puissent fonctionner comme il faut. Si, au moment de leur conception, on n'a pas muni ces soupapes de moyens qui permettent aux inspecteurs de navires ou à l'équipage des navires de vérifier leur efficacité quand elles sont

montées dans le compresseur, il faut exiger qu'une autorité compétente les mette à l'essai à des intervalles permettant d'assurer leur bon fonctionnement et délivre un certificat d'accompagnement qui l'atteste.

2.5 *Rotation des membres de l'équipage*

La sécurité à bord d'un navire exige que l'équipage ait une connaissance approfondie de la structure et de l'interdépendance des divers éléments du système. Or, on ne peut acquérir ces connaissances qu'en passant du temps à bord du navire, ce qui suppose que l'équipage du navire doit être constitué d'un noyau de base formé de membres d'équipage permanents.

Les marins du « CANMAR SPIRIT » possédaient une vaste expérience de la mer, mais ils avaient une expérience limitée du navire. La victime avait rejoint le navire 49 jours avant l'accident et n'avait aucune expérience préalable à bord du « CANMAR SPIRIT ». Le capitaine et le chef mécanicien en étaient aussi à leur première période de service à bord de ce navire, bien que le chef mécanicien ait passé une période de service à bord d'un navire-jumeau quelques années auparavant. Cinq des sept autres membres de l'équipe du service machines en étaient à leur première période de service à bord du navire (l'un d'entre eux avait de l'expérience à bord d'un navire-jumeau). Les deux autres effectuaient leur deuxième période de service à bord du « CANMAR SPIRIT ».

Bien que la rotation des équipages soit un peu devenue la norme dans le domaine maritime, un degré élevé de rotation des équipages à bord d'un navire présente des inconvénients. Le manque de continuité au sein du personnel, plus particulièrement dans les postes de direction comme ceux de capitaine et de chef mécanicien, peut affecter le leadership des officiers. Un autre effet négatif est la méconnaissance des besoins particuliers du navire. Les membres de l'équipage, y compris les officiers supérieurs, qui font une période de service à bord d'un navire et font la période suivante à bord d'un autre navire, ont tendance à « jouer les pompiers ». À bord des navires dont l'équipage est mobile, le personnel a tendance à faire moins d'entretien préventif à long terme, à moins se soucier du détail et à moins bien connaître le navire.

Quoique la STCW vise l'uniformisation des compétences du personnel, elle traite seulement de la préparation de l'équipage aux interventions d'urgence. La STCW ne traite pas de la connaissance approfondie du navire ni des questions d'entretien. L'article 10 du *Code international de gestion de la sécurité* (Code ISM) remédie en partie à ces lacunes en introduisant des normes d'entretien obligatoires. Même si le Code ISM ne s'appliquera aux porte-conteneurs qu'après le 1^{er} juillet 2002, le « CANMAR SPIRIT » et ses gestionnaires répondaient déjà aux exigences du Code ISM, et un certificat de gestion de la sécurité avait été délivré au navire.

2.6 *Soutien psychologique après l'accident*

Malgré les nombreuses contraintes imposées à l'équipage après l'accident, aucune assistance n'a été offerte aux membres de l'équipage pour les aider à composer avec des manifestations comme le stress lié à un événement grave, un état de choc ou le syndrome de stress post-traumatique, et aucun type d'assistance n'était prévu. Toutefois, aucun incident qui pourrait être considéré comme une réaction psychologique à l'accident n'a été signalé. Cependant, l'article 8 du Code ISM exige que les compagnies établissent un système de gestion de la sécurité qui prévoit des mesures permettant d'intervenir rapidement en cas d'accident, de danger ou de situations d'urgence mettant en cause leurs navires, mais cet article ne traite pas spécifiquement du soutien psychologique après un accident. Ce type de soutien aux membres de l'équipage permet d'améliorer le bien-être de l'équipage et permet d'assurer un meilleur rendement individuel et une meilleure contribution individuelle à la sécurité.

3.0 *Conclusions*

3.1 *Faits établis*

1. Le graisseur de quart a fait démarrer le compresseur n° 3 sans avoir ouvert le clapet de refoulement du compresseur.
2. Les soupapes de sûreté du premier et du deuxième étages du compresseur défectueux étaient inopérantes parce qu'elles étaient bloquées par des résidus d'huile et de suie. Lors des essais, on a constaté que la moitié des soupapes de sûreté des deux autres compresseurs ne fonctionnaient pas correctement à cause de résidus similaires.
3. Les clapets anti-retour des trois compresseurs fuyaient, laissant de l'air comprimé des réservoirs d'air revenir vers les compresseurs quand ces derniers ne fonctionnaient pas. Une personne devait ouvrir et fermer à la main le clapet de refoulement de chaque compresseur avant de faire démarrer le compresseur et avant de l'arrêter.
4. Le siège et la coupelle de ressort du clapet anti-retour du compresseur défectueux semblaient être en bon état; toutefois, il y avait une accumulation considérable de résidus d'huile et de suie dans le clapet. Ces résidus sont la cause la plus probable de la fuite.
5. La pompe à eau Jabsco fonctionnait à régime réduit parce que cinq de ses ailettes étaient brisées; toutefois, on n'a relevé aucun signe de surchauffe.
6. Les dommages relevés sur les surfaces de rupture du couvercle de refoulement du deuxième étage sont typiques d'une rupture instantanée, et les surfaces ne montraient aucun signe de fissuration ou de réparation antérieures. Le couvercle s'est brisé en plusieurs fragments qui ont été projetés à grande vitesse.
7. Le graisseur de quart a été blessé mortellement par des fragments de métal projetés à grande vitesse.
8. Les tubes du refroidisseur du premier étage étaient conformes à toutes les indications du fabricant. Ils ne se sont pas brisés à cause de la surpression du compresseur.
9. La surpression survenue dans le compresseur a causé la rupture de 18 des 33 tubes du refroidisseur du deuxième étage.

10. Les tubes du refroidisseur du deuxième étage n'étaient pas conformes aux indications du fabricant pour ce qui est du matériel, du diamètre extérieur et de l'épaisseur de la paroi tubulaire. On a constaté qu'en moyenne l'épaisseur de la paroi tubulaire correspondait à la moitié de l'épaisseur mentionnée dans les indications du fabricant.
11. Les tubes du refroidisseur du deuxième étage ne montraient aucun signe de surchauffe ou de combustion. Selon toute vraisemblance, la surpression est attribuable au fait que le compresseur a tourné en circuit fermé parce que les soupapes de sûreté étaient défectueuses et que le clapet de refoulement était fermé.
12. Les tubes du refroidisseur présentaient des piqûres de corrosion attribuables au fait que l'ajout d'additifs anti-oxydants dans l'eau de refroidissement a été inadéquat. Ce facteur ne semble pas avoir joué un rôle important dans l'accident.
13. Le carter du compresseur a éclaté au droit de la chambre d'eau de refroidissement, par suite d'une surpression violente et presque instantanée. Il semble que les soupapes de sûreté pour le retour d'eau de refroidissement aient été en bon état de fonctionnement, mais qu'elles n'aient pas pu résister à l'expansion due à la rupture complète et presque instantanée des tubes du refroidisseur à haute pression; ces tubes ont été soumis à une pression d'au moins 4 000 lb/po².
14. Le capitaine et la majorité des membres de l'équipe du service machines étaient des marins expérimentés, mais ils en étaient à leur première période de service à bord du « CANMAR SPIRIT ».
15. Quelques membres de l'équipage ont indiqué avoir senti un climat de tension après l'accident et avoir ressenti du stress, mais personne n'a demandé de l'aide ou offert d'aider l'équipage à composer avec la situation.

3.2 Causes

Le compresseur n° 3 du « CANMAR SPIRIT » a subi une surpression violente et presque instantanée parce que le clapet de refoulement est resté fermé pendant le démarrage du compresseur. Cet oubli, combiné au mauvais fonctionnement des vannes de mise à l'air libre, a créé un circuit fermé qui a fait en sorte que certains éléments du compresseur n'ont pu résister à l'augmentation de la pression. Le fait que l'entretien des clapets anti-retour laissait à désirer a contribué à l'accident.

4.0 *Mesures de sécurité*

4.1 *Mesures prises*

Avant que le navire soit autorisé à repartir, Transports Canada a exigé que tous les compresseurs en service soient équipés de soupapes de sûreté réglées correctement.

Le tuyau flexible d'alimentation en air à haute pression du compresseur n° 1 a été remplacé par un neuf.

La compagnie a demandé que les autres compresseurs (n^{os} 1 et 2) soient recertifiés pour une pression de service maximale de 23 bars au lieu de 29,3 bars. Ce changement a été autorisé après qu'il eut été démontré que la réduction de pression permettait quand même de se conformer aux exigences relatives au démarrage de la machine principale. Dans un délai de 14 jours, des indications permanentes relatives à cette nouvelle pression de service ont été installées près de la plaque signalétique de chaque compresseur.

De nouveaux manomètres devaient être installés sur les autres compresseurs dans les 14 jours suivant l'accident.

Peu après l'accident, la compagnie de gestion a émis un message de sécurité à l'intention de tous les navires dont elle assure la gestion, pour informer les marins que l'inspection obligatoire des soupapes de sûreté et des dispositifs de surpression ne permet pas de garantir leur efficacité entre les visites. De plus, le message exigeait qu'on fasse l'inventaire des dispositifs sous pression, qu'on s'assure qu'ils sont conformes aux indications du fabricant et qu'on les renvoie à terre, s'il y a lieu, pour qu'ils soient examinés, mis à l'essai et réglés de nouveau. Les appareils devront ensuite être accompagnés d'un certificat d'essai. La directive précise aussi que l'examen et les essais annuels de ces appareils sont des exigences minimales. La directive exige également une modification du système d'entretien planifié de façon que l'entretien des systèmes de sécurité y soit consigné. Le message de sécurité comprend aussi d'autres directives, notamment que les instructions de fonctionnement soient affichées près des installations sous pression, que les membres de l'équipage reçoivent une formation sur le fonctionnement et l'utilisation de ces installations et sur les dangers qui leur sont associés, et que les alarmes de pression et les dispositifs d'arrêt en cas de surpression, s'ils sont installés, soient mis à l'essai à des intervalles n'excédant pas trois mois.

Les propriétaires ont indiqué que le bien-être des membres d'équipage touchés par une situation d'urgence doit être pris au sérieux et qu'ils avaient l'intention de tenir compte de ces souffrances psychologiques dans leurs listes de vérifications pour les scénarios de situations d'urgence.

Après l'accident, la société Lloyd a publié le rapport technique n° 12 dans sa publication *Marine Bulletin* qui demande aux experts maritimes de la Lloyd, lorsqu'ils inspectent les compresseurs d'air et les réservoirs d'air, de porter une attention particulière à tous les dispositifs de sécurité, et surtout de bien vérifier le bon fonctionnement des soupapes de sûreté. L'état et la précision des indicateurs de pression d'air doivent également être vérifiés. Le rapport demande également aux propriétaires de navires et aux exploitants de se conformer aux recommandations des fabricants relatives au fonctionnement de ces machines.

L'État du pavillon, Hong Kong, a également enquêté sur l'accident et est arrivé à des conclusions similaires. Il a fait les recommandations suivantes :

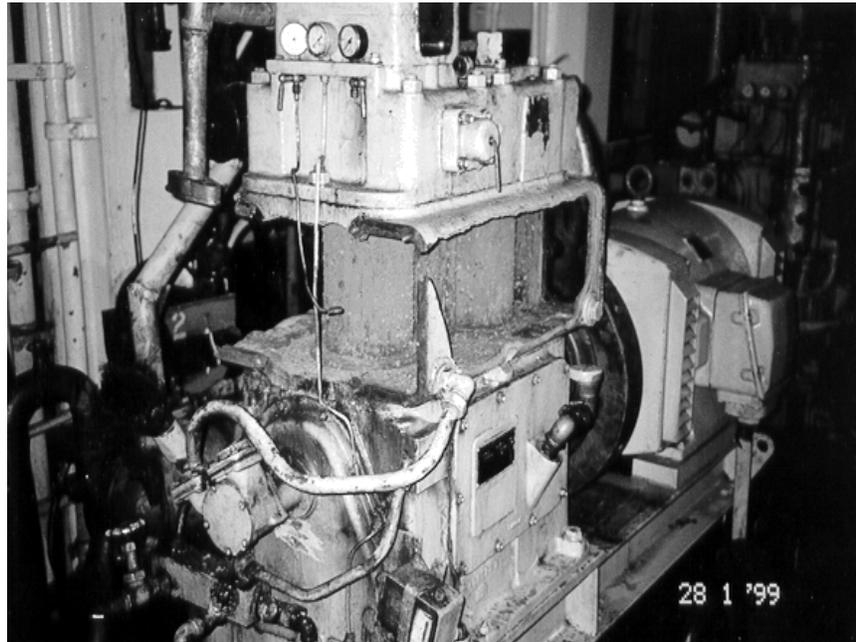
Le ministère de la Marine de Hong Kong devrait rédiger un document d'information, p. ex. un avis du ministère de la Marine, dans lequel il attire l'attention des parties intéressées (y compris les institutions locales d'enseignement et de formation du domaine maritime) sur l'entretien approprié du matériel sous pression des navires, et plus particulièrement sur l'entretien courant des dispositifs de sécurité et sur les essais pertinents.

Comme l'enquête a fait ressortir des lacunes dans le programme d'entretien du bord, on recommande que le ministère de la Marine de Hong Kong mène une inspection et une vérification par l'État du pavillon auprès de la compagnie, et à bord du navire, (...) afin d'évaluer le système de gestion de la sécurité du gestionnaire du navire et celui du navire. Le chef mécanicien doit recevoir une copie du rapport, accompagnée d'une lettre d'avertissement précisant qu'en sa qualité de mécanicien qualifié, il a la responsabilité de remédier aux lacunes relevées dans le programme d'entretien.

L'armateur et le gestionnaire du navire doivent recevoir une copie du rapport (de Hong Kong), dans laquelle on les informe qu'ils doivent assurer le bon fonctionnement et l'entretien de tout le matériel sous pression dont leurs navires sont équipés. Une copie du rapport devra parvenir au registre de la Lloyd à des fins d'information.

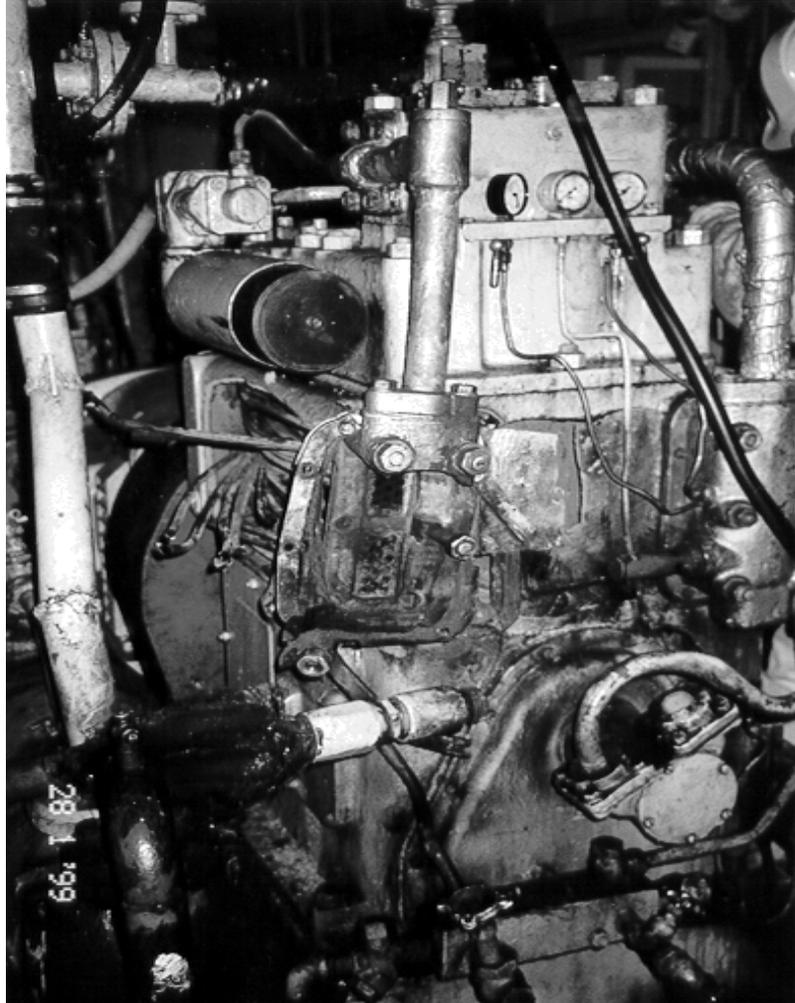
Le fabricant du compresseur doit recevoir une copie du rapport (de Hong Kong), dans laquelle il est invité à améliorer son calendrier d'entretien recommandé.

Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet accident. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 10 mai 2000.



Annexe A - Photographies





Annexe B - Liste des rapports pertinents

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP 19/99 - *Air Compressor Failure Hamworthy Two-Stage* (Défectuosité du compresseur d'air Hamworthy à deux étages).

On peut obtenir ce rapport en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Annexe C - Sigles et abréviations

BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
Code ISM	<i>Code international de gestion de la sécurité</i>
HNE	heure normale de l'Est
kW	kilowatt
lb/po ²	livre par pouce carré
m	mètre
OMI	Organisation maritime internationale
OQ	Officier de quart
SCTM	Services de communications et de trafic maritimes
SI	Système international (d'unités)
SOLAS	<i>Convention internationale pour la sauvegarde la de la vie humaine en mer</i>
STCW	<i>Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille de 1978</i>
TEU	équivalence de conteneurs de 20 pieds
UTC	temps universel coordonné