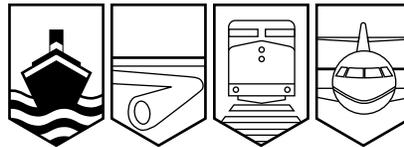


Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE MARITIME
M00C0026



DÉFAILLANCE DE LA STRUCTURE

DU VRAQUIER *ALGOWOOD*
À BRUCE MINES (ONTARIO)

LE 1^{ER} JUIN 2000

Canada

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

Rapport d'enquête maritime

Défaillance de la structure

du vraquier *Algowood*
à Bruce Mines (Ontario)
le 1^{er} juin 2000

Rapport numéro M00C0026

Résumé

Le 1^{er} juin 2000, vers 23 h 45, heure locale, la coque du vraquier canadien *Algowood* a fléchi au droit de la cale n° 3 pendant le chargement d'une cargaison d'agrégats au quai de Bruce Mines (Ontario). Le navire a été envahi par l'eau et a coulé le long du quai. Il a dû être renfloué et remorqué jusqu'à une cale sèche pour y être réparé.

This report is also available in English.

1.0	Renseignements de base	1
1.1	Fiche technique du navire	1
1.1.2	Description du navire	1
1.1.3	Certificats du navire	2
1.2	Chronologie des événements	3
1.3	Brevets du personnel	5
1.4	Sommaire du chargement	6
1.5	État du fond le long du poste à quai	6
1.6	Victimes	6
1.7	Constatation des avaries faite à Bruce Mines	7
1.9	Mesurage de l'épaisseur du bordé extérieur, essais en laboratoire et mesurage des contraintes exercées sur la coque	9
1.10	Résistance et stabilité du navire	11
1.11	Déroulement des opérations de chargement	12
1.12	Horaires des quarts de chargement	13
1.13	Recommandations antérieures concernant les vraquiers	13
1.14	Plan de chargement et procédures d'exploitation	15
2.0	Analyse	17
2.1	Communications générales	17
2.2	Communications et coordination – Chargement/Délestage	17
2.3	Chargement et délestage	18
2.4	Détermination des tirants d'eau	18
2.5	État du fond le long du poste à quai	19
2.6	Connaissances des officiers au sujet des contraintes exercées sur la structure	19
2.7	Mesures de sécurité applicables aux vraquiers	20
3.0	Conclusions	23
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	23
3.3	Autres faits établis	23

4.0	Mesures de sécurité	25
4.1	Mesures prises	25
4.2	Mesures à prendre	26
	Renseignements sur le chargement	26
	Annexe A : Sigles et abréviations	29

1.0 Renseignements de base

1.1 Fiche technique du navire

<i>Algowood</i>	
Numéro officiel	372055
Port d'immatriculation	Sault Ste. Marie (Ontario)
Pavillon	Canada
Type	vraquier des Grands Lacs (auto-déchargeur)
Jauge brute ¹	22 558,32
Longueur hors tout	222,5 m
Largeur	23,13 m
Creux	14,17 m
Société de classification	Lloyd's Register of Shipping
Classification des voyages	voyages en eaux intérieures, Classe II
Construction	1981, Canadian Shipbuilding & Engineering Ltd., Collingwood (Ontario)
Groupe propulseur	2 moteurs diesel MAK, modèle 6M552, fournissant 7 600 kW, avec une hélice à pales orientables
Propriétaire et gestionnaire technique	Algoma Central Corporation (Algoma Central Marine)

1.1.2 Description du navire

Le *Algowood* est un vraquier auto-déchargeur construit en acier comptant cinq cales à marchandises. Les machines de propulsion, l'appareil à gouverner, la timonerie, l'équipement de sauvetage et les emménagements se trouvent dans la partie arrière du navire.

L'emplacement des cales à marchandises et des citernes de ballast (W.B.) est illustré à la figure 1. La coque est divisée par des cloisons étanches transversales : une cloison d'abordage, une cloison à l'arrière de l'espace de chargement et une cloison à l'extrémité arrière de la salle des machines.

Pour le déchargement, on ouvre des trappes placées au fond des cinq cales dont les parois forment une trémie, et la cargaison tombe sur deux tapis roulants qui la transportent jusqu'à la boucle de transfert située à l'extrémité arrière de l'espace à marchandises, où elle est hissée

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

jusqu'à la grue de déchargement qui l'envoie sur le quai. Le secteur où les tapis roulants se déplacent sous les cales et l'espace à l'arrière où se trouve la boucle de transfert sont appelés le « tunnel » et le « caisson de la boucle », respectivement.

1.1.3 Certificats du navire

Le *Algowood* a été inspecté par les experts maritimes de la Sécurité maritime de Transports Canada (TC) le 27 mars 2000, à Hamilton (Ontario). Un certificat d'inspection du navire (SIC 11) valide jusqu'au 26 mars 2001 a été délivré le 27 mars 2000. On a aussi délivré au navire un certificat de ligne de charge relatif aux Grands Lacs et aux eaux intérieures du Canada; ce certificat était valide jusqu'au 31 mars 2002.

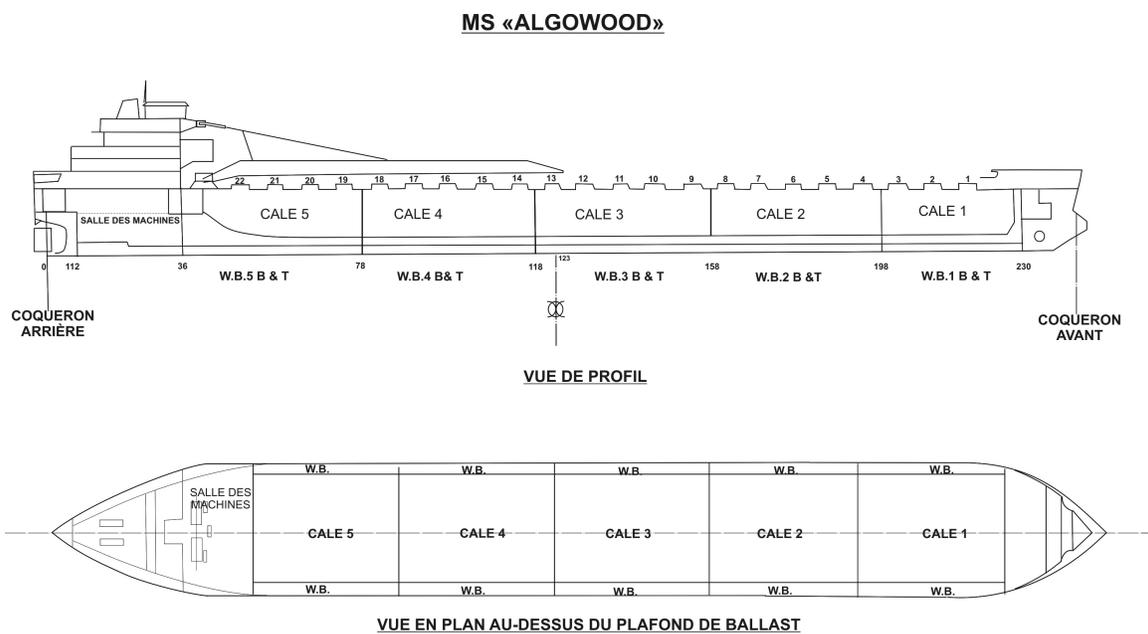


Figure 1. Plan d'ensemble du navire à moteur *Algowood*

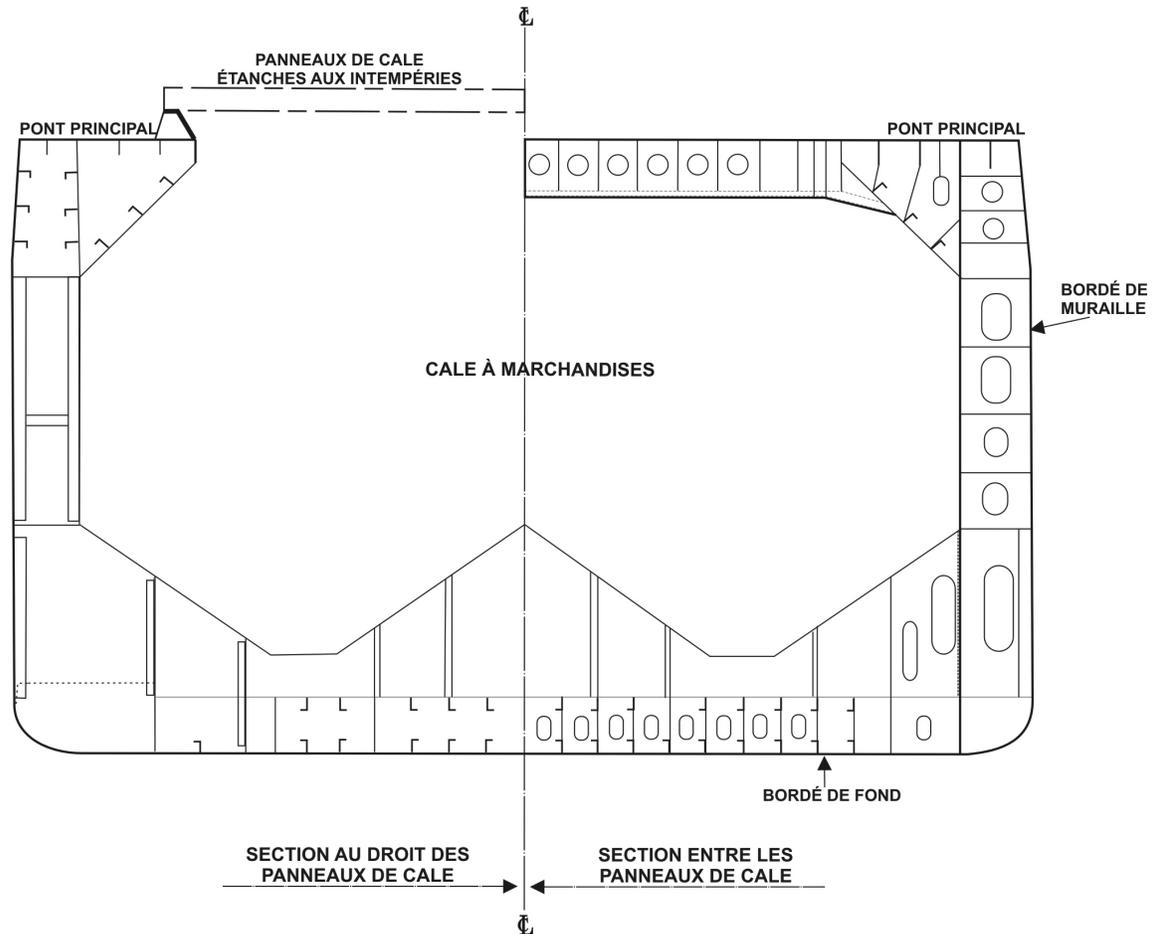


Figure 2. Coupe transversale type

1.2 Chronologie des événements

Le vraquier *Algowood* arrive à Bruce Mines (Ontario) à 17 h 55, heure avancée de l'Est, le 1^{er} juin 2000, et commence à charger des agrégats et du sable synthétique à 18 h 13, conformément au plan prévu de chargement/délestage. À l'exception des délais nécessaires au déplacement du navire devant la structure de chargement et de brèves périodes consacrées à l'entretien de l'équipement, le chargement se poursuit jusqu'à 23 h 45 le même jour.

À son arrivée à Bruce Mines, le navire est sur lest et toutes ses cales sont vides. On pompe l'eau de la citerne de ballast bâbord n° 3 pendant 9 minutes pour compenser le déplacement de la grue de déchargement du navire, dont l'embout distributeur se déplace lentement vers tribord de façon à permettre le chargement de la cale n° 5. L'officier de pont (second capitaine), en l'occurrence l'officier responsable du délestage et du chargement, indique qu'on a pompé auparavant une partie de l'eau de la citerne de ballast du coqueron avant, jusqu'à obtenir un sondage d'environ 12 pouces. À 18 h 5, on pompe les citernes de ballast n° 5 bâbord et tribord (B et T), qui ne sont pas complètement sous pression. À 18 h 13, le navire est prêt à recevoir sa cargaison dans la cale n° 5, par les panneaux n°s 21, 19 et 20, respectivement. Le chargement débute à 18 h 23.

À compter de 18 h 43, on vidange les citernes de ballast n° 4 B et T. À 20 h 35, le chargement de la cale n° 5 prend fin. La cale contient 5 700 tonnes de sable (voir le tableau du paragraphe 1.4). On signale que le tirant d'eau arrière est de 6,553 mètres (21 pieds et 6 pouces). Le pompage des citernes de ballast n° 3 B et T reprend à 19 h 52 et il est suspendu à 20 h 10. À 20 h 32, le pompage des citernes de ballast n° 3 B et T reprend et il se termine à 21 h 45.

D'après le plan de chargement, le tirant d'eau arrière du navire approche de la limite maximale autorisée de 6,858 mètres (22 pieds et 6 pouces). À ce moment, l'officier responsable déroge au plan de chargement et ordonne à l'opérateur de la grue de chargement à terre de charger des agrégats HL1 par le panneau n° 9 plutôt que par le panneau n° 13. L'opérateur, qui s'est fait remettre une copie du plan de chargement original pour en connaître les détails, s'interroge sur ce changement qu'on apporte soudainement au plan de chargement, et il en accuse réception. Le chargement par le panneau n° 9 commence à 20 h 44. Le pompage des citernes de ballast n°s 2 et 1, B et T, commence à 21 h 11 et 21 h 30 respectivement. À 21 h 26, 1 756 tonnes de cargaison sont chargées dans la cale n° 3. La citerne de ballast n° 3 du côté tribord est complètement asséchée entre 20 h 32 et 21 h 45.

À ce moment, le navire a atteint son tirant d'eau maximal à l'arrière, et on commence à le déplacer vers l'arrière. Le navire s'arrête abruptement, indiquant que l'arrière du navire talonne probablement près de l'extrémité du poste de chargement; la grue de chargement atteint tout juste le panneau n° 2 de la cale n° 1, et le chargement de cette cale commence à 21 h 32. Pendant qu'on charge la cargaison par le panneau n° 2, le navire pique en contre différence², ce qui fait que le tirant d'eau arrière diminue. L'officier responsable déplace le navire plus loin vers l'arrière pour que la grue de chargement puisse commencer à charger par le panneau n° 1. Vers 21 h 45, le capitaine revient à bord et s'informe brièvement des conditions de chargement du navire auprès de l'officier responsable, après quoi il se rend à sa cabine.

À 22 h 2, le pompage des citernes de ballast n°s 1 et 2 B et T est interrompu. Le pompage des citernes n° 1 B et T reprend à 22 h 40 pour s'interrompre à 22 h 42. Le pompage des citernes de ballast n° 2 B et T recommence à 22 h 42 et se termine à 23 h 15.

² Désigne la relation entre les tirants d'eau avant et arrière.

Il est difficile de déterminer les tirants d'eau à cette heure de la nuit, car la visibilité est réduite encore plus par des averses de pluie. Le tirant d'eau arrière est de 6,477 mètres (21 pieds et 3 pouces) et diminue à mesure que le chargement se poursuit à l'avant. À 22 h 42, le pompage des citernes de ballast n° 2 B et T recommence. Le chargement de la cale n° 1 prend fin à 23 h 22 après qu'on ait chargé 1 800 tonnes de plus par les panneaux n° 1, 2 et 3. À ce moment, les tirants d'eau sont de 6,096 mètres (20 pieds) à l'arrière, de 4,801 mètres (15 pieds et 9 pouces) au milieu du navire et de 3,962 mètres (13 pieds) à l'avant; d'après l'officier responsable, le navire a pris un arc³ d'environ 0,229 mètre (9 pouces). L'opérateur de la grue de chargement indique qu'on va interrompre le travail pour procéder à des réparations mineures. À 23 h 15, les citernes de ballast n° 2 B et T sont asséchées.

À 23 h 45, pendant que le chargement de la cale n° 1 par le panneau n° 3 se poursuit, le navire fait entendre un grincement violent et un fléchissement⁴ de la coque se produit entre les panneaux n° 13 et 14, au droit de la cloison transversale, entre les couples 117 et 119. On interrompt le chargement et on donne l'alarme générale.

À 0 h 10, tous les membres de l'équipage sont évacués, à l'exception du capitaine et du chef mécanicien. Un examen initial des avaries révèle qu'il n'y a pas eu de pollution grave. On déploie quand même un barrage flottant pour contenir quelques fuites mineures d'huile hydraulique.

Le brion⁵ et la partie arrière du navire talonnent, puis la coque du navire s'immobilise sur le fond. Toutes les cales du navire sont envahies progressivement par l'eau qui entre par le tunnel. Des avaries aux conduites d'aspiration de lest d'eau entraînent l'envahissement des citernes de ballast sur l'avant de la zone touchée par le fléchissement de la structure. Envahi par l'eau, le navire finit par s'immobiliser sur le fond, sa coque immergée de 8,2 mètres (26 pieds et 11 pouces) à l'avant et de 8,1 mètres (26 pieds et 7 pouces) à l'arrière. Il est envahi de la cloison d'abordage jusqu'à la cloison avant de la salle des machines.

³ Désigne la déflexion longitudinale de la coque qui fait que le navire est immergé plus profondément à ses extrémités qu'en son milieu.

⁴ Désigne la déformation d'une membrure qui lui fait perdre une partie de ses propriétés de raidissement.

⁵ Désigne la jonction entre l'extrémité avant de la quille et l'étrave.

Dans les jours qui suivent l'événement, le navire est renfloué en présence de représentants de la société Lloyd's Register of Shipping, de l'Association de sauvetage et d'expertise maritimes et de la Sécurité maritime de TC. On effectue des réparations temporaires, notamment le soudage de solides renforts d'acier à l'extérieur du bordé de carène, recouvrant la zone affectée par le fléchissement de la coque. On vide les cales de leur cargaison, et on vide aussi les citernes du carburant diesel qu'elles contiennent. Le 10 juillet 2000, le navire est remorqué jusqu'à la cale sèche à Port Weller, en Ontario. On y fait un examen détaillé des avaries et on procède aux travaux de réparation et de reconstruction qui s'imposent.

1.3 *Brevets du personnel*

Le capitaine et les officiers étaient titulaires de certificats valides relatifs à leurs postes et aux voyages du navire. Le capitaine et le second capitaine étaient titulaires de brevets de capitaine, voyage local, délivrés en 1979 et en 1999 respectivement. Pour ces deux postes, l'attestation la plus récente de maintien des compétences avait été obtenue en 1999.

1.4 *Sommaire du chargement*

Le tableau ci-après montre les estimations les plus précises du contenu des cales au moment de l'événement. Les quantités sont arrondies à la tonne entière la plus près.

Cale	Cargaison	Tonnes (d'après les dossiers de la Bruce Mines)	Tonnes (d'après les dossiers d'Algoma)
1	Agrégats (HL1)	4 923	5 200
2	Vide		
3	Agrégats (HL1)	1 567	1 750
4	Vide		
5	Sable	5 744	5 700
Total		12 234	12 650

Au total, il y avait quelque 31,8 tonnes de lest d'eau à bord du navire au moment de l'incident le 1^{er} juin 2000. Toutes les citernes de ballast ont été pompées en ordre séquentiel, laissant 11,8 tonnes dans le coqueron avant et 20 tonnes dans le coqueron arrière.

1.5 État du fond le long du poste à quai

Une fois que le *Algowood* a été retiré du poste de chargement, on a fait un examen sous-marin du port de Bruce Mines, examen qui n'a révélé aucune obstruction le long de la ligne de ducs d'Albe servant à l'amarrage. Le tirant d'eau maximal admissible à l'arrière était de 6,858 mètres (22 pieds 6 pouces), étant donné le faible niveau d'eau du lac à ce moment et la présence de petits fonds dans le chenal d'approche.

1.6 Victimes

Personne n'a été blessé.

1.7 Constatation des avaries faite à Bruce Mines

La structure de la coque du *Algowood* a subi une défaillance majeure soudaine. Les figures 3 et 4, ainsi que les photos 1, 2 et 3 montrent l'emplacement, la nature et l'étendue de la défaillance. L'examen des avaries, fait pendant que le navire était amarré à Bruce Mines, a révélé un fléchissement et une distorsion étendus sur le pont (voir la figure 4) et sur le bordé extérieur B et T, au-dessus de la flottaison, ainsi qu'un fléchissement localisé et une rupture par traction du bordé de muraille et des côtés inclinés⁶ des citernes de ballast B et T.

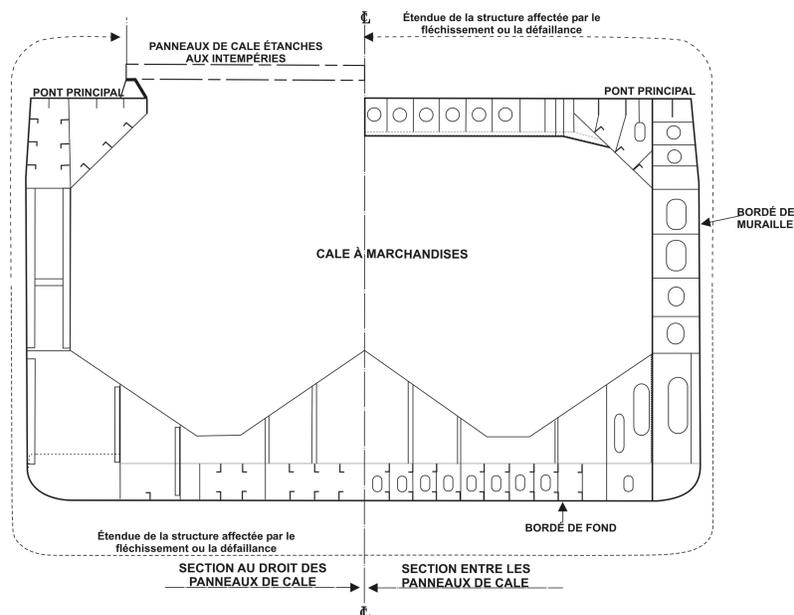


Figure 3. Emplacement et étendue des avaries initiales à la coque

⁶

Désigne les tôles inclinées qui forment le bordé intérieur des citernes de ballast.

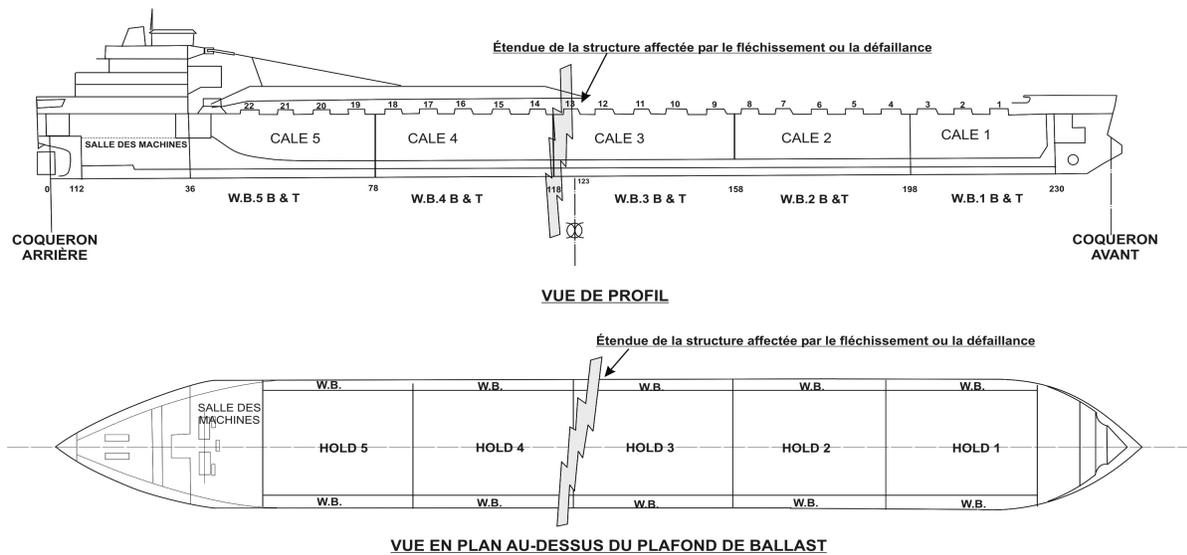
MS «ALGWOOD»

Figure 4. Vue de profil et vue en plan au-dessus du plafond de ballast

1.8 Inspection des avaries en cale sèche

L'inspection en cale sèche a révélé un fléchissement de la structure et de nombreuses ruptures, de l'arrondi de bouchain⁷ jusqu'au bordé de fond⁸, à bâbord et à tribord, du plafond de ballast et des tôles inclinées des citernes de ballast B et T, au droit de la cloison transversale située entre les couples n^{os} 3 et 4 (voir la figure 6). L'inspection en cale sèche a aussi révélé d'autres déformations, distorsions et ruptures localisées dans les sections avant et arrière du bordé de fond. Ces avaries sont survenues quand le navire a talonné avant de s'immobiliser sur le fond.



Photo 1. Avaries causées au côté tribord du navire, montrant la déflexion longitudinale de la coque

⁷ Désigne le point d'intersection des tôles du bordé de muraille et de celles du bordé de fond.

⁸ Désigne le bordé de fond de la coque.

1.9 Mesurage de l'épaisseur du bordé extérieur, essais en laboratoire et mesurage des contraintes exercées sur la coque

Le 18 juillet 2000, pendant qu'on évaluait en cale sèche les avaries subies par le navire et avant le début des travaux de réparation permanente du navire, le personnel du BST et celui du chantier naval ont procédé à un contrôle ultrasonique de l'épaisseur des tôles, afin de déterminer l'épaisseur des principales membrures dans les mailles situées immédiatement devant et derrière la zone touchée par la défaillance de la coque. Cette inspection a inclus des mesurages faits dans une bande entourant le navire au droit des couples 117 à 119.

Les lectures obtenues à chacun de ces emplacements ont montré généralement une diminution de 1 à 7 % de l'épaisseur des membrures de la coque, du bouchain, de la quille et du fond du navire. En moyenne, l'épaisseur était réduite d'environ 13 % au droit des tôles du plafond de ballast. En aucun cas, les lectures de réduction de l'épaisseur n'ont excédé les limites auxquelles les matériaux devraient être remplacés.

Au cours de cette inspection, on a prélevé des échantillons d'acier à même la quille, le bordé de fond, le bordé de l'arrondi de bouchain et le plafond de ballast près de la zone affectée par la défaillance de la coque, et on les a expédiés au laboratoire technique du BST pour que celui-ci identifie l'acier qui a servi à la construction du *Algowood* et en détermine les caractéristiques chimiques et mécaniques.

L'examen en laboratoire a permis d'identifier que le matériau était de l'acier; cet acier ne présentait aucune anomalie susceptible d'affecter sa soudabilité, et ses caractéristiques de résistance à la traction et à l'effet d'entaille⁹ étaient typiques de l'acier de nuance A approuvé par la Lloyd's.

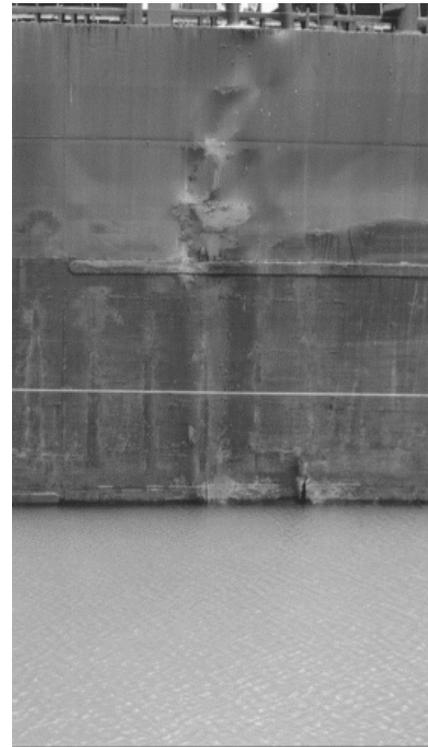


Photo 2. Fléchissement et défaillance de la coque du côté tribord

⁹ Désigne la capacité d'absorber l'énergie avant la rupture, particulièrement au droit des discontinuités, des entailles ou des changements brusques dans la surface.



Photo 3. Fléchissement et défaillance de la coque du côté bâbord



Photo 4. Défaillance du bordé de fond au droit de la cloison transversale entre les couples 117 et 119

Des calculs ont été faits, après l'événement, visant à établir le moment de flexion¹⁰ en eau calme (MFEC)¹¹ du bâtiment avec un chargement partiel à Bruce Mines, dans le but de déterminer l'amplitude et la nature des contraintes de flexion¹² auxquelles la structure en acier de la coque du *Algowood* avait été soumise au droit de la zone touchée par la défaillance.

Ces calculs ont confirmé qu'immédiatement avant la défaillance de la coque, le navire a subi un moment d'arc/de flexion environ 2,3 fois plus grand que le moment de flexion maximal admissible (en mer). Un moment d'arc/de flexion fait en sorte que les tôles du pont principal subissent un effort en tension et que celles de la structure du fond subissent un effort en compression. Le moment d'arc induit lors de l'événement était attribuable au fait que le poids supporté par les extrémités du navire était supérieur à la poussée d'Archimède.

1.10 *Résistance et stabilité du navire*

Le *Algowood* était conforme aux exigences de la réglementation et à celles de la société de classification en matière de résistance de la structure et de résistance longitudinale. Le *Carnet de calculs d'assiette et de stabilité* avait reçu l'approbation de la Sécurité maritime de TC et du Lloyd's Register of Shipping. Le carnet précisait à l'intention du capitaine les quantités qu'on devait charger dans chaque cale pour obtenir un tirant d'eau voulu, ainsi que les forces de cisaillement et les moments de flexion acceptables pour chaque condition de chargement. Le carnet traite de conditions de chargement représentatives, mais il n'énonce pas l'ordre des opérations de chargement et de délestage. L'exemplaire approuvé par le Lloyd's Register of Shipping était à bord du navire lors de l'événement.

Le *Algowood* était assujéti aux exigences du *Règlement sur les lignes de charge (eaux intérieures)*, qui précise que le capitaine de chaque navire doit recevoir des renseignements suffisants dans une forme approuvée pour lui permettre de régler le chargement et le lestage de son navire, de façon à éviter de soumettre la charpente de ce dernier à des contraintes inacceptables.

1.11 *Déroulement des opérations de chargement*

Le personnel du navire a surveillé, de façon générale, les opérations de chargement en se conformant à la marche à suivre qu'on avait établie en se fondant sur l'expérience acquise à bord du *Algowood* et d'autres vraquiers des Grands Lacs. Les séquences de chargement et de déchargement qui sont adoptées dépendent de la configuration des différents ports et de leurs installations de déchargement. La séquence varie aussi en fonction du type de cargaison et de

¹⁰ Le terme « moment de flexion » désigne la somme algébrique des moments de toutes les forces exercées de part et d'autre de l'emplacement examiné.

¹¹ Le terme « moment de flexion en eau calme » désigne un moment de flexion attribuable à un déséquilibre longitudinal relatif au poids et à la flottabilité du navire en eau calme.

¹² Désigne les contraintes dues au moment de flexion à l'emplacement examiné.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

son poids mort. Ce plan est préparé avant l'arrivée du navire au port de chargement et indique les tirants d'eau du navire, les numéros des panneaux de cale, la cargaison, le poids, ainsi que des instructions sur la séquence de pompage aux fins du lestage.

Dans le cas à l'étude, le plan de chargement énoncé ci-après a été préparé par l'officier responsable et approuvé par le capitaine. Le plan de chargement devait aussi servir aux fins de la coordination des opérations avec les exploitants du terminal.

[TRADUCTION LIBRE]

PLAN DE CHARGEMENT:		Tirants d'eau:	Av. : 25'06"	Milieu : 25' 06"	Ar. : 25' 06"
Voyage	N° 0016	Date :	1 ^{er} juin 2000	Cargaison :	AGRÉGATS
Cale	N° 5	N° 4	N° 3	N° 2	N° 1
Port	BRUCE MINES	MELDRUM BAY	BRUCE MINES	MELDRUM BAY	BRUCE MINES
Cargaison	SABLE		HL1		HL1
Tonnes	5700 t	7200 t	3500 t	5600 t	5800 t
TONNAGE TOTAL (APPROXIMATIF): 27 900 T					
PANNEAU					
CALE					
CARGAISON					
TONNES					
REMARQUES					
BRUCE MINES					
21	5	SABLE	4000	Pomper citerne n° 3 BÂBORD et SORTIR GRUE.	
19	5	SABLE	1200	Pomper citernes n° 5 / Pomper citernes n° 4.	
20	5	SABLE	500		
Av. 13' 09" Ar. 21' 04" approx.					
13	3	HL1	1750	Pomper citerne n° 3 TRBD et RENTRER GRUE vers le centre.	
9	3	HL1	1750	Pomper citernes n° 3 B et T quand la grue est au centre.	
Av. 14' 00" Ar. 21' 06" approx.					
2	1	HL1	4400	Pomper citernes n° 2/Pomper citernes n° 1.	
01	1	HL1	500	Vidanger coqueron avant. au besoin. S'assurer que le coqueron arrière est hors circuit.	
3	1	HL1	900		
Av. 15' 06" Ar. 19' 08" approx.					
MELDRUM BAY					
6	2		4000	Relever la grue à la hauteur maximale.	
04	2		900		

				Av. 23' 09" Ar. 17' 00"
16	4		4000	
14	4		1200	
18T	4		-2000	ASSIETTE AU TIRANT D'EAU AR.
08	2		(700)	ASSIETTE AU TIRANT D'EAU AV.

Le chargement et le délestage n'ont pas été exécutés conformément au plan convenu, en partie parce qu'à un certain point au cours du chargement, il était impossible de déplacer davantage le navire vers l'arrière, en raison de la profondeur limitée près de l'extrémité nord du poste de chargement, jusqu'à ce que le tirant d'eau arrière ait diminué. On a communiqué de vive voix pour permettre à l'officier responsable de confirmer et de valider les pompages que le personnel de la salle des machines avait exécutés. Les niveaux d'eau dans les citernes de ballast devaient être confirmés plus tard par des sondages faits à partir du pont. Comme on n'inscrivait pas dans le journal de passerelle les résultats du sondage des citernes pendant le délestage, il était difficile de coordonner le pompage des citernes. Il n'a pas été possible de confirmer la séquence de délestage, particulièrement lorsque le plan de chargement n'a pas été respecté.

1.12 *Horaires des quarts de chargement*

Le deuxième lieutenant et le second capitaine ont assuré leur quart normal de 12 h à 16 h et de 16 h à 20 h, respectivement. Chacun d'eux a bénéficié de 8 heures de temps libre entre les quarts, dont plusieurs heures de repos. En conséquence, on a jugé que la fatigue n'avait pas contribué à l'événement.

1.13 *Recommandations antérieures concernant les vraquiers*

Dans le cadre d'une enquête sur les avaries subies par le *S.S. Beechglan*, (rapport n° M91C2007 du BST), le BST a publié la recommandation M94-17, concernant les pratiques d'exploitation de l'industrie et les méthodes de chargement et de déchargement :

Le ministère des Transports exige qu'on donne aux capitaines des vraquiers canadiens des directives exhaustives sur le chargement et le déchargement, y compris sur la tenue d'un « carnet de cargaison », en vue de s'assurer que les contraintes imposées ne dépassent pas la résistance de la poutre-coque.

(M94-17, publiée en octobre 1994)

Transports Canada (TC) a accepté la recommandation. En réponse à la recommandation et à la correspondance connexe, TC a fait savoir que le *Recueil canadien des règles pratiques pour la sécurité du transport des cargaisons solides en vrac*, (TP 5761) allait être révisé en fonction des exigences les plus récentes de l'Organisation maritime internationale (OMI). Le 17 juillet 1995, TC a publié le

Bulletin de la sécurité des navires (BSN) n° 13/95, dans lequel on avisait les intéressés que le fait de suivre des pratiques et des procédures inopportunes pendant la manutention de la cargaison était une cause majeure de dommages dus à la surcharge de la structure. Un exemplaire de la circulaire MSC 690 de l'OMI était joint au Bulletin. Le 26 octobre 1998, on a publié le BSN 13/98, dans lequel on incluait le *Recueil de règles pratiques pour la sécurité du chargement et du déchargement des vraquiers*. On y rappelait les modifications apportées aux modalités du chapitre VI de la *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS)* sur le transport des cargaisons, en particulier l'entrée en vigueur à l'échelle internationale de la règle 7, le 1^{er} juillet 1998. Le règlement précise que les navires doivent disposer d'un carnet décrivant les forces et les moments maximaux qui peuvent être appliqués à la coque des navires pendant le chargement et le déchargement et pendant le voyage.

La Sécurité maritime de TC a aussi publié les BSN 07/1996 et 15/1999 pour assurer une diffusion plus large des questions relatives à la sécurité des vraquiers. On recommandait que toutes les parties intéressées par le chargement et le déchargement des marchandises en vrac prennent en compte les dispositions du *Recueil de règles pratiques pour la sécurité du chargement et du déchargement des vraquiers*, qu'elles se familiarisent avec son contenu et qu'elles incluent ces procédures à leurs opérations.

Suite aux avaries subies par le *S.S. Beechglen*, les propriétaires ont révisé leurs manuels de procédures pour faire en sorte que les équipages surveillent les opérations de lestage et de délestage au cours du chargement et du déchargement et qu'ils consignent ces opérations dans un registre permanent, registre qui doit être gardé dans la salle des machines et sur la passerelle. De plus, au changement de quart, l'officier qui est relevé doit donner des instructions à l'officier de relève au sujet de l'état des citernes de ballast.

Dans son rapport sur la rupture et le naufrage du vraquier *Flare* (rapport n° M98N0001 du BST), le Bureau a dit craindre que les navigateurs ne soient pas pleinement conscients du fait que s'ils dérogent aux consignes contenues dans les guides de chargement approuvés, il se peut que la structure soit soumise à des sollicitations excessives susceptibles d'entraîner des défaillances. Le Bureau a recommandé que :

le ministère des Transports, en coordination avec des organismes internationaux (dont l'Organisation maritime internationale et l'International Association of Classification Societies), rappelle aux propriétaires, aux armateurs et aux capitaines de navire la nécessité de se conformer rigoureusement aux consignes des guides de chargement approuvés afin d'éviter que les vraquiers subissent des contraintes structurales indues.

(M00-05, publiée en juin 2000)

TC a accepté la recommandation. En réponse, TC a fait savoir qu'on porterait la question à l'attention des participants aux réunions futures sur le contrôle des navires par l'État du port, pour s'assurer que les États signataires des protocoles d'entente de Paris et de Tokyo sur le

contrôle des navires par l'État du port soient sensibilisés à l'importance du contrôle de la conformité dans le cadre des inspections de contrôle des navires par l'État du port. TC a fait savoir que la question avait aussi été portée à l'attention de l'OMI et que la Sécurité maritime de TC continuerait de participer aux activités des groupes de travail de l'OMI sur la sécurité des vraciers. Le sous-comité des marchandises dangereuses, des cargaisons solides et des conteneurs est à élaborer un manuel sur le chargement et le déchargement des cargaisons solides en vrac, à l'intention des représentants des terminaux.

1.14 *Plan de chargement et procédures d'exploitation*

Au moment de l'événement, le *Carnet des calculs d'assiette et de stabilité*, comptant notamment des données sur la résistance longitudinale, telles le moment de flexion en eau calme, était à bord du navire et était à la disposition du personnel du navire. Cet exemplaire a été approuvé par la Lloyd's le 22 février 1982 et présente 20 conditions type de chargement. Les notes à l'intention du capitaine précisent que le carnet a été rédigé à des fins d'information et qu'il doit être considéré comme tel en tout temps.

La pratique veut que le second capitaine prépare un plan de chargement et le présente au capitaine pour approbation. Les détails et les calculs du plan de chargement se fondent sur les connaissances et l'expérience du second capitaine et du capitaine, combinées aux données précédentes relatives au chargement/déchargement du navire.

Le second capitaine pouvait se servir soit d'un formulaire préparé par la division maritime de l'Algoma Central Railway (formulaire 226 intitulé *Vessel Loading Plan* - plan de chargement du navire), soit d'un tableur utilisant l'ordinateur personnel du bord. Les deux méthodes demandent une description du navire, le poids et la disposition de la cargaison, les tirants d'eau et la durée des opérations de chargement et de lestage. Toutefois, ni l'un ni l'autre des méthodes n'inclut de l'information sur la résistance longitudinale de la poutre-coque, sur les forces de cisaillement ou les moments de flexion relatifs au MFEC maximal tel qu'approuvé par la Lloyd's.

Des calculs faits suite à l'événement sur le MFEC imposé au *Algowood*, chargé selon le plan de chargement prévu, ont été menés afin de trouver la magnitude et la nature des contraintes de flexion connexes. Ces calculs indiquent que le navire aurait subi un moment d'arc/de flexion environ 1,9 fois plus grand que le MFEC maximal admissible approuvé par la Lloyd's. Une telle distribution de la cargaison lors de voyages précédents mènerait à la fatigue de la structure de la coque.

La réglementation canadienne en vigueur n'exige pas que les navires de cette classe aient à leur bord des instructions écrites sur le déroulement des opérations de chargement ou de déchargement. Le manuel du système de gestion de la sécurité (*Safety Management System Manual*) de la compagnie, qui était à bord du navire lors de l'événement, a une section portant sur les procédures relatives à la cargaison, intitulée *Cargo Procedures*. Le manuel traite du déroulement des opérations de chargement et de déchargement, des responsabilités de chacun,

des préparatifs du chargement, du chargement, du délestage, des préparatifs du déchargement, du déchargement, du lestage, des précautions spéciales et du contrôle des tirants d'eau.

Au sujet des efforts longitudinaux et des procédures de chargement, le manuel précise que :

[TRADUCTION LIBRE]

- La préparation du plan de chargement doit tenir compte des éléments suivants :
... faire en sorte que les contraintes exercées sur les cloisons et les plafonds de ballast et les contraintes longitudinales soient le plus faible possible pendant le chargement et le délestage.
- Il faut surveiller fréquemment l'arrimage de la cargaison dans chaque compartiment afin d'en assurer la répartition égale, en prenant bien soin d'éviter que le navire prenne une gîte excessive, ou que les plafonds de ballast et les cloisons subissent des contraintes excessives.

2.0 *Analyse*

2.1 *Communications générales*

Lors de cet événement, on n'a pas rappelé officiellement la nécessité de maintenir une communication téléphonique entre l'officier responsable du chargement/délestage et le personnel de la salle des machines. Il y a un intervalle entre le commencement du pompage du lest d'eau et le moment où le surveillant de quart fait la lecture du niveau d'eau dans les citernes respectives. S'il faut faire des lectures dans 10 à 14 citernes de ballast, il est possible qu'un certain temps s'écoule avant qu'on détecte une erreur dans la séquence de pompage des citernes et que l'officier responsable en soit informé.

L'envoi d'une instruction manuscrite formelle constitue peut-être la façon la plus sûre de veiller à l'exécution d'une opération critique; à bord de nombreux navires, il s'agit de la façon courante de procéder aux opérations de lestage. Dans le cas d'une instruction donnée par téléphone, si le receveur répète l'instruction, la personne qui a donné l'ordre sait immédiatement si l'ordre est compris et elle peut s'attendre à ce qu'on y donne suite. De plus, quand la personne chargée d'exécuter les mesures confirme qu'elle l'a fait, cela équivaut à donner une seconde confirmation de l'exécution de l'ordre original.

2.2 *Communications et coordination – Chargement/Délestage*

Pendant le chargement, le personnel de la salle des machines a accusé réception des instructions verbales disant de délester, les a consignées et les a exécutées, mais la salle des machines n'a pas donné de confirmation après qu'on eut vidé partiellement ou complètement les citernes. Les communications ont été à sens unique la plupart du temps, c'est-à-dire qu'elles ont été transmises de la passerelle à la salle des machines et qu'il y a eu très peu de communications dans le sens inverse. À cause de cette absence de suivi, l'officier responsable qui ordonnait de délester le navire ne pouvait se renseigner sur l'état du navire qu'en vérifiant les résultats des sondages des citernes quelque temps après le début du pompage.

Il s'ensuit que le navire a été soumis à des moments de flexion beaucoup plus grands que les moments maximaux admissibles. On aurait pu éviter cette situation si les communications avaient été davantage conformes aux règles établies et si le plan convenu de délestage/chargement avait été respecté.

Quand le capitaine est revenu au navire, environ deux heures avant l'événement, il s'est inquiété du fait qu'on avait dérogé au plan de chargement et à la séquence de pompage, mais il a indiqué qu'il faisait confiance aux capacités de son officier. Toutefois, s'il avait réévalué à ce moment la répartition du chargement du navire, et si des mesures correctives avaient été prises, il aurait peut-être été possible de prévenir l'événement.

2.3 *Chargement et délestage*

Pour réduire au minimum les contraintes exercées sur la structure, il faudrait qu'à mesure de l'augmentation du poids de cargaison, on évacue un poids similaire de lest d'eau. Cependant, il n'est pas toujours possible de procéder de la sorte, étant donné la vitesse à laquelle se fait le chargement des cargaisons en vrac. Par conséquent, il faut porter une attention particulière à l'ordre dans lequel le chargement et le délestage se font.

Peu avant la défaillance de la coque, le chargement était presque terminé dans la cale n° 1, et celle-ci contenait approximativement 4 923 tonnes. Les citernes de ballast n° 2 B et T étaient presque vides et la cale n° 2 était vide.

Le poids total et la distribution de la cargaison, ainsi que l'absence presque complète de charge au droit de la cale n° 2, a contribué pour beaucoup au fait que le moment de flexion imposé à la poutre-coque soit à peu près 2,3 fois plus grand que le moment maximal admissible.

À 20 h 35, on a fini de charger la cargaison par les panneaux n°s 19, 20 et 21. L'officier responsable a alors dérogé pour la première fois du plan de chargement et a ordonné aux installations à terre de charger des agrégats HL1 par le panneau n° 9 plutôt que par le panneau n° 13. Cette dérogation initiale par rapport à la séquence prévue de chargement/délestage a causé des complications qui ont entraîné d'autres dérogations, lesquelles ont fini par engendrer des contraintes auxquelles la coque n'a pas pu résister.

Les dérogations à la séquence de chargement, combinées à l'absence de mesures compensatoires de lestage visant à réduire au minimum les efforts imposés à la coque, ont fait en sorte que le navire prenne de l'arc. La défaillance mécanique de la structure du fond s'est produite quand les contraintes de compression ont excédé la résistance critique au fléchissement de la structure du fond. Cette défaillance a causé un fléchissement marqué et une rupture en traction de la structure adjacente, ce qui a entraîné la perte de l'intégrité de la coque dans le sens longitudinal.

2.4 *Détermination des tirants d'eau*

La lecture des marques de tirant d'eau du navire pendant le chargement a été affectée par les facteurs suivants : le temps froid, le mauvais éclairage, la pluie chassée, l'obscurité et le fait qu'on disposait d'une lampe de poche dont l'éclairage était insuffisant. De plus, la distance à laquelle on vérifiait les repères de tirant d'eau à partir de la rive était supérieure à 30 mètres à l'arrière du navire, et d'environ 25 mètres à l'avant.

À cause des dérogations au plan de chargement convenu, il était nécessaire de contrôler fréquemment et avec soin les repères de tirant d'eau à l'avant, au milieu et à l'arrière du navire. Pendant la plus grande partie des activités de chargement, les conditions météorologiques n'ont pas eu d'incidence. Mais quand les conditions se sont détériorées, il est devenu difficile d'obtenir des lectures exactes de tirant d'eau, à cause de la distance entre le navire et la rive et du type de lampe de poche dont le personnel disposait.

L'officier responsable du chargement/délestage croyait que le navire avait pris un arc de neuf pouces au moment de l'événement, mais des calculs ultérieurs ont révélé un arc beaucoup plus prononcé. Comme il était difficile de lire les repères de tirant d'eau dans les conditions au moment et de déterminer la vitesse de chargement de la cargaison, et à cause de la fréquence des lectures de tirant d'eau, on n'a pas été en mesure de déterminer dans quelle mesure le navire prenait de l'arc avant que la poutre-coque subisse des contraintes excessives.

2.5 *État du fond le long du poste à quai*

Les enquêteurs ont examiné l'hypothèse que le navire ait pu être affecté par des distorsions et des fractures ponctuelles dues à des obstacles au fond de l'eau, près du poste à quai. Le dernier levé hydrographique effectué dans le secteur remonte à septembre 1997. Le 10 juillet 2000, des plongeurs ont fait un levé ponctuel afin d'évaluer la profondeur et l'état du fond. Le levé n'a révélé la présence d'aucun obstacle non indiqué sur les cartes, ni de rochers ou d'autres accidents du terrain susceptibles de causer des avaries au bordé de fond ou initier la défaillance de la coque. De plus, l'examen des dossiers de chargement de la compagnie minière avant juin 2000 a révélé que des navires chargés à ce poste à quai avaient au moment du départ un tirant d'eau supérieur à celui du *Algowood*, et qu'ils n'avaient pas subi d'avaries consécutives à leur chargement.

2.6 *Connaissances des officiers au sujet des contraintes exercées sur la structure*

En 1998, la Sécurité maritime de TC a publié le manuel intitulé *Examens des gens de mer et délivrance des brevets et certificats* (TP 2293). Les normes énoncées dans cette publication constituent un guide pour la délivrance des brevets et certificats aux officiers de navires. Elles tiennent compte des exigences du *Règlement sur la délivrance des brevets et certificats (marine)*. Pour un capitaine, voyage local, l'examen porte sur les exigences relatives à la construction et à la mécanique des navires, y compris les éléments suivants :

Structures et méthodes de construction

Les stress structuraux; la différence entre effort et contrainte; les efforts de cisaillement ainsi que les moments fléchissants et l'interprétation des solutions graphiques;... les raisons d'un super-renforcement;... les caractéristiques de construction spéciales des TGTB (très gros transporteurs de brut) et les moyens spéciaux utilisés pour assurer leur résistance longitudinale et transversale suffisante; les caractéristiques de construction spéciales des vraquiers-pétroliers-minéraliers (OBO).¹³

¹³

Désigne un navire conçu spécifiquement pour le transport de minerai en vrac qui est muni d'installations additionnelles pour le transport de pétrole ou de vrac solide.

Efforts dans les navires

Les efforts prédominants qui s'exercent au moment du déchargement des vraquiers avec des bennes preneuses ou à cause d'un déchargement inégal; les efforts prédominants qui s'exercent sur les vraquiers lorsqu'on charge des concentrés ou d'autres produits en vrac à une cadence rapide; la distribution inégale des cargaisons; les poids lourds sur le pont ou les plafonds de ballast; les efforts qui s'exercent sur la coque à cause du mouvement d'un navire en mer, notamment : l'effet de soufflet, le tossage, l'arc, le contre-arc et l'effet de déliaison du cadre transversal; les contraintes structurales dues à un échouement.

Le capitaine et le second capitaine étaient titulaires de certificats valides relatifs à leurs postes et ils avaient réussi les examens portant sur chacun des sujets imposés pour les voyages de cette catégorie, y compris l'examen sur la construction et la mécanique des navires.

Des calculs faits suite à l'événement, selon le plan de chargement prévu, indiquent que le navire aurait subi un MFEC 1,9 fois plus grand que le moment maximal approuvé. En l'absence de calculs préalables visant à établir le MFEC relatif dans les conditions de chargement prévues, ni le personnel du navire ou le personnel opérationnel de l'entreprise n'était au courant de la magnitude.

2.7 Mesures de sécurité applicables aux vraquiers

La flotte de vraquiers du Canada compte quelque 70 navires dont l'âge moyen est supérieur à 33 ans. En raison du genre de service auquel ils sont affectés, les vraquiers naviguant exclusivement sur les Grands Lacs ne sont pas tenus de se conformer aux exigences plus rigoureuses qui visent les navires océaniques, et ils répondent à des normes moins sévères en matière de résistance structurale, d'échantillonnage et de lignes de charge. Toutefois, les principes élémentaires concernant la distribution des contraintes de flexion de la coque s'appliquent toujours et, parce que le rapport longueur/largeur est plus élevé sur un vraquier, il faut porter une attention particulière pendant le chargement et le déchargement afin d'éviter les contraintes excessives.

L'examen de l'historique des ruptures structurales survenues à bord de navires au Canada donne à penser que le risque de rupture catastrophique est minimal, mais que les conséquences d'une telle rupture pour les personnes, la propriété et l'environnement sont considérables. C'est pourquoi cette faible probabilité constitue un risque indu, mais un risque qu'on peut gérer facilement en se conformant à des pratiques de chargement éprouvées pour faire en sorte que les contraintes exercées sur le pont/le fond restent en deçà des limites acceptables.

Reconnaissant qu'il fallait améliorer les méthodes de chargement et de déchargement des vraquiers engagés dans des voyages internationaux, l'OMI a modifié la convention SOLAS en y ajoutant des mesures de sécurité au sujet des vraquiers. En particulier, le chapitre XII, règle 11 de la convention SOLAS traite du chargement des vraquiers d'une longueur égale ou supérieure à 150 mètres. Cette règle exige que les vraquiers soient munis de calculateurs de

chargement capables de fournir des informations sur les efforts tranchants et les moments de flexion auxquels est soumise la poutre-coque. On reconnaît que le calculateur de chargement est un outil permettant de veiller avec une efficacité accrue à ce que les efforts tranchants et les moments de flexion n'excèdent pas les limites admissibles au cours et à la conclusion des opérations de chargement ou de déchargement. Bien que le règlement n'exige pas la présence du calculateur de chargement à bord des vraquiers des Grands Lacs, la Sécurité maritime de TC encourage leur installation à bord des vraquiers.

L'OMI a aussi adopté le *Recueil des règles pratiques pour la sécurité du chargement et du déchargement des vraquiers* afin d'aider les capitaines et les officiers à assurer la sécurité des opérations.

3.0 *Conclusions*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Le plan de chargement et de délestage n'a pas été respecté, ce qui fait que le navire a subi des contraintes excessives qui ont occasionné une défaillance de la structure de la coque. À cause de la disposition de la cargaison et du ballast, le moment de flexion en eau calme a été environ 2,3 fois plus grand que la valeur maximale admissible.
2. En raison d'un manque de rétroaction après qu'on eut donné les instructions de délestage, l'officier responsable n'a pas été informé du déroulement du délestage.
3. Les lectures de tirant d'eau pendant le chargement n'ont pas été assez fréquentes et précises pour qu'on puisse faire une surveillance étroite pour déterminer si la coque prenait de l'arc. Les lectures des repères de tirant d'eau sont devenues des estimations lorsque les conditions météo se sont détériorées et dès lors qu'on n'a pas recouru à tous les moyens disponibles pour déterminer les tirants d'eau.
4. L'officier responsable n'a pas saisi l'intensité des efforts qui étaient imposés au *Algowood* par suite des dérogations au plan de chargement convenu.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Ni le personnel du navire ni le personnel opérationnel de l'entreprise n'était au courant que les efforts qu'aurait imposé au navire le plan de chargement convenu étaient 1,9 fois plus grand que le MFEC maximal admissible approuvé par la Lloyd's.

3.3 *Autres faits établis*

1. Les examens en laboratoire ont révélé que les échantillons d'acier prélevés dans la zone touchée par la défaillance structurale ne montraient aucune anomalie susceptible d'altérer la soudabilité; les caractéristiques du métal en matière de résistance à la traction et de résistance à l'effet d'entaille étaient comparables à celles d'un acier de nuance A approuvé par la Lloyd's.
2. Aucune des lectures de perte d'épaisseur du matériau n'était supérieure aux limites acceptées à partir desquelles le remplacement du matériau aurait été nécessaire.
3. L'inspection du fond devant le poste à quai, qui a été faite après l'événement, n'a révélé la présence d'aucun obstacle non indiqué sur les cartes, ni de rochers ou d'autres accidents du terrain qui auraient pu être à l'origine de l'événement.

4. Les données sur le navire qui se trouvent à bord informent sur les conditions de chargement représentatives, mais elles n'énoncent pas l'ordre des opérations de chargement et de délestage.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures prises

Après l'événement, la société Algoma Central Marine a entrepris un examen de ses pratiques et de ses procédures et a pris les mesures suivantes :

1. Immédiatement après l'incident, la compagnie a modifié sa politique de manutention de la cargaison de façon à instaurer des procédures exigeant que les architectes navals de la compagnie étudient toutes les opérations fractionnées de chargement et de déchargement afin de déterminer si le chargement/déchargement proposé respecte les limites fixées pour les différents navires en matière de contraintes et de forces de cisaillement.
2. Les architectes navals de la compagnie ont élaboré un cours de formation portant sur les efforts et les contraintes que les navires doivent supporter pendant la manutention de la cargaison. Ce cours a été présenté à tous les capitaines et seconds capitaines pendant l'hiver de 2000. On a remis une copie de cette information à tous les participants et on a fait parvenir d'autres copies à tous les navires pour qu'ils en communiquent la teneur à leurs officiers subalternes.
3. La compagnie étudiait les exigences concernant l'installation de calculateurs de contraintes et de stabilité (calculateurs de chargement), avant l'incident de Bruce Mines. Après l'incident, la compagnie a passé un contrat avec une entreprise chargée de mettre au point des calculateurs de chargement et d'en faire l'installation à bord des navires de sa flotte. On a entrepris l'installation de ces systèmes au cours de l'automne de 2001, et l'installation devrait être terminée au cours de l'été de 2003.
4. On a fait un examen des pratiques antérieures de manutention de la cargaison sur un échantillon des navires de la compagnie pour déterminer si des pratiques similaires à celles qui ont été appliquées à bord du *Algoewood* étaient aussi appliquées à bord d'autres navires d'Algoma. L'examen n'a pas cerné de situations au cours desquelles le MFEC maximal des navires avait été dépassé.
5. La compagnie a passé un contrat avec un consultant en marine, qu'elle a chargé de faire une vérification des méthodes de manutention de la cargaison qui sont en vigueur à la compagnie. L'examen des résultats de cette vérification de concert avec la direction a donné lieu à l'élaboration du programme de formation exposé ci-devant.

6. La compagnie a fait faire un relevé de l'état de tous ses navires pour déterminer s'ils sont affectés de défaillances structurales analogues à celles décelées sur le *Algowood*. Les relevés n'ont indiqué aucun signe de défaillance structurale sur aucun des navires.

4.2 Mesures à prendre

Renseignements sur le chargement

Étant donné le genre particulier de service auquel ils sont affectés, il n'est pas nécessaire que les vraquiers qui naviguent dans les Grands Lacs soient conformes aux normes plus sévères auxquelles les navires océaniques sont assujettis, et ils répondent à des normes spécialement réduites en matière de structure, d'échantillonnage et de lignes de charge. Toutefois, les principes élémentaires concernant la distribution des contraintes de flexion de la coque s'appliquent toujours et, parce que le rapport longueur/largeur est plus élevé sur un vraquier, il faut porter une attention particulière pendant le chargement et le déchargement afin d'éviter les contraintes excessives.

Au Canada, le *Règlement sur les lignes de charge (eaux intérieures)* précise que le capitaine de chaque navire doit recevoir des renseignements suffisants dans une forme approuvée pour lui permettre de veiller au chargement et au lestage de son navire, de façon à éviter de soumettre la charpente de ce dernier à des contraintes inacceptables.

Les manuels de chargement qu'on trouve à bord des navires canadiens fournissent aux capitaines des lignes directrices visant à les aider à s'assurer que leur navire bénéficie de conditions sûres de lestage et d'assiette tout au long du voyage, pour s'assurer que l'intégrité de la structure est adéquate, que le navire soit au port ou qu'il navigue dans différentes conditions. Le manuel de chargement approuvé du *Algowood* faisait état des forces de cisaillement et des moments de flexion acceptables pour différentes conditions de chargement. Toutefois, les manuels en question ne traitent pas de l'ordre dans lequel le chargement du navire doit se faire; or, lors de cet événement, c'est cet aspect des opérations qui a donné lieu à des complications qui devaient faire apparaître les contraintes auxquelles la coque n'a pas pu résister.

Lorsque la distribution du chargement est inadéquate, il est possible que la structure subisse de fortes contraintes, qu'elles soient ponctuelles (sous la charge) ou qu'elles soient réparties le long de toute la coque. Comme l'agencement de la structure peut varier considérablement, l'OMI a reconnu les limitations associées à l'établissement des règles exactes relatives à la distribution des charges à bord des différents navires. À cette fin, l'OMI¹⁴ exige que les vraquiers engagés dans des voyages internationaux soient munis de calculateurs de chargement capables de fournir des informations sur les efforts tranchants et les moments de flexion auxquels est

¹⁴ En particulier, la règle 11 du chapitre XII de la convention SOLAS traite du chargement des vraquiers d'une longueur égale ou supérieure à 150 mètres.

soumise la poutre-coque. La disposition voulant que le capitaine puisse compter en temps voulu sur des données exactes concernant les efforts tranchants et les moments de flexion auxquels est soumise la poutre-coque peut aider à empêcher que la structure du navire soit soumise à des contraintes excessives.

Même si le *Algowood* était conforme aux exigences de sa classe et même s'il avait passé toutes les inspections exigées par le règlement, le Bureau craint que la flotte vieillissante de vraquiers canadiens, comptant quelque 70 navires immatriculés, soit vulnérable aux défaillances structurales et à de graves répercussions. Le Bureau craint que les navigateurs n'apprécient pas comme ils le devraient le fait que les dérogations aux manuels et aux plans approuvés de chargement peuvent occasionner des contraintes excessives et provoquer des défaillances catastrophiques, et qu'ils ne saisissent pas les conséquences éventuelles d'une mauvaise répartition de la cargaison et du ballast pendant le chargement. Les contraintes excessives qui s'exercent sur la coque ne se manifestent pas toujours pendant le chargement/déchargement et peuvent se manifester seulement une fois que le navire a quitté le port et qu'il est en mer. De telles défaillances pourraient provoquer la perte du navire, causer une pollution grave et aussi constituer une menace sérieuse pour la vie des membres de l'équipage, tout dépendant des circonstances.

Le Bureau croit que le fait de disposer de renseignements exhaustifs sur le chargement et le déchargement aidera les capitaines à surveiller le chargement et le déchargement de leur navire de façon à éviter que la structure supporte des contraintes excessives. Par conséquent, le Bureau recommande que :

le ministère des Transports exige que les capitaines de vraquiers canadiens d'une longueur égale ou supérieure à 150 m aient un accès continu, que ce soit à bord du navire ou dans les bureaux de la compagnie situés à terre, à un dispositif de contrôle des contraintes exercées sur la coque, pour éviter que les limites maximales relatives aux contraintes auxquelles est soumise la poutre-coque soient dépassées.

M03-01

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. La publication de ce rapport a été autorisée par le Bureau le 22 avril 2003.

Rendez-vous sur le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST et consulter sa documentation. Vous y trouverez aussi des liens vers d'autres organismes de prévention des accidents, ainsi que d'autres sites connexes.

Annexe A : Sigles et abréviations

ar.	arrière
av.	avant
B et T	bâbord et tribord
BSN	Bulletin de la Sécurité des navires
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
h	heure
m	mètre
MFEC	moment de flexion en eau calme
OMI	Organisation maritime internationale
SI	Système international (d'unités)
SIC	certificat d'inspection du navire
SOLAS	<i>Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer</i>
TC	Transports Canada
W.B.	citerne de ballast