



Rapport d'enquête technique

ADAMANDAS

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

Rapport d'enquête technique

PERTE TOTALE

DU NAVIRE VRAQUIER

ADAMANDAS

SURVENUE LE 22 SEPTEMBRE 2003

AU LARGE DE LA REUNION

SUITE A LA REOXYDATION

D'UNE CARGAISON DE FER OBTENU

PAR REDUCTION DIRECTE

Avertissement

Le présent rapport a été établi conformément aux dispositions du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004 relatifs aux enquêtes techniques après événement de mer, accident ou incident de transport terrestre, ainsi qu'à celles du "Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents et incidents de mer" - Résolutions n°A 849 (20) et A 884 (21) de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) des 27/11/97 et 25/11/99 -.

Il exprime les conclusions auxquelles sont parvenus les enquêteurs du *BEA* mer sur les circonstances et les causes de l'événement analysé.

Conformément aux dispositions susvisées, l'analyse de cet événement n'a pas été conduite de façon à établir ou attribuer des fautes à caractère pénal ou encore à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives à caractère civil. Son seul objectif a été d'en tirer des enseignements susceptibles de prévenir de futurs sinistres du même type. En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

PLAN DU RAPPORT

1	Circonstances	Page 8
2	Fer obtenu par réduction directe (DRI)	Page 10
3	Navire	Page 22
4	Equipe	Page 26
5	Conditions de transport du DRI à bord de l'ADAMANDAS	Page 27
6	Chronologie de l'événement	Page 30
7	Facteurs du sinistre	Page 42
8	Risques engendrés	Page 51
9	Action de l'Etat du pavillon	Page 52
10	Actions des services de l'Etat côtier	Page 53
11	Actions des parties privées	Page 57
12	Conclusions	Page 64
13	Recommandations	Page 69

ANNEXES

- A. Décision d'enquête
- B. Dossier navire
- C. Cartographie
- D. Dossier photographique

Liste des abréviations

ABS	:	American Bureau of Shipping
AEM	:	Action de l'Etat en Mer
ATEX	:	ATmosphère EXplosive
BEAmer	:	Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer
BV	:	Bureau Veritas
CEDRE	:	Centre de Documentation de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux
CODIS	:	Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours
COMAR	:	Commandement de la Marine
COSRU	:	Centre Opérationnel de Sauvetage de la Réunion
DRI	:	Direct Reduced Iron (fer obtenu par réduction directe)
GL	:	Germanischer Lloyd
HBI	:	Hot Briquettes Iron (briquettes moulées à chaud)
IACS	:	International Association of Classification Societies
INERIS	:	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
LIE	:	Limite inférieure d'explosivité
LRS	:	Lloyd's Register of Shipping
OMI	:	Organisation Maritime Internationale
P & I	:	Protection and Indemnity
PPM	:	Part par million
PVC	:	Polychlorure de vinyle
Recueil BC	:	Recueil de règles pratiques pour la sécurité du transport des cargaisons solides en vrac
SAMSA	:	South African Maritime Safety Authority
SECMAR	:	Plan de SECours MARitimes
SOLAS	:	International Convention for the Safety of Life at Sea
SRSR	:	Société Réunionnaise de Sauvetage et Remorquage

1 CIRCONSTANCES

Le 11 septembre 2003, alors qu'il se trouve à 65 milles dans le sud de La Réunion, le navire vraquier *ADAMANDAS*, battant pavillon chypriote et chargé de 21000 tonnes de fer obtenu par réduction directe (DRI) demande à faire escale à La Réunion.

Il souhaite disposer d'azote pour procéder à l'inertage de l'une des cales suite à une élévation anormale de température, accompagnée d'un dégagement d'hydrogène.

Il est autorisé à venir au mouillage à environ 0,6 mille de la commune de la Possession.

Une équipe d'évaluation pluridisciplinaire se rend à bord le 12 septembre afin de recueillir des informations complémentaires sur la situation du navire et d'examiner la faisabilité d'un inertage.

Dans le même temps, l'armateur, de nationalité grecque, ainsi que l'assureur dépêchent des représentants sur place, dont un expert incendie, afin de résoudre le problème d'élévation de température de la cargaison.

Le 15 septembre, le navire étant toujours au mouillage, une nouvelle investigation à bord est faite par l'équipe d'évaluation. Les températures et le taux d'hydrogène ont baissé dans la cale 2, par contre ils ont légèrement augmenté dans la cale 3.

L'accueil au port n'est pas envisageable dans ces conditions et, en l'absence d'intervention significative et efficace de l'armateur pour sécuriser le navire, le Préfet de La Réunion, délégué du Gouvernement pour l'Action de l'Etat en Mer, adresse une mise en demeure à l'armateur en lui rappelant ses responsabilités et lui fixe un délai, le mercredi 17 septembre à 12h00, pour rétablir une situation normale avant intervention des autorités françaises. Il demande également le concours de l'INERIS qui met en place un comité de suivi de la situation afin de permettre aux autorités de valider les solutions envisagées par l'armateur.

Le 18 septembre, la situation est stable mais en raison de l'absence de mesure efficace prise par l'armateur, le préfet lui adresse une nouvelle mise en demeure.

Le 19 septembre aucune avancée concrète de l'armateur ne s'étant manifestée : deux équipes d'experts se rendent à bord du navire l'une pour évaluer la dangerosité de la cargaison et s'entretenir avec l'équipage, l'autre pour préparer un éventuel remorquage. Une

nouvelle augmentation de température en un point de la cale 2 est alors constatée, atteignant 619°C.

Le 20 septembre, la situation à bord de l'*ADAMANDAS* s'est aggravée. La cargaison de la cale 1 qui jusqu'alors ne posait aucun problème, commence à émettre de l'hydrogène. Le capitaine du navire adresse en début d'après midi une demande formelle aux autorités françaises d'assurer la sécurité de son équipage et d'évacuer 6 de ses hommes qui ne souhaiteraient plus rester à bord.

Le Préfet de la Réunion ordonne alors la mise en place de moyens de sauvetage et demande au capitaine d'écarter son navire de la côte en restant dans les eaux territoriales. Il lui propose par ailleurs l'aide des moyens réquisitionnés de l'Etat au cas où il ne serait pas en mesure de se déplacer par ses propres moyens, après une éventuelle évacuation totale ou partielle de l'équipage.

Le 21 septembre vers 00h30, le capitaine n'ayant pas obtempéré à la demande du préfet, l'*ADAMANDAS* est remorqué par l'Abeille *CILAOS* de la SRSR jusqu'au large de la Pointe des Galets, à l'intérieur des eaux territoriales, et reste sous contrôle des autorités françaises. A la demande du capitaine, la majorité de l'équipage est évacuée avant le remorquage.

L'après-midi à l'issue d'une réunion ultime avec l'ensemble des parties (armateur, affréteur, capitaine du navire, assureurs et experts) aucune solution technique rapide, sûre et efficace répondant aux attentes de l'Etat en matière de délai et de sécurité n'a été proposée par l'armateur.

En fin de soirée, tenant compte de l'incertitude sur l'aggravation de la situation à bord, le Préfet de la Réunion, sur la base notamment du décret 86-38 relatif aux mesures de police, ordonne la destruction et l'immersion du navire (arrêté préfectoral N°2216/SG/AEM du dimanche 21 septembre 2003 - 23h45).

Le 22 septembre à 09h00, la coque du navire est perforée par explosif et il sombre à 14h00 locale par 1750 m de fond à 20 km au nord ouest de la Réunion, à la position 20°56,7' S – 054°59,9' E. L'opération a été menée par un groupe de plongeurs démineurs de la Marine Nationale grâce à des conditions météorologiques favorables.

Avec l'assistance d'un expert du CEDRE la légère pollution observée en surface est traitée par les patrouilleurs de la Marine Nationale.

Le 26 septembre les risques de pollution étaient complètement maîtrisés.

2 FER OBTENU PAR REDUCTION DIRECTE (DRI)

2.1 Définitions

Le fer obtenu par réduction directe (DRI) est élaboré à partir du minerai de fer. C'est un produit métallique résultant d'un procédé de fabrication qui consiste à réduire l'oxyde de fer, c'est à dire à en retirer l'oxygène, à des températures inférieures au point de fusion du fer. Après broyage du minerai pour libérer les grains de silice constituant essentiellement la gangue, et séparation gangue / hématite par procédé magnétique ou flottation, on effectue un bouletage des fines d'hématite Fe_2O_3 en utilisant de la bentonite (argile) comme liant à froid.

La composition de l'hématite sur extrait sec est à peu près la suivante : 67% Fe ; 1,5% de chaux, 1,5% de silice et divers autres éléments dont l'alumine pour environ 1%. Les boulettes d'hématite sont ensuite chauffées jusqu'à atteindre une "céramisation" afin d'obtenir des caractéristiques physico-chimiques telles que la résistance à l'écrasement, suffisantes pour l'usage escompté.

Lorsque la chaux et la silice sont portées à 1400°C , on obtient une phase vitreuse qui sert de liant pour ces boulettes. Après criblage (3 à 5% du poids), ces billes sont placées dans un réacteur à l'intérieur duquel passe un flux de méthane (procédé Midrex) pour obtenir une réduction de l'hématite en fer métal par départ de l'oxygène qui se fixe au méthane pour faire du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

Il existe plusieurs procédés de réduction directe utilisant comme source d'énergie soit le charbon, soit le gaz naturel, et différents types de réacteurs.

Classification des procédés de réduction

Source d'énergie	Réacteur (minerais)	Procédé
Gaz naturel	Fluidisation (Fines)	Fior/Finmet Iron Carbide
Gaz naturel	Four à cuve (Boulettes / calibrés)	Midrex Hyl III
Charbon	Four tournant (Boulettes / calibrés)	SLRN
Charbon	Fluidisation (Fines)	Circofer
Charbon	Sole tournante (Fines)	Fasmet

Le procédé le plus répandu est le procédé Midrex qui représente près de 70% de la production mondiale de DRI.

L'oxygène étant enlevé, les billes de fer métal ont une porosité très importante. Leur structure est semblable à celle d'une éponge, d'où la tendance structurelle du DRI à se réoxyder très rapidement.

Le DRI est un produit relativement nouveau dans l'industrie de fabrication de l'acier. Il est ajouté aux ferrailles et fontes utilisées dans les fours électriques. Les premiers Midrex ont démarré dans les années 1970. Les principaux pays producteurs sont le Vénézuéla, Trinidad, l'Egypte, l'Arabie Saoudite, l'Iran, les USA, l'Inde et la Russie.

L'exportation de DRI représente environ 10 millions de tonnes par an.

Les principaux pays exportateurs sont le Venezuela, la Libye, Trinidad et la Russie.

La capacité mondiale de production de DRI est d'environ 50 Mt/an.

2.2 Différentes formes de DRI

Il se présente sous les formes suivantes :

2.2.1 Billes ou boulettes

Taille moyenne 6 à 25 mm de diamètre. Jusqu'à 5% de fines (particules de moins de 4 mm).

La porosité est importante, d'où une très forte propension à la réoxydation, ce qui est un inconvénient pour le transport.

Cette forme est celle qui présente le plus grand risque d'auto-échauffement. Aussi, des méthodes de traitement du DRI ont elles été essayées pour réduire ce risque.

2.2.2 Briquettes moulées à froid

Les briquettes moulées à froid sont des agglomérés obtenus par moulage et compression par des presses à rouleaux à une température inférieure à 650°C. Leur densité est inférieure à 5,0 g/cm³.

Elles se présentent sous la forme d'un morceau de savon, de 35 à 40 mm environ.

Le but de cette opération est de réduire la porosité, et par conséquent, la surface au contact du milieu ambiant susceptible de réagir avec l'humidité. Elles peuvent aussi être passivées.

Ce type de briquettes est relativement fragile du fait qu'elles sont compressées à basse température. Elles sont friables et peuvent se briser pendant les opérations de chargement, ce qui augmente la surface en contact avec l'atmosphère, favorisant ainsi la réaction avec l'humidité ambiante, d'où les mêmes inconvénients qu'avec les billes.

2.2.3 Briquettes moulées à chaud

Elles sont obtenues à partir de billes compressées à haute température à la sortie du four. C'est une variante du procédé de compactage précédent, dans lequel le matériau de base utilisé est moulé à une température supérieure à 650°C et atteint une densité supérieure à 5,0 g/cm³.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- longueur 90 à 130 mm ;
- largeur 80 à 100 mm ;
- épaisseur 20 à 50 mm ;
- poids 0,5 à 2,0 kg ;
- jusqu'à 5% de fines (moins de 4mm).

Ces briquettes sont moins fragiles que celles moulées à froid et ainsi moins prédisposées à se briser pendant les opérations de manutention. Elles peuvent être aussi passivées.

Lorsque les billes sont compactées à très forte pression, on obtient ce que l'on appelle du HBI (Hot Briquettes Iron). Le HBI s'oxyde très lentement, il peut être conservé pendant trois ans sur site industriel. Il est utilisé dans les fours électriques.

C'est probablement l'une des formes les plus sûres du DRI et dont le transport présente le moins de risques, d'où le développement de son utilisation. Cependant, il a lui aussi tendance à s'échauffer et à produire de l'hydrogène sous certaines conditions. Par ailleurs, il a l'inconvénient de nécessiter pour son utilisation plus d'énergie que les boulettes.

Exemple de composition du HBI :

• Fe total	91,014
• Fe métal	84,050
• Degré de métallisation	92,190
• Al ₂ O ₃	0,54
• MgO	0,43
• CaO	0,64
• SiO ₂	1,75

Le carbone oscille entre 1,0 et 1,2 ; le phosphore maxi 0,06 et le soufre 0,01 max.

La densité en vrac est de 2,4 à 2,8 t/m³ et la densité apparente 4,9 à 5,5.

Un fer total élevé est l'indice d'un fer très réduit.

Le HBI est utilisé comme accélérateur dans les hauts fourneaux et comme substitut de la ferraille dans les fours électriques à arc. Il peut servir d'agent de refroidissement dans les convertisseurs à la place de la ferraille.

Les briquettes moulées à chaud sont parfois référencées comme Briquettes de minerai de fer, Minerai de fer en briquettes ou Briquettes DRI.

2.2.4 Autres formes

Un producteur d'Amérique du Sud propose aussi des particules concassées de DRI pour le transport par mer. C'est un produit brut issu du processus de réduction avant criblage pour la mise en billes.

Il est probable que cette cargaison soit plus dangereuse que les billes de DRI.

Le DRI et ses dérivés peuvent aussi être désignés par d'autres appellations. Dans un cas d'accident qui a été rapporté, la cargaison était décrite comme des billes de minerai de fer concassées. Le chargeur a confirmé que la cargaison n'était pas dangereuse et le navire l'avait donc acceptée comme telle.

Toutefois la description donnée était fautive, et il s'est avéré que la cargaison en question était un mélange de particules de criblage de DRI et de particules de criblage de boulettes de minerai de fer ; elle était décrite dans le connaissement comme des particules d'oxyde de fer.

La cargaison s'est oxydée pendant le voyage et une explosion est survenue, provoquée par l'hydrogène qui a été libéré, causant la mort de deux marins. Un autre a été sérieusement blessé et le navire a subi d'importants dommages.

Le navire en cause, *KARTERIA*, vraquier de 34 900 t de port en lourd battant pavillon maltais, avait chargé à Mississippi River le 16 août 1999 pour être déchargé à Anvers pour le

compte de Cockerill. L'explosion s'est produite le 25 août 1999 dans les cales 4 et 5, le navire se trouvant à la position 37°28' N – 45°30' W.

Plus récemment, un autre accident a eu lieu le 28 février 2004 à bord du *YTHAN*, vraquier / porte conteneurs de 35 310 t de port en lourd battant pavillon des Iles Marshall, chargé de 35 000 t de fer en provenance du Venezuela et à destination de la Chine.

Une série d'explosions s'est produite dans les cales alors que le navire se trouvait à 20 milles au large de Punta Aguja au Nord de Santa Marta (Colombie), entraînant son naufrage. Le commandant a été tué et cinq membres d'équipage ont été portés disparus. La première explosion s'est produite dans la cale n°1, suivie peu de temps après par trois explosions successives dans les cales n° 5, 4 et 3, occasionnant une large brèche dans la coque. La cargaison était composée de briquettes moulées à chaud et de particules de fer obtenues par réduction directe.

2.3 Propriétés

Après réduction, les boulettes de fer ainsi obtenues peuvent très rapidement se ré-oxyder. Cette ré-oxydation intervient si celles-ci sont chauffées à l'air au dessus d'une certaine température ou si elles sont en contact avec de l'eau, y compris l'humidité ambiante. Elle est favorisée par la structure poreuse du produit.

Au contact de l'eau, le DRI se transforme en Fe_2O_3 en absorbant l'oxygène de l'eau et en libérant l'hydrogène. L'eau est le comburant.

Cette réaction est exothermique et le dégagement d'hydrogène présente un risque d'explosion. La température d'inflammation est d'environ 125°C.

Lorsque la température de la cale du navire est suffisamment élevée, avec une concentration en hydrogène supérieure à sa limite d'explosivité d'environ 4%, une explosion peut survenir dans la cale du navire.

La chaleur dégagée par la réaction elle-même peut, à son tour, stimuler la ré-oxydation des boulettes non mouillées et provoquer ainsi une réaction en chaîne à travers le chargement pouvant conduire à des températures, à l'air libre, excédant 1000°C, suffisantes pour affecter la résistance de l'acier (*).

(*) Des essais réalisés en laboratoire ont montré que c'est à partir de 260°C que l'on assiste à un emballement de la réaction exothermique pour les particules de DRI et 300°C pour les billes.

C'est semblable à un feu de coke ; si on arrose, on attise le foyer. Il faut alors noyer très vite le produit pour arrêter la réaction.

La propension de ce produit à se ré-oxyder par contact avec l'eau, avec les problèmes de production de chaleur et d'hydrogène qui en résultent, représente la difficulté majeure de son transport par mer.

En effet, il a été constaté que la ré-oxydation est plus lente avec de l'eau douce qu'avec de l'eau de mer. En vieillissant, le DRI se réoxyde aussi plus lentement.

Le transport de ce type de produit présente donc des risques qui doivent être parfaitement connus, en particulier en présence d'humidité apportée par de l'eau de mer et par l'humidité de l'air ambiant en milieu marin.

La contamination par de l'eau de mer peut provoquer une inflammation spontanée. C'est pour cette raison que généralement les billes de DRI sont passivées. La passivation consiste en un traitement destiné à les protéger de l'humidité.

Les producteurs des différents pays utilisent différents procédés, dont certains sont plus efficaces et durables que d'autres.

Toutefois aucun traitement ne rend le DRI entièrement sûr.

Certains producteurs appliquent aux billes un traitement thermique supplémentaire pour les passiver (traitement à haute température au dernier stade de production).

Ainsi les billes acquièrent des propriétés de résistance à l'eau douce et à l'air. Si elles sont contaminées par la pluie ou la neige, les billes seront sujettes à un auto-échauffement, mais sans atteindre un niveau de températures dangereux avec risque d'inflammation spontanée. Néanmoins, cette passivation est plus ou moins fragile lors de la manutention du produit.

Lors de la manutention, les billes s'effritent et donnent des fines ou poussières qui sont dangereuses car elles sont sensibles à l'autoinflammation. Une accumulation de poussières de quelques centimètres peut se réchauffer et s'enflammer.

2.4 Conditions de transport

Le DRI fait partie des matières possédant des propriétés chimiques dangereuses soumises d'une part aux règles pertinentes des chapitres VI et VII de la convention SOLAS, d'autre part au Recueil des règles pratiques pour la sécurité du transport des cargaisons solides en vrac (Revueil BC).

2.4.1 SOLAS

Chapitre VI : Transport de cargaison

Partie A : Dispositions générales.

Règle 2 : Renseignements sur la cargaison.

Il appartient au chargeur, préalablement au chargement de déterminer les propriétés physico-chimiques de sa cargaison et de communiquer ces renseignements au capitaine ou à son représentant .

Par conséquent, le chargeur doit fournir au capitaine ou à son représentant les renseignements appropriés sur la cargaison suffisamment à l'avance pour que les précautions éventuellement nécessaires au bon arrimage et à la sécurité du transport de la cargaison puissent être prises. Ces renseignements doivent être confirmés par écrit et par les documents de transport appropriés avant le chargement de la cargaison à bord du navire.

Règle 3 : Appareil de détection des gaz et de mesure d'oxygène.

Lors du transport d'une cargaison en vrac susceptible d'émettre des gaz toxiques ou inflammables ou d'entraîner une raréfaction de l'oxygène dans l'espace à cargaison, il faut prévoir un appareil approprié de mesure de la concentration de gaz ou d'oxygène dans l'air, accompagné d'un mode d'emploi détaillé.

Les équipages des navires doivent être formés à l'utilisation de ces appareils.

Partie B : Dispositions spéciales applicables aux cargaisons en vrac autres que les grains.

Règle 6 : Conditions d'acceptation des cargaisons à expédier.

Chapitre VII : Transport de marchandises dangereuses en colis ou sous forme solide en vrac.

Partie A-1 : Transport de marchandises dangereuses sous forme solide en vrac.

2.4.2 Recueil BC

Les mesures applicables à la sécurité du transport de fer obtenu par réduction directe en billes sont stipulées à l'annexe B de ce recueil et rappelées ci-après.

Boulettes et briquettes moulées à froid

Prescriptions spéciales :

Attestation :

Une personne compétente agréée par l'administration nationale du pays d'expédition doit certifier au capitaine du navire que le fer obtenu par réduction directe est, au moment du chargement, dans un état convenant au transport.

L'expéditeur doit certifier que la matière est conforme aux prescriptions du recueil BC.

Mesures requises par l'expéditeur :

Avant le chargement, il convient de faire vieillir le fer obtenu par réduction directe pendant au moins 72 heures, ou de le soumettre à un procédé de passivation à l'air, ou à une autre méthode équivalente qui ramène la réactivité de la matière au moins au même niveau que le produit vieilli.

L'expéditeur devra fournir les instructions spécifiques nécessaires au transport :

- soit maintien, pendant tout le voyage, des cales à cargaison dans une atmosphère inerte ne contenant pas plus de 5% d'oxygène. La teneur en oxygène de l'atmosphère doit être maintenue à un niveau inférieur à 1% en volume ;
- soit transformation ou traitement du fer obtenu par réduction directe à l'aide d'un procédé d'inhibition de l'oxydation et de la corrosion, dont l'efficacité à assurer une protection appropriée contre toute réaction dangereuse de la substance au contact de l'eau de mer ou de l'air lors de son transport en mer a été démontrée.

Les autorités compétentes des pays intéressés peuvent ne pas exiger l'application des dispositions du précédent paragraphe ou peuvent faire varier ces dispositions, compte tenu de la nature abritée, de la longueur, de la durée ou de toutes autres conditions pertinentes d'un voyage déterminé.

Précautions :

- Le navire choisi doit convenir à tous les égards au transport du fer obtenu par réduction directe :

Avant le chargement :

Toutes les cales doivent être nettoyées et séchées. Les bouchains doivent rester secs pendant le voyage.

Les aménagements en bois tels que le vaigrage, etc. doivent être retirés.

Lorsque cela est possible, les citernes à ballast adjacentes, autres que les citernes de double fond, doivent rester vides. L'étanchéité des fermetures du pont exposé aux intempéries doit être assurée.

- Le fer obtenu par réduction directe ne doit pas être chargé si sa température est supérieure à 65°C ou 150°F.
- A l'exception du cas où le DRI a reçu un traitement d'inhibition de l'oxydation ou de la corrosion, aucun chargement humide ou dont on sait qu'il a été mouillé, ne doit être accepté aux fins de transport. Les matières doivent être chargées, arrimées et transportées à l'état sec.

- La teneur en oxygène et en hydrogène doit être contrôlée à intervalles réguliers durant tout le voyage et les renseignements doivent être gardés à bord et fournis sur demande.
- Une raréfaction de l'oxygène peut se produire dans les cales contenant des variantes du fer obtenu par réduction directe et toutes les précautions doivent être prises lorsqu'on pénètre dans ces compartiments.
- Il doit être interdit de fumer, de brûler, de couper, de meuler et de favoriser l'apparition d'autres sources d'inflammation à proximité des cales contenant du fer obtenu par réduction directe.

Briquettes moulées à chaud

Propriétés :

La matière peut dégager lentement de l'hydrogène au contact de l'eau. Après la manutention en vrac, elle est susceptible de s'échauffer spontanément et d'atteindre temporairement une température de 30°C environ.

Observations :

L'entreposage sur terre-plein est acceptable avant le chargement.

Le chargement, notamment le transfert d'un navire à l'autre par temps de pluie n'est pas autorisé. Le déchargement est autorisé dans toutes les conditions atmosphériques. Pendant le déchargement, on peut procéder à une pulvérisation fine d'eau douce pour empêcher la formation de poussières.

Prescriptions relatives à la séparation des matières et à l'arrimage

Les cloisonnements des compartiments dans lesquels cette matière est transportée en vrac doivent résister au feu et être étanches à l'eau.

Séparé des matières des classes 2, 3, 4 et 5 et des acides de la classe 8.

Prescriptions spéciales :

Attestation :

Une personne compétente, agréée par l'administration nationale du pays d'expédition, doit certifier au capitaine du navire que le fer obtenu par réduction directe, est au moment du chargement dans un état convenant au transport.

L'expéditeur doit certifier que la matière est conforme aux prescriptions du recueil des règles du Code BC.

Mesures requises de l'expéditeur :

L'expéditeur peut fournir des conseils relatifs à la sécurité pendant le transport qui viennent s'ajouter aux dispositions du présent Recueil de règles, mais ne doivent pas leur être contradictoires.

Précautions :

Avant le chargement :

Les mêmes précautions que celles stipulées précédemment pour le chargement des boulettes et des briquettes moulées à froid sont applicables.

Les briquettes moulées à chaud ne doivent pas être chargées si la température du produit est supérieure à 65°C (150°F).

Une raréfaction de l'oxygène peut se produire dans les cales contenant des variantes de fer obtenu par réduction directe et toutes les précautions doivent être prises lorsqu'on pénètre dans ces compartiments.

Une ventilation suffisante de la surface de la matière doit être assurée.

2.5 Mesures d'urgence en cas d'incendie

Le recueil BC recommande dans ce cas de :

- tenir les écoutilles fermées. Ne pas utiliser d'eau. Obtenir l'avis d'experts.
- utiliser dès que possible un gaz inerte qui peut être une mesure efficace contre la combustion lente.

Par ailleurs, les professionnels du DRI (producteurs, utilisateurs et transporteurs) ont défini différents moyens pour enrayer la réaction d'échauffement du DRI à l'intérieur d'une cale de navire.

Ces moyens consistent à empêcher l'accès de l'air au DRI :

- en recouvrant toute la surface du tas de DRI avec du sable,
- en noyant aussi rapidement que possible le DRI avec de l'eau de façon à limiter le dégagement d'hydrogène,
- en utilisant une enveloppe d'azote.

Ne pas utiliser du CO₂ car il peut former du CO.

Ils recommandent aussi le déchargement rapide de la cargaison.

3 NAVIRE

L' *ADAMANDAS* est un vraquier construit en 1986 aux chantiers de constructions navales de Guaymas Mexique, battant pavillon Chypriote depuis le 23 septembre 1992.

Il est immatriculé à LIMASSOL.

Noms successifs :

- *ADAMANDAS* (15/12/95) ;
- *LAPIS LAZULIS* (01/12/94 au 14/12/95) ;
- *PATRIOTICOS* (29/04/92 au 01/12/94) ;
- *ATLAHUA* (04/03/86 au 18/03/92).

Pavillons successifs :

- Chypre (depuis le 29/04/92) ;
- Iles Marshall (25/02/91 au 18/03/92) ;
- Mexique (04/03/86 au 25/02/91).

Propriétaire :

Depuis le 02/10/94, Sulzer Shipping - 45, avenue Vasilissis Sofias à Athènes.

Gestionnaire :

Pacific & Atlantic 45, Avenue Vassilis Sofias à Athènes (depuis 10 ans).

Sociétés de Classification :

- American Bureau of Shipping du 01/01/86 au 28/05/98;
- Lloyd's Register of Shipping depuis le 28/05/98.

Classification :

100A1 – SS12/00 - bulk carrier strengthened for heavy cargoes , Nos. 2&4 holds may be empty – ESP – LI – ESN-Hold 1 Ice Class 1C – LMC.

3.1 Construction

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- **Longueur hors tout** : 165 m ;
- **Largeur** : 23,65 m ;
- **Longueur entre perpendiculaires** : 155,38 m ;
- **Creux sur quille à mi-longueur** : 13 m ;
- **Jauge brute** : 14 487 ;
- **Port en lourd** : 22 580 tonnes ;
- **Propulsion** : un moteur diesel IHI 5 cylindres de 10 592 kW ;
- **Vitesse en service** : 16,5 nœuds ;
- **N°IMO** : 8115681.

Le navire comprend 6 cales.

Il est assuré depuis le 03/09/03 auprès de Assuranceforeningen Gard Norvège.

Transport de marchandises solides en vrac.

Le navire pouvait charger des briquettes de DRI moulées à chaud dans les 6 cales.

Il pouvait également charger des engrais à base de nitrate d'ammonium type A et type B dans les cales 1, 2, 3, 4, 5 (6 vide).

Certificat de Conformité délivré le 30/01/02 au Pirée par le Lloyd's Register valide jusqu'au 30/12/05.

Certificat Gestion de la sécurité délivré le 11 juin 2003 par Lloyd's Register valide jusqu'au 16 février 2008.

Certificat intermédiaire délivré par le Lloyd's le 03 août 03. Visite trous d'hommes accès aux cales 1, 2, 3, 5, 6.

Visite spéciale coque : faite le 31/12/00 ;
due le 30/12/05.

Passage au bassin : fait le 30/04/00 ;
du le 29/04/03 ;
reporté 10/03.

Visite annuelle : due le 31/12/03.

Visite intermédiaire : due le 31/12/03.

On note :

Visite du 08/06/03 :

Plafond de ballast bosselé. La traverse de plancher et la lisse de fond endommagées dans le ballast en double fond n°3 tribord au niveau du couple 135 doivent être spécialement examinées et traitées si nécessaire.

Fuite en haut du ballast 6 tribord (réparée temporairement) doit être examinée spécialement et traitée si nécessaire.

Le navire devait aussi satisfaire aux règles 12 et 13 du chapitre XII de la convention SOLAS « mesures de sécurité supplémentaires applicables aux vraquiers ».

Règle 12 : Détecteurs de niveau dans les cales, les espaces à ballasts et les espaces secs ; au plus tard à la date de la visite annuelle, de la visite intermédiaire ou de la visite de renouvellement postérieure au 1^{er} juillet 2004, selon celle qui intervient en premier.

Règle 13 : Disponibilité des systèmes d'assèchement ; au plus tard à la date de la première visite intermédiaire ou renouvellement qui doit être effectuée après le 1^{er} juillet 2004, mais dans tous les cas au plus tard le 1^{er} juillet 2007.

Le navire était équipé de thermocouples pour la mesure de température dans les cales.

3.2 Contrôles par l'Etat du port

PSC		Port			Nombre de
Organisation	Autorité	d'inspection	Date	Immobilisation	déficiences
Paris MoU	Grèce	Pirée	31/01/02	Non	17
Paris MoU	Grèce	Pylos	17/03/01	Non	3
Tokyo MoU	Russie	Vladivostok	28/08/00	Non	0
Paris MoU	Russie	Novorossiysk	25/02/98	Non	5

Les déficiences relevées lors de la visite du 31/01/2002 portaient sur :

- Equipage et emménagements : 1
- Engins de sauvetage : 1
- Sécurité incendie : 2
- Sécurité en général : 5
- Alarmes signaux : 1
- Lignes de charge : 5
- Sécurité de la navigation : 1
- ISM : 1

Visite du 29/08/04

Au cours de l'escale à Durban du 29 août au 4 septembre, une visite a été faite par les autorités maritimes sud africaines pour essayer de déterminer les raisons de l'échauffement de la cargaison de DRI.

Visite spéciale du 15 septembre à la Réunion, le navire au mouillage en baie de Saint Paul.

Dans ce rapport on relève un mauvais état des cales avec une corrosion importante.

Le gestionnaire nautique PACIFIC & ATLANTIC gère une flotte de 22 navires composée de :

- 5 vraquiers âgés de 15 à 20 ans,
- 16 navires de divers âgés de 15 à 23 ans,
- 1 porte conteneurs de 15 ans.

La majorité des navires sont immatriculés à Chypre, seuls 4 navires sont immatriculés à Malte (navires de divers).

Ils sont tous classés par des Sociétés de Classification membres de l'IACS comme American Bureau of Shipping (ABS), Bureau Veritas (BV), Germanischer Lloyd (GL), Lloyd's Register of Shipping (LRS).

Au cours des trois dernières années, 6 navires ont été immobilisés pour un total de 132 inspections. 65,22 % des inspections avec des déficiences, mais 4,35 % avec des immobilisations.

4 EQUIPAGE

L'équipage est composé de 22 personnes. Le capitaine ainsi que les autres membres de l'équipage sont philippins. Le subrécargue présent à bord est originaire de Trinidad.

Le capitaine a la qualification de master marinier.

5 CONDITIONS DE TRANSPORT DU DRI A BORD DE L'ADAMANDAS

5.1 Cargaison du navire

La charte partie date du 10 juillet 2003.

Selon le connaissance établi le 5 août 2003 le chargement est composé de 20 894,98 tonnes de boulettes de fer obtenu par réduction directe (DRI).

La composition du produit livré par CARRIBEAN ISPAT LTD est généralement la suivante :

- Fer total : 91 – 93 %
- Fer métallique : 84 – 89 %
- CaO : 0,6 – 1,5 %
- MgO : 0,2 – 0,6 %
- SiO₂ : 1,0 – 2,0 %
- Al₂O₃ : 0,5 – 1,0 %
- MnO : 0,2 % maximum
- TiO₂ : 0,15 % maximum
- Carbone : 1,5 – 2,5 %
- Soufre : 0,0035 % maximum
- L ou H : 0,06 % maximum

5.2 Vérification de l'aptitude du navire avant le chargement

Une inspection du navire par l'autorité compétente de Trinidad & Tobago a eu lieu le 31 juillet 2003. Un essai d'étanchéité à l'eau a été effectué pour vérifier l'étanchéité des cales et leur aptitude au chargement de DRI.

Deux représentants de l'autorité compétente étaient présents lors de cette inspection.

Celle ci a commencé à 12h40 et s'est achevée à 14h30.

- Tous les panneaux des cales 1, 2, 3, 5, 6 ont été prouvés étanches.
- Tous les puisards de cale bâbord et tribord étaient secs et propres.
- Toutes les cales inspectées étaient propres, sèches et prouvées étanches.

- Tous les puisards de cale étaient rendus étanches.
- Le navire a été reconnu apte au transport de DRI dans les cales inspectées.

Des thermocouples ont été installés et disposés de la façon suivante :

Au fond de la cargaison (juste au dessus du plafond de ballast)

- TC1 (à l'avant bâbord) – TC2 (à l'avant tribord) – TC3 (au milieu) – TC4 (à l'arrière bâbord) -TC5 (à l'arrière tribord).

Au milieu de la cargaison (à 4m au dessus du fond de la cale)

- TC6 (au milieu) – TC7 (à l'arrière bâbord) – TC8 (à l'arrière tribord).

5.3 Instructions du chargeur au capitaine

Le 31 juillet, le capitaine de l'*ADAMANDAS* reçoit les instructions et recommandations du chargeur CARRIBEAN ISPAT LTD qui doivent être suivies pendant le transport du DRI de Point Lisas (Trinidad) à Surabaya (Indonésie) et pendant le déchargement.

Ces instructions sont les suivantes :

1. La température et les teneurs en hydrogène des cales doivent être mesurées et enregistrées pendant le voyage à des intervalles réguliers ne dépassant pas 8 heures. Les relevés doivent être faits par le subrécargue, en présence d'un représentant du capitaine.
Si la cargaison est stable, et avec l'accord du capitaine, le contrôle peut être ramené à deux fois par jour : à 08h00 et à 16h00.
2. Les relevés quotidiens de toutes les données doivent être transmis régulièrement au chargeur et à l'affréteur.
3. Toute valeur anormale relevée par le subrécargue doit être immédiatement signalée au chargeur et à l'affréteur.
4. Ecoutilles – les panneaux d'écouille et les ventilateurs des cales doivent être maintenus fermés étanches pendant le voyage, excepté dans les circonstances suivantes : si l'élévation du niveau d'hydrogène dans une cale dépasse 1%, la cale doit être ventilée jusqu'à ce que le niveau redescende en dessous de 1%.

5. Si la température d'un thermocouple quelconque augmente jusqu'à 150° C même 100°C, la ventilation doit restée coupée. Si la température continue à augmenter jusqu'à 200°C pour plus d'un thermocouple, il faut rallier le port le plus proche. Toutefois, si le port le plus proche ne peut être atteint, le noyage de la cale doit être envisagé aussi rapidement que possible tout en faisant route vers le port le plus proche.
Mais le noyage de la cale avec de l'eau ne doit être envisagé qu'en dernier recours.
6. Le subrécargue a reçu les instructions pour coopérer et proposer ses conseils si nécessaire.
7. Si la température d'un thermocouple sur le plafond de ballast au dessus des soutes à combustible vides dépasse 85°C, les ballasts en double fond doivent être complètement remplis d'eau.
8. L'alimentation électrique dans le "duct keel" doit restée débranchée (si elle existe).
9. Les détecteurs de fumée ne doivent pas être utilisés (s'ils sont installés).
10. Les aspirations aux puisards d'assèchement doivent restés débranchées sauf en cas d'urgence.
11. Une recharge de ruban adhésif d'étanchéité doit être disponible pour être utilisé en cas de besoin.
12. Toutes les citernes de ballast doivent rester vides jusqu'au déchargement complet. Dans l'éventualité où un ballastage deviendrait nécessaire pendant le déchargement, il devrait être limité aux ballasts à proximité des cales vides et de tels ballasts ne devraient pas être tassés.
13. Pendant le déchargement, les précautions identiques à celles du chargement doivent être observées pour éviter une mouille de la cargaison.

14. Toute action concernant la cargaison doit être entreprise en concertation avec le représentant à bord de l'expéditeur
15. Après une période de pluie, pendant le chargement, les dégagements des panneaux d'écoutes doivent être séchées par soufflage pour éviter les gouttes d'eau pendant la réouverture. Si cela n'est pas possible, un prélat devra être posé sur le panneau avant le chargement.

6 CHRONOLOGIE DE L'ÉVÈNEMENT

6.1 Arrivée et le chargement à Trinidad

Le 30 juillet 2003 :

Arrivée du navire à Point Lisas Trinidad.

Le 31 juillet 2003 :

Inspection des cales. Le certificat relatif à l'aptitude des cales du navire à charger du fer obtenu par réduction directe (DRI), est délivré par les autorités de Trinidad.

Le 3 août 2003 :

Le navire accoste au quai de chargement. Il reçoit la visite d'un représentant du Lloyd's Register qui délivre un certificat intermédiaire et d'approbation pour le transport du DRI.

Le 6 août 2003 :

L'*ADAMANDAS* quitte Trinidad avec à son bord 21 000 tonnes de billes de fer désoxydé à destination de l'Indonésie. La cargaison est placée sous gaz inerte (azote).

Les températures de la cargaison pour l'ensemble des cales varient de 31 à 50°C (TC6 cale 2) ; Il n'y a aucun dégagement d'hydrogène.

Ses prévisions d'arrivée sont : Durban le 26 août , Surabaya le 12 septembre.

6.2 Escale à Durban

Le 29 août 2003 :

A 09h00 : le navire arrive à Durban pour y faire les approvisionnements et les soutes. Il accoste au poste 104 pour soutage.

Vers 15h00 : le navire étant à quai, lors du relevé des températures, le subrécargue constate que celles de la cale 2 ont fortement augmenté. Elles dépassent 250°C avec une teneur en O₂ de 17,9% et une teneur en H₂ de 33 ppm. Il en informe le capitaine qui prévient le P&I, lequel à son tour en avise la South African Maritime Safety Agency (SAMSA) à 18h00.

Un inspecteur de SAMSA se rend à bord à 18h30. Celui ci avise le capitaine qu'il ne pourra pas appareiller tant que les températures et les teneurs en oxygène ne seront pas redescendues à des limites acceptables.

Un inertage à l'azote de la cale 2 est décidé.

A 22h00, début d'une première injection d'environ 3,5 tonnes d'azote liquide gazéifié. L'opération s'achève le 30 août à 06h00.

Le 30 août 2003 :

A 10h00, 20 tonnes d'azote supplémentaires sont approvisionnées et injectées de 15h00 à 21h30. Un relevé à 22h00, montre que les températures ont fortement baissé. Mais 2 thermocouples (TC3 et TC5) affichent encore une température respectivement de 102°C et 124°C ; ce qui est largement supérieur à la limite acceptable de 65°C.

Le chargeur avait d'ailleurs informé qu'une stabilisation des températures ne serait atteinte que 48 h après l'injection d'azote et avait demandé que 20 tonnes d'azote supplémentaires soient disponibles.

Les températures continueront à baisser pendant les 24 heures suivantes.

Le 1^{er} septembre 2003 :

A 12h00, le relevé de températures montre que le thermocouple TC8 a augmenté, dépassant les 100°C.

Les températures restent stables pendant les 24 h suivantes, avec 3 thermocouples qui enregistrent des valeurs égales ou supérieures à 60°C.

Les armateurs décident d'injecter une nouvelle fois 20 tonnes d'azote. Pour cela, le navire fait mouvement vers Island View, où l'azote pourrait être injecté à un débit plus élevé.

Après ce complément d'inertage, les niveaux de H₂ et de O₂ sont plus bas que ceux enregistrés précédemment.

Le 3 septembre 2003

Vers 08h00, toutes les températures se stabilisent en dessous du maximum de 65°C.

Le 4 septembre 2003

Le navire est au mouillage à Durban. Les températures et les niveaux d'H₂ et de O₂ sont stabilisés.

Le 5 septembre 2003

Vers 15h00, le navire appareille de Durban.

Les autorités maritimes sud africaines avaient suggéré que le navire attende quelques jours supplémentaires pour s'assurer que les températures de la cale 2 soient bien stabilisées, mais leur avis n'a pas été suivi.

Le navire a appareillé 24h après que les températures soient redescendues au dessous du maximum recommandé.

6.3 Voyage Durban – Surabaya

Les 6, 7 et 8 septembre les conditions météo se sont dégradées.

Le 9 septembre 2003

Le navire fait route, la température de la cale n°2 monte à 380°C. L'autorité compétente conseille au capitaine d'arroser la cargaison avec de l'eau douce.

Le 10 septembre 2003

Le capitaine reçoit un message de l'autorité compétente également adressé aux armateurs, donnant son avis pour enrayer l'élévation de température dans la cale n°2, dans le cas où la température monterait rapidement et dépasserait 450°C .

Ce n'est qu'un avis, la décision finale appartenant à l'armateur et au capitaine du navire.

Le bord procède, selon les instructions reçues, à l'arrosage de la cale 2 avec de l'eau douce (au total 2 tonnes d'eau). La température diminue mais le dégagement de H2 augmente.

La température monte à 820°C et la concentration d'hydrogène passe à 100%. A 22h30, le capitaine envisage de rejoindre l'île Maurice. Compte tenu de l'amélioration de la météo et des températures élevées constatées dans la cale 2, il décide finalement de rallier La Réunion.

Le 11 septembre 2003 :

A 14h31 (heure locale)

Pacific Atlantic Corp adresse un courriel à l'agent consignataire Indoceanic Services à La Réunion l'informant que l'ADAMANDAS doit se détourner à Port Réunion car les températures de la cale n°2 ont considérablement augmenté. L'armateur demande s'il y a des installations pour recevoir le bateau, si de l'eau et de l'azote sont disponibles. Dans l'affirmative, il demande à l'agent consignataire de désigner un expert et de le prévenir pour qu'il soit présent à l'arrivée du navire.

Les heures suivantes sont données en heures UTC.

A 12h45

Le COSRU reçoit un appel de l'agent consignataire pour une demande d'escale d'un navire transportant du DRI à bord duquel une élévation importante de température de la cargaison a été constatée dans la cale 2, afin de s'approvisionner en eau douce et en azote.

La capitainerie du port informée de la demande, souhaite alors un complément d'information sur le DRI, et confirme qu'il n'y a pas de place à quai disponible avant le 15 septembre.

[A 12h55](#)

Le navire précise sa situation : il transporte 21 000 t de DRI et une forte augmentation de température s'est manifestée dans la cale 2, les températures relevées par certains thermocouples sont de l'ordre de 250°C.

[A 13h32](#)

Le COSRU envoie un télex au capitaine du navire, accusant réception de sa demande d'escale. Pour que celle-ci soit examinée, il est nécessaire de connaître la raison de cette augmentation de température dans la cale 2, ce qu'est le DRI, la position du navire, son cap, sa vitesse et le nombre de personnes à bord.

[A 14h11](#)

Réponse du capitaine au COSRU : l'augmentation de température dans la cale 2 est due aux caractéristiques de la cargaison, le DRI désigne le fer obtenu par réduction directe, sa position est : 23°10' S – 056°01' E, cap 012, vitesse 11,5 nœuds, 22 membres d'équipage.

Le DIRCOS et le COMAR sont informés.

[A 14h50](#)

L'agent consignataire demande si le navire est autorisé à mouiller en baie de Saint Paul.

[A 14h55](#)

Le CODIS est prévenu.

[A 16h24](#)

Le COSRU envoie un télex au bord lui demandant s'il y a un risque d'explosion ou de feu, la quantité de DRI contenue dans la cale 2 et s'il a besoin d'eau douce.

[A 16h56](#)

Réponse du navire au COSRU : la cale 2 contient 4 200 t de DRI, pas de risque d'explosion ou de feu, probablement dégagement de chaleur, l'eau douce a été demandée par l'autorité compétente.

A 17h11

Réunion d'un groupe de travail DIRCOS, COMAR, Préfet et CODIS pour émettre un avis sur la demande d'escale du navire.

Des informations complémentaires sont demandées par le COSRU au capitaine de l'*ADAMANDAS* concernant :

- la nature de la cargaison précédente,
- la cause de la réaction de combustion,
- le moyen par lequel l'élévation de température a été détectée,
- la position longitudinale de la cale 2 par rapport au compartiment machine et aux citernes à combustible,
- le volume de la cale en cause,
- l'opération envisagée à bord pour laquelle de l'azote a été demandé.

Le capitaine est aussi informé qu'en cas d'escale à La Réunion, le navire serait soumis à un contrôle par l'Etat du port afin d'évaluer le risque et sa navigabilité avant l'appareillage.

A 17h29

L'agent consignataire communique au COSRU les coordonnées de l'armateur Pacific & Atlantic.

Réception de la réponse de l'armateur à la demande de renseignements du COSRU :

- cargaison précédente : soja
- détection de l'élévation de température : un subrécargue est embarqué pour contrôler les températures de tous les thermocouples ainsi que les teneurs en H₂ et O₂ de la cargaison pendant toute la durée du voyage.
- Position longitudinale de la cale par rapport au compartiment machine et aux citernes à combustible : la cale 2 se trouve à 77 mètres de la machine et à 20 mètres de la citerne à combustible la plus proche.
- Volume de la cale 2 : 5 082 m³.
- Le but de l'opération à bord pour laquelle l'azote est demandé est de refroidir la cargaison.
- Nationalités : équipage et capitaine philippins, subrécargue Trinidad et Tobago.

L'armateur n'a pas d'objection à ce que le navire soit soumis à une visite de l'Etat du port à son arrivée et au départ. Il rappelle que le navire a été contrôlé avec « succès » à Durban le 5 septembre.

[A 17h42](#)

L'agent consignataire est informé que le préfet remet au lendemain la décision d'autoriser ou non le navire à faire escale.

[A 20h04](#)

Le COSRU envoie un télex au navire demandant de lui communiquer l'évolution des températures de la cale 2 durant les 6 dernières heures et de transmettre sa position, son cap et sa vitesse toutes les 4 heures.

[A 21h46](#)

Le navire communique au COSRU les températures relevées dans la cale 2 à 17h30.

TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9
63	110	44	288	70	231	203	205	36

6.4 Escale à La Réunion

Le 12 septembre 2003 :

[A 02h00](#)

Le navire est à la position 21°41,6' S – 055° 23,7' E, en dehors des 12 milles, et attend l'accord pour venir en baie de Saint Paul.

[A 03h35](#)

Le DIRCOS informe le CODIS que le navire est autorisé à venir au mouillage.

[A 03h46](#)

L'agent consignataire informe le COSRU de l'arrivée ce matin d'un représentant de l'armateur et d'un expert de l'assureur pour proposer et mettre en œuvre des solutions.

[A 07h00](#)

Embarquement de l'équipe d'évaluation pluridisciplinaire à bord du navire. Cette équipe est composée de :

- un inspecteur de la sécurité des navires ;
- un pilote ;
- trois officiers du SDIS dont un chimiste ;
- un représentant du COMAR (AEM).

[A 11h03](#)

L'équipe d'évaluation est de retour au port.

[A 15h28](#)

Suite à la réunion de debriefing avec le COMAR le navire est autorisé à mouiller à la position 20°54,5' S – 055° 20,5' E (à 0,7 milles de la Pointe de la Ravine à Malheur) dans l'attente de l'analyse de la situation par les experts de l'armateur et de l'affréteur.

[A 18h18](#)

Le navire est au mouillage avec les directives de sécurité suivantes :

- présence de tout l'équipage à bord ;
- le navire doit rester prêt à appareiller ;
- la drome de sauvetage prête à être mise en œuvre ;
- les panneaux de la cale 2 déverrouillés ;
- la communication par fax ou télex toutes les 4 heures de la situation de la cale 2 : températures, teneurs en H2 et O2, niveaux d'eau dans les puisards.

Le patrouilleur La Jonquille est mis en alerte SECMAR à une heure.

[A 19h50](#)

Le COSRU adresse un courriel aux autorités du port de Trinidad et Tobago les informant de la situation du navire et leur demandant le mode opératoire pour l'inertage de la cargaison.

[A 20h45](#)

Les derniers relevés de la cale 2 sont transmis au CODIS.
10 bouteilles de 10 m3 d'azote ont été commandées.

Le 13 septembre 2003 :

[A 03h54](#)

Début des opérations de logistique avec la terre par l'intermédiaire du remorqueur portuaire l'Abeille Mahavel : transfert de six bouteilles d'azote et de détendeurs. Embarquement du représentant de l'armateur.

[A 06h15](#)

Les prévisions météo pour les prochaines 72 heures sont transmises au capitaine du navire : avis de houle de Sud –Ouest de 2,5 m et plus

[A 07h30](#)

Embarquement de l'expert spécialiste sécurité / incendie des assureurs. Un représentant de l'affréteur est aussi sur place.

[A 12h00](#)

Rapport des experts qui préconisent :

- Ventilation naturelle des cales sans ouverture des panneaux
- Inertage à l'azote prévu dimanche à partir des 6 bouteilles
- Embarquement de 40 t d'azote liquide pour inertage à quai
- Embarquement d'une cuve de 6 t d'azote pour entretenir l'inertage pendant le transit.

A 17h00

A l'issue d'une réunion des différents services concernés, le préfet délégué pour l'action de l'Etat en mer décide, après avoir entendu les conclusions partielles des représentants de l'assureur, de l'armateur et de l'expert incendie, que l'autorisation d'entrer au port pour effectuer l'inertage sera conditionnée par :

- un taux d'hydrogène inférieur à 20% de la limite d'explosivité,
- des températures des cales maîtrisées
- l'existence de solutions techniques pour réaliser l'inertage

Le 15 septembre 2003 :

Une nouvelle investigation est menée par l'équipe d'évaluation, pour s'assurer que les mesures de ventilation préconisées par l'expert de l'assureur ont été suivies d'effet. Elle constate une baisse des températures et du taux d'hydrogène dans la cale 2, mais une légère élévation de ces paramètres dans la cale 3. L'accueil au port n'est pas possible dans ces conditions, et en l'absence d'intervention significative et efficace des responsables du navire pour le sécuriser, le préfet décide des mesures suivantes :

- mise en demeure de l'armateur de rétablir une situation normale pour le mercredi 17 septembre à 12h00 (locale) ;
- audition du capitaine de l'*ADAMANDAS* par la gendarmerie maritime, afin d'améliorer la connaissance de la situation et pour lui rappeler ses responsabilités en matière de sécurité ;
- convocation de l'agent consignataire pour être informé des mesures concrètes à court terme que la cellule d'experts privés envisage de prendre ;
- saisine de la société de classification (Lloyd's Register) et de l'Etat du pavillon (Chypre) pour imposer au navire les mesures permettant une navigation conforme aux règlements édictés par ces deux entités ;
- demande de l'intervention de l'INERIS qui met en place un comité de suivi de la situation afin de permettre aux autorités de valider les solutions envisagées par l'armateur.

Le 16 septembre 2003 :

La situation est stabilisée au niveau de la cale 3 mais reste sensible sur la cale 2 en raison des opérations de ventilation qui, si elles permettent de réduire le taux d'hydrogène, ravivent la combustion lente et donc la température en certains points de la cargaison.

Le 17 septembre 2003 :

La température monte jusqu'à 544°C en un point de la cargaison.

Les armateurs adressent un courrier au Préfet dans lequel ils attirent son attention sur le fait que, lors de la réunion du 13 septembre, les experts ont proposé l'injection directe d'azote liquide au dessus de la cargaison au moyen d'un tuyau en inox adapté.

Les parties considèrent que, compte tenu des circonstances, c'est la meilleure option à moins qu'un évaporateur soit disponible rapidement.

Elles ont cru comprendre que les autorités françaises refusent la solution de l'injection directe d'azote liquide.

Toutefois ils craignent que ce refus et l'absence d'un évaporateur ne se traduisent par un feu.

Si un feu survient, il y aura un grand risque pour le navire et la seule alternative sera de noyer la cale rapidement avec de l'eau pompée à terre, le navire ne disposant pas de moyens de pompage suffisants.

Si la cale est noyée, le navire ne pourra pas reprendre la mer et la cargaison devra être déchargée à La Réunion.

Dans cette éventualité, la préparation d'un plan d'urgence par les autorités serait appréciée.

Le 18 septembre 2003 :

La situation est stable. Les opérateurs privés réunis par l'armateur privilégient une solution à quai par inertage à l'azote. Mais l'accès à quai est subordonné au retour à des valeurs de sécurité des températures et de la teneur en hydrogène, car le caractère vital du port unique de la Réunion impose des contraintes de sécurité élevées.

En raison de l'absence de mesures efficaces prises par l'armateur, le préfet lui adresse une nouvelle mise en demeure.

Le 19 septembre 2003 :

L'armateur n'a officiellement avancé aucune proposition. A 04h30, une élévation de température à 580°C en un autre point de la cale 2 est constatée. Cette température va monter jusqu'à 619°C et ne plus descendre en dessous de 590°C jusqu'à la fin des contrôles le lendemain.

Le 20 septembre 2003 :

La situation évolue défavorablement, la cargaison de la cale 1 qui jusqu'alors ne posait aucun problème commence à produire de l'hydrogène. Le préfet ordonne la mise en place de moyens de sauvetage et demande au capitaine d'écartier son navire de la côte tout en le maintenant dans les eaux territoriales.

Le P&I demande l'intervention de SMIT TAK.

Le 21 septembre 2003 :

Vers 00h30, l'*ADAMANDAS* est pris en remorque par le remorqueur Abeille CILAOS. L'équipage est entièrement évacué à terre. L'après-midi, à l'issue d'une longue réunion (de 14h00 à 18h00) avec l'ensemble des interlocuteurs privés dont dépendent l'*ADAMANDAS* et sa cargaison (armateur, affréteur, capitaine du navire, assureurs et experts) aucune solution technique rapide sûre et efficace n'est proposée par l'armateur répondant aux attentes de l'Etat en matière de délais et de sécurité. De surcroît, des différences d'appréciation dans l'analyse de la situation, apparaissent entre les différents responsables privés. A 23h45, après avoir reçu en soirée une télécopie du Secrétariat Général de la mer n'émettant pas d'objection sur la conduite à tenir définie par le préfet, ce dernier émet un arrêté de destruction du navire dans les délais compatibles avec la sécurité des intervenants, afin de mettre fin au danger.

La décision est notifiée aux intéressés, ainsi qu'à l'Etat du pavillon.

Le 22 septembre 2003 :

Le navire est immergé par des moyens militaires à la position 20°56,7' S – 54°59,9' E par 1750 m de fond à 13,5 milles dans le 295 de Saint Gilles les Bains.

Arrivée de SMIT TAK.

7 DETERMINATION & DISCUSSION DES FACTEURS DU SINISTRE

La méthode retenue pour cette détermination a été celle utilisée par le *BEA*mer pour l'ensemble de ses enquêtes, conformément à la résolution OMI A849-20 modifiée par la résolution A.884-21.

Les facteurs en cause ont été classés dans les catégories suivantes :

- facteurs naturels ;
- facteurs matériels ;
- facteur humain.

Dans chacune de ces catégories, les enquêteurs du *BEA*mer ont répertorié les facteurs possibles et tenté de les qualifier par rapport à leur caractère :

- certain, probable ou hypothétique,
- déterminant ou aggravant,
- conjoncturel ou structurel,

avec pour objectif d'écartier, après examen, les facteurs sans influence sur le cours des événements et de ne retenir que ceux qui pourraient, avec un degré de probabilité appréciable, avoir pesé sur le déroulement des faits. Ils sont conscients, ce faisant, de ne pas répondre à toutes les questions suscitées par ce sinistre. Leur objectif étant d'éviter le renouvellement de ce type d'accident, ils ont privilégié, sans aucun *a priori*, l'analyse inductive des facteurs qui avaient, par leur caractère structurel, un risque de récurrence notable.

7.1 Contraintes extérieures

7.1.1 Conditions du chargement

D'après l'armateur, il y aurait eu une période de pluie pendant l'escale du navire à Point Lisas.

En effet, on note dans le journal de chargement qu'il a plu les 4 et 5 août, mais que pendant cette période, les cales ont été fermées.

La cargaison était acheminée au moyen d'un convoyeur sur une distance de 2 à 3 km. La cale 2 a été chargée la première et il est possible que ce soit avec le dessus du tas qui pouvait être mouillé.

La fermentation de déchets de la cargaison précédente est une autre hypothèse : la cale avait été précédemment chargée de tourteaux de soja qui peuvent produire une fermentation si la cale n'a pas été convenablement nettoyée. Le DRI n'est pas compatible avec des matières organiques.

Cependant, lors de l'inspection avant chargement, l'état des cales a été jugé satisfaisant pour le transport du DRI par l'autorité compétente.

En ce qui concerne le produit lui-même, d'après l'armateur, il aurait été passivé par chauffage. La température au moment du chargement était comprise entre 33°C et 50°C. Les consignes de chargement précisent que le produit ne doit pas être chargé si sa température est supérieure à 65°C.

7.1.2 Conditions météo pendant le voyage

Dès le 10 août, le subrécargue note dans son journal de cargaison, des passages continus d'embruns sur le pont, une mer houleuse (creux de 4m) et des vents forts. Ces conditions se poursuivent les jours suivants.

Elles s'aggravent à partir du 14 août.

Le capitaine a mentionné dans son rapport de mer les mauvaises conditions météorologiques rencontrées par le navire les 15, 16, 23, 24, 25, 26 et 27 août 2003. Il est relevé que le navire roulait et tanguait lourdement, dans une mer forte et des vents de force 5, 6, 7 et 8 sur l'échelle de Beaufort. Le bateau embarquait des paquets de mer sur le pont principal qui venaient frapper les hiloires de cales et les embruns passaient par dessus les panneaux de cales.

C'étaient les panneaux des cales 1, 2 et 3 qui étaient les plus exposés aux paquets de mer.

Aucun relevé n'a pu être fait entre le 24 et le 26 août compte tenu de l'état de la mer, le subrécargue ne pouvant aller sur le pont pour accomplir ses tâches en toute sécurité.

A partir du 28 août les conditions météo s'améliorent.

Le 5 septembre, les conditions météo se dégradent à nouveau.

Le 6 septembre, après l'escale de Durban, le navire faisant route vers l'Indonésie, les conditions météo sont à nouveau défavorables avec des paquets de mer qui balayent le pont de bâbord à tribord, beaucoup d'embruns et un vent très fort.

Ces conditions se maintiennent jusqu'au 10 septembre, au point que le navire doit changer de route le temps de faire les relevés.

Elles ont aussi gêné les opérations de ventilation de la cale 2.

Ce n'est que le 11 septembre que les conditions de mer s'améliorent.

7.1.3 Conditions météo au mouillage à La Réunion

Le 21 septembre, les conditions météo se dégradent : vent de secteur Est force 5, mer 4.

7.2 Evolution des températures de la cargaison et des émissions d'hydrogène

Depuis le 8 août, on observe que les températures du milieu de la cargaison augmentent régulièrement de 1°C par jour. Cette évolution se poursuit jusqu'au 16 août, date à partir de laquelle elles se stabilisent.

D'une manière générale, on note une fluctuation des températures. Cette variation peut être due en partie aux thermocouples eux-mêmes dont la fiabilité de certains ne semblait pas assurée, au réchauffage du fioul dans les ballasts contigus aux cales et à la variation de la température de l'eau de mer dont l'influence est plus sensible en bas de la cargaison.

En examinant l'évolution des températures de la cale 2 entre le 6 août 2003 et le 28 août 2003, on constate que la plupart des thermocouples sont stables, toutefois, le TC6 montre une tendance à la hausse en augmentant de 1 à 2°C tous les jours et le TC7 a tendance à augmenter au début du voyage pour diminuer ensuite..

Le TC6 est le seul qui augmente au delà de 60°C et se stabilise après le 29 août.

Pendant 23 jours les températures de la cale 2 sont restées à des valeurs acceptables, inférieures à 65°C, comparables à celles des autres cales.

Les plus fortes températures ont été relevées en TC6 et TC7.

C'est le 27 août que pour la première fois, on relève une teneur en H₂ de 24 ppm dans la cale 2. Ce qui est l'indice du début d'une réaction de re-oxydation de la cargaison et donc la présence d'eau.

La teneur en O₂ de la cale 2 est de 12,5%, ce qui signifie que l'inertage a pratiquement disparu.

Il n'y avait pas d'émission d'hydrogène avant le 27 août 2003.

Le 28 août, afin de réduire la teneur en H₂, on procède à une ventilation naturelle de la cale 2 en ouvrant les panneaux des trous d'homme avant et arrière.

Après ventilation, le niveau de H₂ descend à 15 ppm mais la teneur en O₂ passe à 17,3%.

C'est le 29 août, lors de l'escale à Durban, que l'on constate une élévation des températures de la cale 2 au dessus de 200°C et une teneur en H₂ de 21 ppm, malgré la ventilation.

Le 30 août, la teneur en H₂ monte jusqu'à 33 ppm. Début de l'envoi d'azote (15t), la teneur en O₂ descend à 5,2%.

Le 31 août, l'inertage est achevé, la teneur en H₂ n'est plus que de 4 à 7 ppm et celle en O₂ de 0,6%.

Dès le premier envoi d'azote le 30 août et le 31 août, les températures de la cale 2 ont diminué. Toutefois, le TC8 s'est maintenu aux alentours de 100°C avec des variations.

Le 1^{er} septembre, la teneur en H₂ remonte à 13 ppm, celle en O₂ reste inchangée (0,6%).

Après un nouvel inertage à l'azote de la cale 2 le 2 septembre (20 t), la teneur en H2 est de 0 ppm, celle de O2 de 0,1%, les températures de la cargaison ont également diminué.

Les 3 et 4 septembre, toutes les températures sont redescendues à des valeurs normales, la teneur en H2 est comprise entre 5 et 8 ppm et paraît s'être stabilisée. Celle en O2 est stable à 0,1 - 0,2%.

Dès le 5 septembre, jour de l'appareillage du navire de Durban, on assiste à une remontée du niveau d'H2 et de O2 respectivement de 14 à 17 ppm et de 1% qui s'accroissent le 7 septembre (46 ppm et 1,9%) et le 8 septembre (68 ppm et 1,8%), date à laquelle la température indiquée par TC4 monte à 124 - 160°C.

Le 7 septembre, le subrécargue procède à une ventilation de la cale 2 pendant environ 20 minutes pour évacuer le H2.

Le 8 septembre, le TC4 varie entre 124°C et 160°C.

Le 9 septembre TC2 et TC6 montent respectivement à 90°C et 390°C, le niveau de H2 atteint 100 ppm et O2 3%.

Le 10 septembre on note une aggravation de la situation.

Si le niveau de H2 reste à 100 ppm, les températures atteignent 120°C pour TC2 et 820°C pour TC4.

A noter que depuis le début, la partie de la cargaison au dessus de TC4 n'a pas été le siège de réaction de reoxydation, les températures sont restées stables.

Le 11 septembre, le niveau de H2 diminue à 15h00 à 40 ppm, mais on observe une augmentation générale des températures de la cale 2.

	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9
Matin	58	108	150	661	61	256	233	225	30
Après midi	66	135	59	285	70	246	244	162	34

Le 12 septembre à 23h00 la teneur en O2 est de 11,1% et celle de H2 de 100 ppm. En ce qui concerne les températures, on note les valeurs suivantes :

Pour la cale 2	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9
	64	83	74	265	148	165	113	109	35
Pour la cale 3	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9
	24	169	24	22	23	64	31	35	25

Les différents relevés montrent que la teneur en H2 de la cale 2 s'est stabilisée à 100 ppm du 9 au 14 septembre à 7h00. La teneur en O2 de la cale 2 est passée pendant la même période de 3% à 11,6% maxi en raison de la ventilation pour réduire la teneur en H2.

Les températures de la cale 2 pour la période du 9 au 14 septembre ont varié de 854°C pour TC4 (valeur la plus élevée le 10 septembre) à 44°C pour TC3 (valeur la plus faible relevée le 11 septembre à 17h30).

La teneur en H2 diminue à partir du 14 septembre à 15h00 jusqu'au 17 septembre à 8h30, elle varie entre 31 et 41 ppm. Par contre, les températures les plus hautes relevées le 17 septembre à 8h30 sont TC6 (458°C), TC3 (453°C) et TC8 (445°C). La teneur en O2 quant à elle varie entre 14,8% et 17%.

Si le chargement d'une cargaison mouillée pendant son stockage à l'extérieur n'est pas exclu, c'est après une période de mauvais temps que l'augmentation de température a été détectée avant Durban et ensuite avant La Réunion.

Le DRI réagissant plus avec l'eau de mer, on peut donc faire une corrélation entre les conditions météo défavorables pendant la traversée et les premiers signes de dégagement d'hydrogène et d'augmentation de température.

Ceci peut être retenu comme **facteur déclenchant** de la réaction du DRI.

7.3 Défaillances matérielles

7.3.1 Défaut d'étanchéité du pont et des panneaux de cales

Le 28 août, les conditions météo s'étant améliorées, le subrécargue a effectué un contrôle des bandes d'étanchéité des panneaux des cales 1, 2, 3 et 5.

Certaines d'entre elles étaient endommagées et ont dû être remplacées.

Le 29 août 2003, le subrécargue mentionne la présence d'eau de mer entre les rubans d'étanchéité et la cale et dans le puisard de la cale n°2.

La visite faite à Durban par les autorités maritimes sud africaines a permis de constater que :

- le ruban adhésif utilisé pour assurer l'étanchéité des panneaux de cale était en mauvais état, décollé en plusieurs endroits sur la plupart des panneaux de cales. Le subrécargue a souligné le fait qu'avant qu'il soit appliqué, le ruban aurait dû être chauffé pour renforcer ses propriétés adhésives.
- le 30 août à 16h00, à l'occasion du sondage des puisards des cales, à la demande de l'autorité compétente, 5 cm d'eau ont été constatés dans le puisard tribord de la cale 2.

L'origine de cette entrée d'eau n'est pas connue mais on peut faire le rapprochement de cette présence d'eau avec les mauvaises conditions météo rencontrées par le navire les 15, 16, 23, 24, 25, 26 et 27 août 2003 et le fait que plusieurs tubes de sonde sur le pont principal étaient fermés au moyen de pinoches en bois au lieu de bouchons vissés réglementaires.

Le contrôle a montré que les filetages des bouchons et des tubes de sonde étaient arrachés.

La nature de la cargaison et l'émission d'hydrogène interdisaient tous travaux à chaud sur le pont, on y a alors remédié en collant des couvercles en PVC vissés sur les ouvertures des tuyaux de sonde.

Cette réparation provisoire a été jugée suffisante car le navire devait passer en cale sèche à la fin du voyage.

Par conséquent, la montée soudaine de la température qui est survenue pourrait être due à une infiltration d'eau de mer dans la cargaison durant la période de mauvais temps : entrée d'eau par des panneaux de cale non étanches mais aussi par le dalotage, les tubes de sonde.

Les augmentations de température ont commencé au bas de la cargaison et se sont ensuite propagées vers le haut.

La présence d'eau dans les puisards confirme que de l'eau a stagné dans le fond de la cale.

Le 2 septembre à 17h00, le subrécargue a relevé à nouveau 6 cm d'eau dans le puisard tribord de la cale n°2.

Lors de l'inspection du navire à Point Lisas, les puisards étaient secs.

L'infiltration d'eau de mer dans la cale, consécutive à un défaut d'étanchéité des panneaux de cale et du pont peut être considérée comme le **facteur déterminant** de la réoxydation du DRI.

7.3.2 Inertage

Les cales ont été inertées à l'azote en fin de chargement avant le départ du navire.

Si les cales ont été reconnues étanches à l'eau lors de l'inspection avant chargement, elles n'étaient néanmoins pas étanches au gaz.

De ce fait, la charge d'azote appliquée en fin de chargement a diminué progressivement en raison des fuites.

Ce phénomène est confirmé par les relevés quotidiens des teneurs en oxygène des cales, il est du reste souligné par le subrécargue dans son relevé du 7 août.

Le 6 août au départ du navire de Point Lisas, la teneur en O₂ varie entre 1% et 3,8% (2,3% pour la cale 2).

Le 7 août elle passe à :

Cale 1 : 8,4% ; cale 2 : 2,9% ; cale 6 : 9%.

Le 8 août :

Cale 1 : 11,6% ; cale 2 : 3,5% ; cale 6 : 12,4%.

L'inertage a donc fortement diminué dans la cale 1 et la cale 6.

Le 13 août, on note les valeurs suivantes :

Cale 1 : 18,5% ; Cale 2 : 7,5% ; Cale 5 : 6,5% ; Cale 6: 18,8% .

On peut donc considérer que l'inertage a disparu en une semaine dans les cales 1 et 6 et que la teneur en O2 des cales 2 et 5 est au dessus de la valeur de 5% recommandée par le recueil BC.

Le 16 août, les teneurs en O2 relevées atteignent :

Cale 1 : 19,2% ; Cale 2 : 9,8% ; Cale 5 : 8,7% ; Cale 6 : 19,2%.

L'inertage a donc fortement diminué dans les cales 2 et 5 en moins de 10 jours, qu'il est inexistant dans les cales 1 et 6 dont les conditions sont pratiquement celles de l'atmosphère.

L'augmentation de la teneur en O2 dans les cales 2, 3, 5 se poursuit jusqu'au 27 août, date à laquelle on note la présence de 24 ppm de H2 dans la cale 2. La teneur en O2 de la cale 2 est alors de 12,5%, l'inertage a disparu.

Le 28 août, on procède à une ventilation naturelle de la cale 2 pour réduire la teneur en H2 en ouvrant les panneaux des trous d'homme avant et arrière.

Après ventilation, le niveau de H2 descend à 15 ppm et la teneur de O2 monte à 17,3%.

Le 2 septembre, après le nouvel inertage H2 = 0 ppm, O2 = 0,1%.

Le 10 septembre H2 = 100 ppm ; O2 = 9,5%.

L'inertage n'existe plus en raison des opérations de ventilation suite à la reprise de la réaction.

Le navire ne disposait pas d'azote à l'état gazeux, ni d'installation de production d'azote. Une quantité importante de gaz étant nécessaire, l'azote doit donc être stocké à l'état liquide dans des conteneurs spéciaux.

L'injection d'azote dans les cales doit être fait à travers un évaporateur afin de convertir en premier l'azote liquide en gaz. L'injection directe d'azote liquide est dangereuse en cas de contact avec la structure du navire.

Le transport de bouteilles d'azote liquide par mer est cependant délicat. D'où l'impossibilité de faire un complément d'azote en cours de voyage.

Un nouvel inertage de la cale 2 a été fait à Durban. L'injection d'azote a été faite par le haut à partir d'un trou d'homme sous forme d'azote liquide gazéifié au moyen d'un évaporateur.

D'après le subrécargue, la quantité d'azote liquide demandée (45t) n'aurait pas été totalement livrée ce qui pourrait expliquer l'inefficacité de la mesure et la reprise du phénomène, moins de 2 jours après l'appareillage le 5 septembre.

La mauvaise étanchéité des cales a été à l'origine de la perte d'azote à laquelle s'est ajoutée la ventilation de la cale.

La disparition de l'inertage peut être considérée comme **facteur aggravant**.

8 RISQUES ENGENDRES

8.1 Pour le navire et son équipage

a) Fragilisation de la structure de la coque.

La structure du navire pouvait être fragilisée en raison des contraintes thermiques engendrées par les points chauds situés dans les fonds, résultant des températures dégagées par la réaction.

Ainsi, la température enregistrée entre le 10 et le 12 septembre par le thermocouple n°4 dans la cale 2 a atteint 820°C.

b) Risque de formation d'une atmosphère explosive (ATEX).

Les limites inférieures et supérieures d'inflammabilité de l'H₂ dans l'air sont respectivement de 4 et 75 %.

Entre ces deux limites, se trouvent les concentrations des mélanges aptes à propager la flamme.

En présence d'une source d'inflammation, une flamme va se propager dans le mélange H₂ – air.

Les mélanges susceptibles de détoner sont ceux dont la composition est comprise entre les limites d'aptitude à la détonation (18 à 59% pour H₂).

L'hydrogène est en partie consommé au fond de la cale par la température. Il est plus dangereux au niveau du ciel de la cale.

La raréfaction de l'O₂ dans la cale ne protège que très partiellement du risque d'explosion, lequel reste important tout de même du fait des mouvements du navire et des ripages de cargaison qui peuvent provoquer des étincelles.

Il faut donc prévenir toute source d'inflammation, y compris les décharges électrostatiques, l'énergie minimale d'inflammation étant extrêmement faible (quelques dizaines de microjoules). A noter que la température minimale d'auto-inflammation d'une ATEX air-H₂ est de 640°C.

Une explosion aurait un effet de souffle limité en rayon mais peut provoquer une cassure soudaine du navire dont la structure a pu être fragilisée par les contraintes thermiques.

8.2 Pour l'environnement

Le premier risque est un risque d'explosion de l'hydrogène. Le rayon dangereux de cette explosion dans le cas le plus majorant a été évalué par les experts de l'INERIS à 400 m autour du navire.

9 ACTION DE L'ETAT DU PAVILLON

L'enquête a été menée conjointement avec l'administration du pavillon (Chypre). Celle-ci a effectué un audit de la compagnie à la suite de l'accident.

Les prescriptions des autorités françaises pendant la gestion du sinistre ont toutes été adressées à l'Etat du pavillon et ont reçu son approbation.

10 ACTIONS DES SERVICES DE L'ETAT COTIER

Les autorités de l'Etat côtier ont pris toutes les dispositions nécessaires pour d'une part assurer la sécurité de l'équipage du navire et de la population, d'autre part préserver l'environnement.

10.1 Affaires Maritimes - Préfecture - COMAR

L'Etat côtier a agi par l'intermédiaire du Préfet, des services de l'état et d'organismes compétents.

Il a fait appel aux différents experts et aux services d'incendie et de secours.

Il a agi en concertation avec l'armateur et les parties privées.

Il devait préserver la liberté d'accès au port et protéger la population et l'environnement.

Vendredi 12 septembre 2003 : une équipe d'évaluation pluridisciplinaire est envoyée à bord du navire. Elle constate l'existence dans la cale n°2 d'un point chaud de l'ordre de 400°C en hausse régulière. Cette équipe se rend à nouveau à bord le lundi 15 septembre au matin et constate que l'état du navire, l'organisation de l'équipage et l'implication du capitaine ne sont pas satisfaisants.

Le préfet a demandé que les solutions proposées, en particulier l'inertage, soient validées par l'INERIS.

Le 15 septembre, il adresse un premier avis de mise en demeure à la société Pacific & Atlantic Corp.

Cet avis précise que la société Pacific & Atlantic s'attachera :

- « à prendre toute mesure permettant d'assurer la mise en œuvre des installations de sécurité (lutte contre l'incendie et drome de sauvetage / que se soit concernant le personnel ou le matériel),
- à faire diminuer par tout moyen préservant la sécurité des personnes et du navire, le taux de H2 présent dans toutes les cales, en particulier 1, 2, 3 jusqu'à atteindre un seuil inférieur à 0,8% d'H2, soit une mesure à l'explosimètre inférieure à 20% du seuil d'explosivité ».

Les autorités de l'Etat côtier ont suivi de près l'évolution de la situation du navire. Elles ont fourni les moyens d'assistance dont il disposait. Elles ont eu le souci d'éloigner le danger vis à vis des populations et de prendre les mesures nécessaires pour évacuer l'équipage.

L'évacuation de l'équipage a été effectuée sur demande du commandant le 20 septembre. Elle s'est effectuée en deux temps. Dès la fin de l'après-midi, une première bordée de 6 marins a été évacuée, rendant ainsi impossible toute manœuvre de l'*ADAMANDAS* par ses propres moyens puis dans la nuit vers 01h00, la totalité de l'équipage (16 marins restants dont le commandant) avant le début du remorquage.

10.2 INERIS

C'est le 13 septembre vers 12h00 que l'INERIS est contacté pour la première fois par le CEDRE et se met en situation de préalerte. En fin de journée la préalerte est annulée et les services de l'INERIS ne sont plus requis.

Le 15 septembre, l'INERIS est contacté par le chef d'Etat Major de Zone de la Réunion pour connaître ses conditions d'intervention.

Le 16 septembre, l'INERIS est à nouveau saisi par l'Etat Major de Zone de la Réunion pour fournir un appui technique et quantifier le risque.

Dans son étude, l'INERIS a pris un cas majorant en considérant le mélange air-H₂ à la stochiométrie. Une réponse écrite est envoyée le jour même à l'Etat Major de Zone.

Au vu de la situation, l'INERIS estime nécessaire d'engager des actions destinées à enrayer l'échauffement du DRI et au moins à limiter le dégagement d'hydrogène. Pour l'INERIS, si la situation est maintenue en l'état, il faut s'attendre à ce que l'hydrogène continue de se dégager à un débit qu'il est impossible d'évaluer précisément et qui peut même s'accroître au fur et à mesure d'une extension de l'échauffement du DRI (le relevé des températures dans la cale 3 traduisant cet accroissement).

L'INERIS recommande de poursuivre la ventilation à l'air de la cale du bateau afin d'obtenir une dilution suffisante de l'hydrogène et d'empêcher la formation d'une atmosphère explosive.

Le 17 septembre l'INERIS est sollicité par le CODIS pour donner un avis sur l'application de sable ou d'azote liquide. L'INERIS envoie une réponse écrite le même jour sur les différents moyens envisageables :

a) [Application de sable](#)

Pour empêcher l'air d'accéder au DRI , il faut recouvrir toute la surface du tas, sinon, le DRI continue à se consumer. Si l'air n'accède plus au tas, l'oxydation du DRI s'arrêtera, de même que la production de chaleur et il commencera à refroidir. Il faut cependant que le DRI refroidisse jusqu'à une température suffisamment faible pour que, remis en présence d'air, la réaction d'oxydation ne redémarre pas.

Comme le DRI est un mauvais conducteur de la chaleur, le temps nécessaire à un tel refroidissement peut être très long (plusieurs jours).

La mise en œuvre d'un tel procédé, implique de pouvoir s'assurer que l'air ne puisse pas accéder au tas autrement que par sa surface supérieure.

b) [Noyage de la cale](#)

Pour limiter le dégagement d'hydrogène du à la mise en contact du DRI en cours d'oxydation avec l'eau, il faut opérer le noyage du DRI aussi rapidement que possible.

Compte tenu du refroidissement du DRI par l'eau, le débit de l'émission d'hydrogène sera ralenti.

Il ne sera pas possible d'empêcher le mélange de l'air et de l'hydrogène et donc la formation d'une atmosphère explosive (ATEX) mais, en évitant le confinement de cette ATEX (par exemple en ouvrant les panneaux de la cale), le risque d'explosion sera limité.

Le DRI une fois noyé, la réaction d'oxydation s'arrêtera, et en même temps le dégagement d'hydrogène.

A priori, le temps nécessaire pour maîtriser la situation sera plus court en noyant la cale avec de l'eau, qu'en recouvrant le DRI par du sable.

c) Application d'azote

Cette solution suppose de pouvoir assurer la présence permanente d'azote autour du DRI. Cela n'est possible qu'en maintenant un débit d'azote difficile à évaluer, mais en tout cas très important.

Même si cette condition est remplie, il n'est pas sûr que la couverture du DRI par l'azote soit à la fois complète et continue.

L'azote mis en œuvre a une chaleur massique très inférieure à celle du DRI, de sorte que d'après l'INERIS, il ne participerait pas de façon significative à son refroidissement, compte tenu de l'état d'avancement de la réaction. Le délai nécessaire à un refroidissement du DRI suffisant serait très long.

En ce qui concerne le déchargement du bateau et le maintien de l'équipage à son bord :

- des difficultés de déchargement peuvent apparaître à cause du risque de prise en masse locale du DRI ;
- dans l'hypothèse d'un débit d'hydrogène important et en absence de vent, l'ATEX formée pourrait être présente à proximité des cales, voire près du château arrière, où des membres de l'équipage peuvent être présents . Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de son inflammation, en particulier, des décharges électrostatiques, qui peuvent éventuellement être générés par les membres de l'équipage ;
- l'ATEX pourrait aussi être enflammée, soit au cours des opérations menées pour récupérer le DRI qui n'est pas encore échauffé, soit par des sources d'inflammation présentes à terre dans le cas où le bateau serait amené à quai.

En cas de déchargement de la cargaison à la mer, a priori, l'oxydation du DRI produit de l'oxyde de fer et sa réaction avec l'eau produit un hydroxyde et de l'hydrogène, produits dont la toxicité vis à vis de l'environnement est assez faible .

10.3 Marins Pompiers de Marseille

Les Marins Pompiers de Marseille ont été sollicités le 13 septembre pour donner un avis technique.

Les éléments communiqués par les Marins Pompiers sont en corrélation avec le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de la Réunion, en particulier :

- ne pas ajouter d'eau,
- envisager le plus rapidement possible l'inertage de la cale concernée,
- mettre en place une ventilation afin de limiter les risques d'explosion,
- prévoir dans un deuxième temps le dépotage partiel de la cargaison (cales adjacentes) afin d'éviter une propagation à celles ci.

11 ACTIONS DES PARTIES PRIVEES

11.1 Subrécargue

Le subrécargue était chargé de surveiller en permanence l'état de la cargaison par des relevés quotidiens des températures et des teneurs en H₂ et O₂. Il en informait régulièrement l'autorité compétente.

Il a exercé une surveillance attentive de la cargaison comme l'atteste son journal de relevés. Cela a permis de détecter aussitôt le début de réaction de réoxydation et de prendre immédiatement les mesures nécessaires pour essayer de l'enrayer ou tout au moins en limiter les conséquences.

Ainsi, la détection de la réaction à Durban a permis de mettre en œuvre immédiatement les moyens adaptés.

Dès la détection de H₂ le 27 août, le subrécargue a commencé à ventiler la cale en ouvrant les couvercles des trous d'hommes avant et arrière afin d'empêcher l'accumulation d'hydrogène et réduire les risques d'explosion.

Le 29 août 2003, le subrécargue a ventilé la cale n°2 le matin. Les températures prises ce matin là étaient normales, identiques à celles de la veille.

Au bout de 6 heures, il a repris les températures l'après midi, les températures dans la cale n°2 avaient considérablement augmenté dépassant les 200°C à la plupart des thermocouples inférieurs aussi bien que le TC8 situé au milieu de la cargaison sur l'arrière, côté tribord.

Le subrécargue a également contrôlé l'étanchéité des panneaux de cale et a remplacé les rubans d'étanchéité aux endroits où ils avaient été endommagés par les paquets de mer.

Dès le 29 août 2003, il a pris des dispositions pour inerte la cale n°2 avec de l'azote. Cette opération a été apparemment satisfaisante en réduisant les températures des thermocouples inférieurs.

Le 30 août 2003, le subrécargue a constaté 5 cm d'eau dans le puisard tribord lors de la prise de sonde. Il a constaté aussi un peu d'eau dans le ballast en double fond n°2 bâbord et tribord.

Le puisard bâbord était sec. Les sondes étaient prises quotidiennement et c'est seulement aux dates mentionnées ci dessus que de l'eau a été détectée dans les puisards.

Le 6 septembre, les conditions météo étant mauvaises, des paquets de mer balayant le pont de bâbord à tribord, avec des vents très forts et beaucoup d'embruns, les relevés n'ont pas été possibles. Le subrécargue a demandé au capitaine de changer de route, le temps de faire les relevés des températures au moins une fois par jour vers midi.

Le 7 septembre, le subrécargue a recommencé la ventilation de la cale 2 pendant 20 mn pour évacuer le H2.

Il n'a pu prendre le H2 que dans la cale 1 et 2, dans les autres cales, le tube de prélèvement était mouillé.

Le 9 septembre, la mer étant très houleuse, avec des embruns sur le pont, la ventilation des cales s'est faite avec un seul ventilateur pour éviter l'aspiration des embruns.

11.2 Capitaine

Le 8 septembre, le capitaine et le subrécargue ont sollicité l'autorité compétente pour savoir les mesures à prendre pour enrayer la réaction d'oxydation du DRI.

Le 11 septembre, le capitaine envoie un message à l'autorité compétente l'informant de la pulvérisation d'eau douce au dessus de la cargaison de la cale 2 conformément aux instructions reçues, ainsi que les températures relevées à 8h00.

Lors de son audition par les autorités françaises, le capitaine du navire est resté très évasif sur le chargement du navire et la cinétique de l'accident.

A l'issue de sa visite à bord le 15 septembre, l'équipe d'évaluation a noté que l'organisation de l'équipage et l'implication du capitaine n'étaient pas satisfaisantes. Elle a émis des doutes sur la connaissance par l'équipage, des risques encourus et a du faire cesser des travaux de piquage de rouille sur le pont.

Le 20 septembre, à l'expiration de la seconde mise en demeure, le capitaine a fait connaître le danger extrême encouru par la cargaison et le navire.

Il a demandé aux autorités françaises l'évacuation de son équipage.

11.3 Instructions de la charte partie

En cas d'urgence, les instructions à l'article 5 de la charte partie stipulaient : « Si la température à un thermocouple quelconque augmente jusqu'à 150°C voire 100°C, la ventilation doit être fermée. Si la température continue à augmenter jusqu'à 200°C à plus d'un thermocouple, rejoindre le port le plus proche. Toutefois si le port le plus proche ne peut être atteint, le noyage de la cale doit être envisagé de la façon la plus rapide possible en faisant route vers le port le plus proche. Le noyage de la cale avec de l'eau doit toujours être considéré qu'en dernier recours ».

11.4 Affréteur - Autorité compétente

D'après l'affréteur, le DRI est expédié par mer de Trinidad depuis 1981 dans le monde entier. Ce serait son premier incident à la mer de ce type, car toutes les précautions sont prises pendant le chargement et un contrôle régulier de la cargaison est effectué pour détecter toute réaction de la cargaison pendant le voyage.

Lorsque l'hydrogène a été détecté, il a eu un échange d'informations avec le navire. Les informations passaient de l'autorité compétente à l'expéditeur (Caribbean ISPAT Limited) puis elles étaient relayées à ISPAT Shipping à Londres puis à l'armateur et au capitaine du navire.

Les premiers signes d'anomalies où le subrécargue a détecté la présence d'H₂ sont apparus les 27 et 28 août et la température de la cale a augmenté à partir du 29 août.

Pendant cette période ISPAT a eu des échanges avec les armateurs et le capitaine et a envoyé des instructions pour inerte avec de l'azote.

Toutes les informations étaient données à titre d'avis et il appartenait à l'armateur et au capitaine de décider de les suivre.

L'armateur a été tenu au courant de l'évolution de la cargaison.

Le 10 septembre 2003, pour enrayer l'élévation de température dans la cale n°2 aux TC4 et TC2, l'autorité compétente suggère en cas d'urgence si la température monte rapidement et dépasse 450°C d'appliquer les mesures suivantes :

- ouvrir tous les ventilateurs et les panneaux d'écouille de la cale 2 pendant 1 heure afin de ventiler tout le H₂ accumulé ;
- ouvrir les panneaux lentement afin d'éviter les étincelles ;
- pulvériser de l'eau douce au dessus de la cargaison de bâbord à tribord en utilisant une lance incendie. L'objectif est de saturer toutes les billes avec de l'eau sans remplir la cale ni noyer la cargaison ;
- la zone du côté bâbord où la cargaison a commencé à s'échauffer serait mouillée en dernier c'est à dire la zone des TC2 et TC4 ;
- il y aura de la fumée qui s'échappera de la cargaison mais cela est normal ;

- continuer de laisser les panneaux d'écouilles ouverts jusqu'à ce que toutes les fumées visibles disparaissent et ensuite les panneaux peuvent être fermés, mais laisser tous les ventilateurs ouverts pour le reste du voyage.

Ce n'est qu'un avis, la décision finale appartient à l'armateur et au capitaine du navire.

Ceci est conseillé plutôt qu'un retour à Durban qui peut prendre 4 à 5 jours, et si la température augmente rapidement.

En cas de pénurie d'eau douce à bord, le navire pourra rejoindre le port le plus proche pour faire un avitaillement.

Si l'arrosage avec de l'eau douce est fait au port le plus proche, il faut s'assurer qu'il y ait la quantité d'eau douce disponible.

Le bord procède selon les instructions à l'arrosage de la cale 2 avec de l'eau douce (au total 2 tonnes d'eau) « opération proscrite par le recueil BC ». La température diminue mais le dégagement de H₂ augmente, seuil d'explosivité de H₂ : 4% du volume d'air total dans la cale.

La température monte ensuite à 820°C et la concentration d'hydrogène passe à 100%.

Cette action qui a permis dans un premier temps le refroidissement a cependant redémarré un cycle de production d'hydrogène et constitue un **facteur aggravant**.

Les seuils d'explosivité sont dépassés.

Nota : La vapeur d'eau produite aurait pu avoir un effet inhibiteur sur les limites d'explosivité du mélange H₂-air en augmentant la LIE.

L'humidité agit selon 2 phénomènes contraires :

- elle peut produire de l'H₂ par réaction sur le DRI ;
- en même temps, elle augmente la LIE des mélanges H₂ – air.

11.5 Air Liquide

Le 12 septembre, Air Liquide Réunion reçoit une commande téléphonique de l'armateur pour la fourniture de 6 bouteilles d'azote (B50 - 9 Nm³/bouteille) équipées de leur détendeur et de 4 mètres de flexible.

Le 13 septembre, livraison de 6 bouteilles d'azote par Air Liquide Réunion.

Le 15 septembre, nouvelle demande de l'armateur à Air Liquide Réunion pour une prestation d'inertage du navire sans cahier des charges précis. Air Liquide Réunion dispose d'une unité de production d'azote, surtout destinée à des besoins hospitaliers, mais pas d'équipement de vaporisation pour procéder à un inertage. Cet équipement serait disponible chez BJPPS à Dubai.

Pour cela, Air Liquide entre en contact avec SSI, filiale commune à Air Liquide et BJPPS, spécialisée dans la mise en œuvre de gaz industriels, en particulier d'azote pour des opérations d'inertage.

Le 16 septembre 2003, SSI consulte BJPPS à Dubai pour une étude de faisabilité de mise à disposition des moyens d'inertage à l'azote (matériel, personnel, transport du matériel, procédures techniques, procédures sécuritaires,...) et la fourniture d'azote.

Le 18 septembre 2003, BJPPS confirme la faisabilité de la prestation, disponibilité du matériel, personnel, transport du matériel par avion.

Délai de réactivité proposé : 24 h à partir de la réception de la commande écrite et du virement bancaire du coût de la prestation.

Une première proposition chiffrée de mise à disposition d'équipements d'inertage à l'azote est adressée à l'armateur, qui y répond positivement.

Le 19 septembre 2003, un échange téléphonique a lieu entre le capitaine du navire et SSI ; celui ci confirme son acceptation de la proposition. L'offre définitive est envoyée mais sans les conditions générales de vente de SSI qui seront réclamées plus tard par l'armateur en fin de soirée. Parallèlement, Air Liquide Réunion remet à l'armateur en fin de soirée une cotation pour la fourniture de 50 t d'azote.

Plus aucun contact n'a été établi par la suite.

11.6 Armateur – Assureur

Première solution envisagée le 18 septembre par les opérateurs privés réunis par l'armateur :

- inertage à l'azote pour arrêter la réaction chimique et refroidir les cales.
- Ventilation pour réduire le taux d'H₂ (mais avec le risque d'augmentation de la T° car on attise la combustion).

En ce qui concerne l'inertage, l'armateur a d'abord envisagé la livraison depuis Durban d'un évaporateur à l'île Maurice d'où il pourrait être acheminé à La Réunion pour l'injection d'azote sous forme gazeuse.

Le 17 septembre, les parties adressent une lettre au préfet dans laquelle il est précisé qu'elles n'ont pas encore confirmation de la disponibilité d'un générateur pour produire de l'azote gazeux. La situation de la cale 2 s'aggravant et comme il y a risque d'incendie, il est proposé d'envoyer directement de l'azote liquide du camion au dessus de la cargaison par un tuyau en inox. Mais cette opération a été refusée par les autorités françaises. En cas d'incendie, la seule solution serait de noyer très rapidement la cale avec de l'eau mais le navire d'une part n'a pas les moyens de pompage suffisants, d'autre part, si la cale est noyée, le navire ne pourra pas reprendre la mer et la cargaison devra être déchargée.

Le 19 septembre 2003, Réunion Ships Agency annonce l'arrivée de l'expert du Lloyd's Register le dimanche 21 septembre dans la soirée. L'expert du Lloyd's émet des réserves sur l'utilisation de l'azote liquide qui doit être employé avec la plus grande précaution afin d'éviter tout contact avec la structure du navire.

La question d'utiliser un gaz plus lourd est aussi examinée.

12 CONCLUSIONS

12.1 Sur les conditions de chargement et de transport

Le navire avait déjà transporté 2 fois du DRI auparavant, sans incident.

En conformité avec les prescriptions du recueil BC, le navire a été reconnu apte au transport de DRI après inspection par l'autorité compétente. Il a été équipé des moyens nécessaires pour la surveillance de la cargaison pendant le transport : appareils de mesure des teneurs en oxygène et en hydrogène des cales et thermocouples pour les relevés des températures de la cargaison.

Les cales ont été inertées à l'azote en fin de chargement. Cependant, en raison du manque d'étanchéité des fermetures, la charge d'azote a rapidement diminué ; celle-ci ne pouvant être renouvelée faute de moyens de production ou de stockage de gaz à bord.

Des instructions détaillées ont été remises au capitaine par le chargeur en particulier les précautions à prendre en cas de réaction du produit.

Toutefois, le *BEAMER* n'a pas eu confirmation d'une part qu'une attestation ait été remise au capitaine, certifiant que le produit était conforme aux prescriptions du recueil BC, d'autre part que le produit ait subi un traitement de protection de façon à réduire sa réactivité.

Un subrécargue a été spécialement embarqué pour surveiller la cargaison pendant toute la durée du transport.

Sa surveillance attentive a permis de détecter très vite le début de la réaction d'oxydation (augmentation des températures et de la teneur en hydrogène) et de prendre les mesures appropriées pour tenter de l'enrayer.

En ce qui concerne les conditions de chargement, compte tenu des conditions météorologiques pendant l'escale à Point Lisa, le chargement partiel d'un produit humide ne peut être exclu.

12.2 Sur les causes du sinistre

Pour que la réaction se produise, il faut que le DRI soit mis en contact avec de l'eau. La cargaison aurait pu être chargée mouillée mais d'après les informations recueillies au cours de cette enquête, le DRI réagit surtout avec l'eau de mer.

Le dégagement d'hydrogène est le résultat de l'entrée en contact de la cargaison avec de l'eau. L'absorption rapide de l'oxygène de l'eau entraîne une augmentation de température et une émission d'hydrogène.

C'est après avoir essuyé une mer très forte à la fin du mois d'août, que le subrécargue a constaté une élévation importante de la température et de la teneur en hydrogène de la cale 2.

L'étanchéité insuffisante du pont exposé aux intempéries a favorisé l'infiltration d'eau de mer dans la cale 2 et la perte de l'inertage. La présence d'eau relevée dans les puisards de la cale confirmerait cette hypothèse.

Si le chargement d'un produit humide n'est pas à exclure, c'est néanmoins plus probablement une infiltration d'eau de mer dans la cargaison qui pourrait être à l'origine du démarrage de la réaction, avec la montée soudaine des températures et le dégagement d'hydrogène.

12.3 Sur la gestion du sinistre

Dès le début de la réaction, le subrécargue en liaison avec le chargeur et l'autorité compétente a pris les mesures appropriées.

De ce fait, après le complément d'azote fait à Durban, la réaction pouvait sembler, dans un premier temps, s'être stabilisée.

Mais selon le subrécargue, la quantité d'azote liquide demandée n'a pas été totalement livrée, ce qui pourrait expliquer l'inefficacité de la mesure et la reprise du phénomène moins de deux jours après l'appareillage de Durban.

En effet, il faut 4 renouvellements d'azote en volume pour inerte (1kg d'azote liquide = 0,84 m³ d'azote gazeux).

Les mesures prises à Durban n'ont donc pas été suffisantes pour enrayer la réaction (qui venait de démarrer). Le déchargement de la partie de la cargaison en cause et son noyage auraient du être envisagés pendant cette escale. En effet, le navire disposait de gaz inerte de protection et des moyens à terre permettant de débarquer la partie de cargaison en cause et de régler définitivement le problème. Cette procédure est celle recommandée par les professionnels du DRI. Ainsi aurait pu être évitée une reprise du sinistre et son extension conduisant à la perte totale du navire.

Quant à l'arrosage de la cargaison avec de l'eau douce après le redémarrage de la réaction, sur les conseils de l'autorité compétente, cette action est controversée et pourrait constituer un **facteur aggravant** du sinistre.

Quatre solutions ont ensuite été envisagées pour enrayer la réaction chimique du DRI pendant l'escale à La Réunion.

[Inertage de la cale par saturation en azote sous forme gazeuse](#)

Cette solution n'a pas pu être mise en œuvre faute d'une demande suffisamment précise et de moyens techniques rapidement disponibles à La Réunion. Ainsi le navire n'a jamais présenté les conditions de sécurité imposées pour rentrer au port. Un inertage en mer devait alors être envisagé.

C'était une opération lourde compte tenu de l'importance du degré d'avancement de la réaction, exigeant des garanties de sécurité du personnel pendant les phases de montage et d'inertage.

Elle supposait, par ailleurs, de pouvoir faire un balayage permanent à l'azote pendant le reste de la traversée afin d'éviter toute reprise de la réaction (ce qui aurait du aussi être fait après l'escale à Durban) et donc de disposer d'azote à bord du navire.

[Inertage de la cale par injection d'azote liquide au dessus de la cargaison](#)

Cette solution a été écartée du fait du caractère hasardeux du procédé notamment en raison du risque de fragilisation des structures du navire en cas de choc thermique.

Recouvrir la cargaison de sable

Cette solution a été écartée d'une part parce qu'elle nécessitait l'entrée au port du navire et d'autre part elle supposait d'accepter le risque d'un incendie ou d'une explosion dans le port.

Noyage de la cargaison avec de l'eau

Les moyens de pompage du navire étaient insuffisants pour assurer un noyage rapide.

Une telle méthode risquait de provoquer des dommages irréremédiables au navire ou de le couler.

Toutes ces solutions nécessitaient la mise en œuvre de matériels et de moyens opérationnels adaptés impliquant une logistique, un savoir faire technique et une rapidité d'intervention non disponibles.

Le premier risque était celui d'une explosion de l'hydrogène avec des conséquences dommageables pour les personnes et l'environnement. Plus le temps passait, plus le risque augmentait.

Le navire ne pouvait reprendre la mer il faisait courir de graves dangers à son équipage.

Il y avait danger à garder le navire dans les eaux territoriales françaises à proximité de la côte. A cause de ce danger, le Préfet a décidé d'éloigner le navire. L'équipage ayant demandé d'évacuer le navire, le navire était donc abandonné et continuait à présenter un danger.

Aussi, les autorités de l'Etat côtier ont elles eu comme premier souci de préserver les personnes et l'environnement.

Après deux mises en demeure adressées à l'armateur, aucune solution technique rapide, sûre et efficace n'ayant été proposée par celui-ci répondant aux attentes spécifiées en matière de délai et de sécurité, le préfet de La Réunion a ordonné la destruction et l'immersion du navire ; le danger imminent représenté par le navire justifiant la décision du Préfet.

12.4 Sur l'exemplarité

Ce sinistre n'est pas un cas isolé, d'autres navires transportant des cargaisons analogues ont connu des explosions entraînant des victimes et des pertes totales de navires.

Dans le cas de l'*ADAMANDAS*, la réaction s'est produite dans des circonstances où le navire était en escale dans un port et/ou qu'il pouvait rallier un port rapidement pour disposer d'une assistance.

Grâce à la présence d'un subrécargue un accident grave pouvant se produire en pleine mer a pu être évité.

Les accidents graves dont le *BEAmer* a eu connaissance ont eu lieu en pleine mer avec un équipage insuffisamment informé des dangers, des instructions incomplètes ou une marchandise différente de celle figurant au connaissement, ou encore des mélanges de produits.

Cet événement a posé en vraie grandeur la problématique des lieux de refuge. Il a aussi illustré le droit de l'Etat côtier à la protection de son environnement et de ses populations.

Différents scénarios ont été envisagés pour une évaluation des conséquences potentielles sur l'activité portuaire dans le cas d'une entrée du navire dans le port.

Le recours à l'expertise de l'INERIS et la composition pluridisciplinaire des équipes d'évaluation se sont révélés utiles et nécessaires dans ce cadre complexe.

L'établissement d'une cellule de crise, telle que celle constituée par le Préfet semble un excellent outil pour gérer une telle situation. Elle suppose un partenariat efficace et actif non seulement de l'armateur, ce qui était le cas, mais aussi de tous les autres acteurs concernés : assureurs, société de classification, recours à une société d'assistance...

13 RECOMMANDATIONS

13.1 Fabrication

Les risques inhérents au transport de DRI dépendent pour une grande part du procédé de fabrication.

Les briquettes moulées à chaud (HBI) sont moins sensibles à une réaction d'oxydation, mais leur utilisation requiert plus d'énergie que les boulettes (DRI).

Une réflexion devrait être engagée par les professionnels du DRI pour une amélioration du traitement du produit afin de diminuer sa réactivité et rendre son transport par mer plus sûr.

13.2 Entreposage

La durée de l'entreposage des billes à l'air libre devrait être limitée à 15 jours. L'état du produit devrait être constamment contrôlé.

Des échantillons du tas devraient être prélevés régulièrement pour déterminer l'humidité et contrôler la température avant tout chargement.

Précautions spéciales pendant la manipulation et le stockage :

- mettre des récupérateurs de poussières sous les convoyeurs aériens et procéder à leur nettoyage régulier,
- garder en permanence au sec.

Si le produit est stocké à l'air libre, l'entreposer sous abri protégé de la pluie. Eviter l'accumulation de poussières aux points de transfert. Un dépoussiérage doit être assuré au chargement et au déchargement afin d'éviter au maximum la présence de fines.

13.3 Transport par mer

Ces recommandations doivent être considérées comme un minimum et suivies scrupuleusement.

Compte tenu des risques particuliers que présente l'eau de mer pour la cargaison, l'étanchéité à l'eau des cales devrait être soigneusement vérifiée avant le chargement et régulièrement pendant tout le transport. Le DRI devrait être chargé parfaitement sec, dans des cales propres et étanches. L'étanchéité des cales du navire devrait être garantie quelles que soient les conditions météorologiques susceptibles d'être rencontrées pendant la traversée.

Un inertage devrait être effectué par saturation de la cale avec de l'azote injecté à partir du fond de la cale pour chasser complètement l'air.

Afin de compenser les fuites et maintenir l'atmosphère inerte il est recommandé d'effectuer périodiquement un balayage à l'azote des cales pendant la traversée ; l'azote étant produit à bord par un générateur.

Tous les navires transportant du DRI devraient disposer d'une installation complète comprenant des équipements fiables de mesure des températures en divers points des cales et des teneurs d'hydrogène et d'oxygène ainsi qu'une unité de production d'azote. Dès que la température atteint 60°C, il faut faire preuve de la plus grande vigilance.

Les équipements de cales et de pont devraient faire l'objet de systèmes de protection adaptés pour prévenir les risques d'explosion.

La présence d'un subrécargue pendant le transport est indispensable pour garantir une surveillance permanente de la cargaison.

Le déchargement de la partie de la cargaison où a démarré la réaction doit être envisagée dans les plus brefs délais. Les autorités de l'Etat du port ou de l'Etat du pavillon ne devraient pas autoriser le navire à appareiller avant le déchargement de la cargaison incriminée.

13.4 Recueil BC

Le recueil BC devrait préciser de façon plus significative :

- les différents types de DRI, ainsi que leurs dangers potentiels et les précautions à prendre pour leur manutention et transport,
- les conditions à éviter et les produits de réaction dangereux,
- les critères d'aptitude du navire au transport de ces cargaisons,
- la conduite à tenir en cas de réaction et les actions interdites.

L'adjonction de particules de DRI ou fines à des cargaisons homogènes de briquettes ou de boulettes devrait être prohibée. Les résidus en fin de tas constitués essentiellement de fines ne doivent pas être mis à bord.

13.5 Information de l'équipage des navires transporteurs

Le capitaine et l'équipage devraient être informés de manière appropriée quant à la manutention de ce produit et aussi des mesures de sécurité à prendre en cas de réaction et de dégagement d'hydrogène. Un plan d'urgence DRI décrivant les procédures spéciales à appliquer devrait être établi avec les professionnels du DRI.

13.6 Moyens d'intervention

13.6.1 Ce sinistre a mis en évidence la nécessité de renforcer les moyens d'intervention et de remorquage dont dispose La Réunion. Les remorqueurs ne pouvaient pas rester plus de 24 heures à la mer.

13.6.2 Dans ce genre de sinistre, le recours à des sociétés d'assistance spécialisées doit être envisagé par les parties dès le début de la situation de crise. La participation active de l'ensemble des partenaires concernés est indispensable.

13.7 Au niveau international

Le sinistre de l'*ADAMANDAS* n'étant pas isolé, le Sous-comité des marchandises dangereuses, des cargaisons solides et des conteneurs de l'Organisation Maritime Internationale devrait recenser les différents cas d'accidents qui se sont produits pour déterminer les mesures à prendre.

LISTE DES ANNEXES

A. Décision d'enquête

B. Dossier navire

C. Cartographie

D. Dossier photographique

Décision d'enquête



Le directeur



Paris, le 10 OCT 2003
N/réf. : BEAmer/IGSAM/SETM

000409

DÉCISION

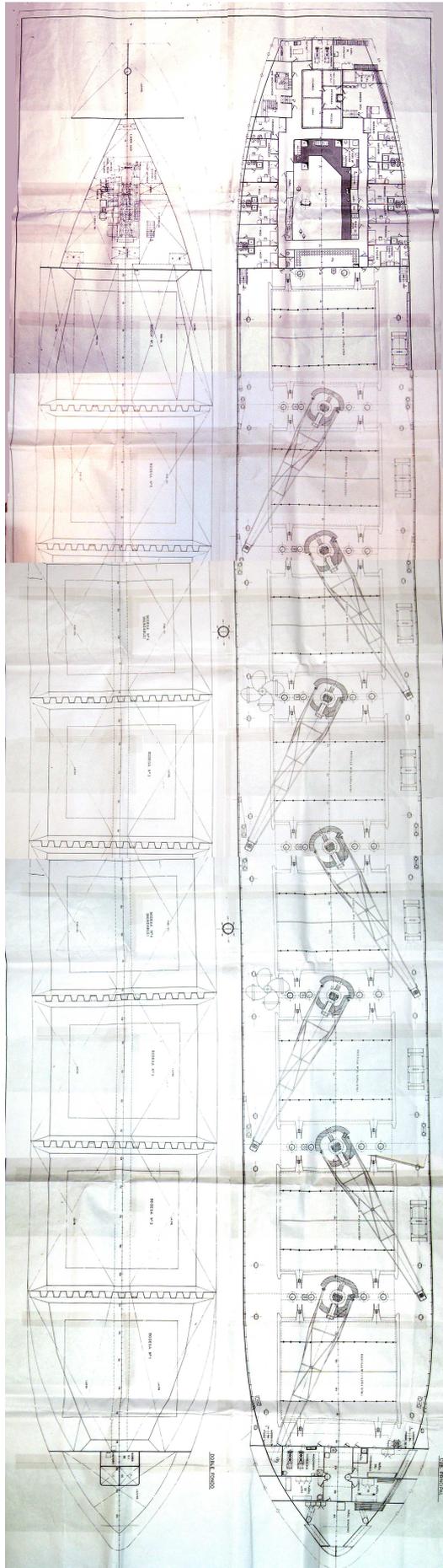
Le directeur du Bureau des enquêtes techniques et administratives après accidents et autres événements de mer ;

- VU la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 relative aux enquêtes techniques après événements de mer ;
- VU l'arrêté ministériel du 16 décembre 1997 portant création du Bureau des enquêtes techniques et administratives après accidents et autres événements de mer (BEA-mer) ;
- VU la décision ministérielle du 17 décembre 1997 portant nomination du directeur du Bureau des enquêtes techniques et administratives après accidents et autres événements de mer ;
- VU les SITREP CIRC NR 055/01 à 055/06 – FINAL du COSRU rapportant la situation du navire ADAMANDAS depuis sa demande d'escale le 11 septembre 2003 à 12H45 TU jusqu'à son naufrage par destruction le 22 septembre 2003 à 04H53 TU .
- VU l'accord des autorités chypriotes donné par courrier électronique référencé RCS 7274 du 3 octobre 2003, pour que le BEAmer mène l'investigation en tant qu' « État principalement responsable de l'enquête » ;

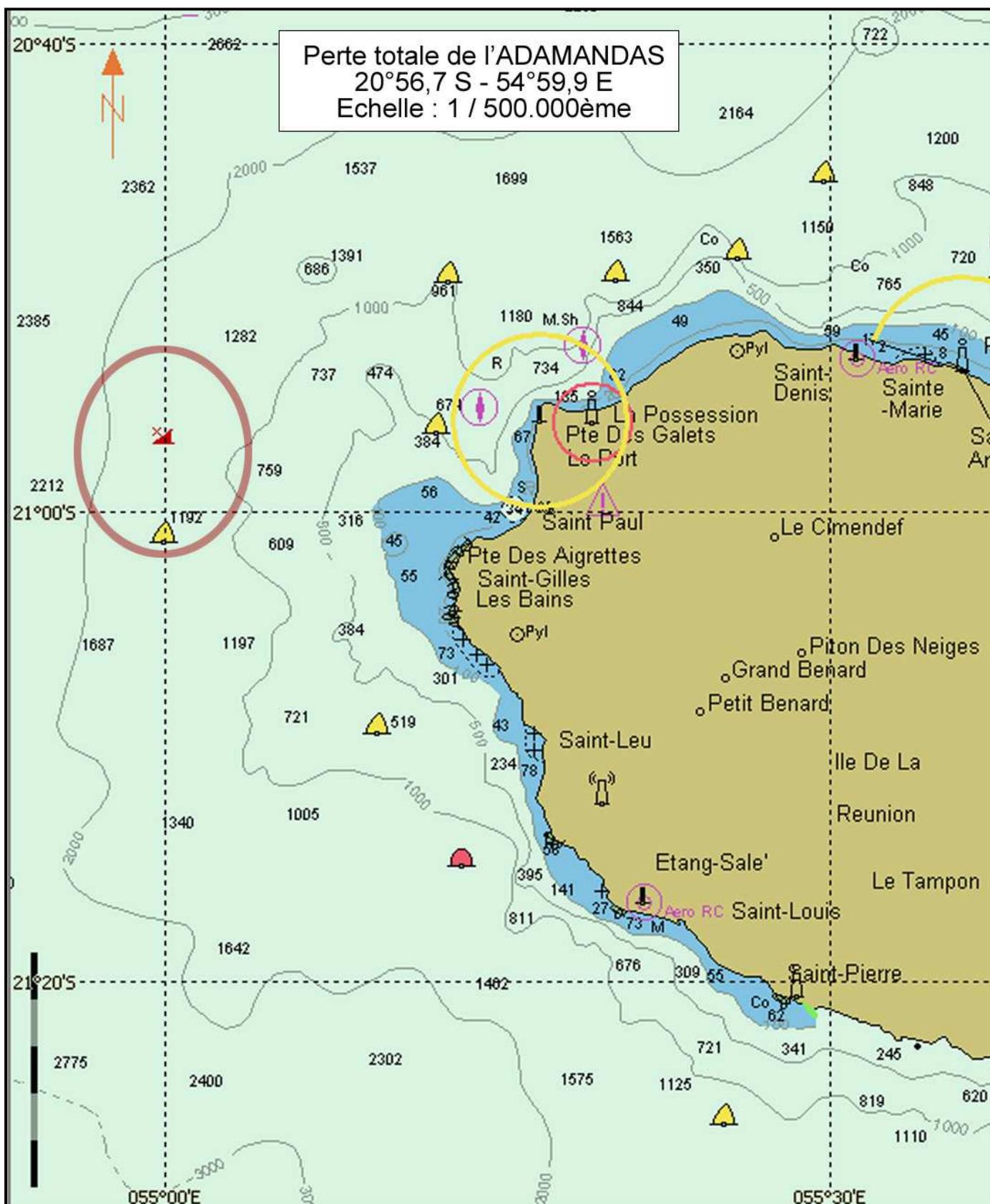
DÉCIDE

ARTICLE UNIQUE : En vue d'en rechercher les causes et d'en tirer les enseignements qu'il comporte pour la sécurité maritime, le navire ADAMANDAS, battant pavillon chypriote, n°OMI 8115681, qui a été victime d'un échauffement important de sa cargaison de fer obtenu par réduction directe, et s'est trouvé au mouillage dans les eaux territoriales de l'Île de la Réunion du 11 au 22 septembre 2003, fera l'objet d'une enquête technique dans les conditions prévues par le titre III de la loi sus-visée.

Dossier navire



Cartographie

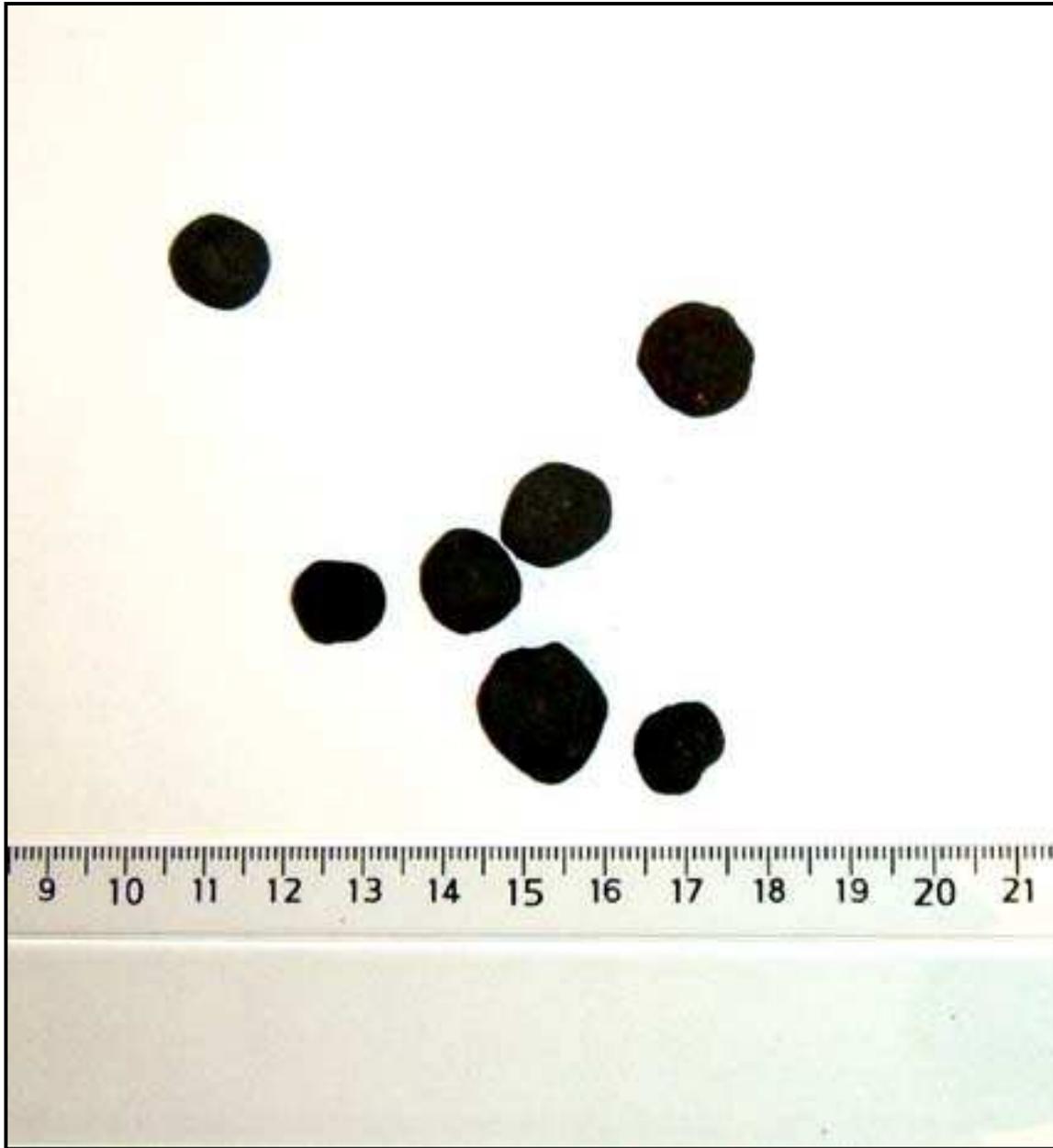


Dossier photographique









Direct Reduced Iron (boulettes de fer obtenu par réduction directe)



Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

Tour Pascal B 92055 LA DEFENSE CEDEX
T : + 33 (0) 140 813 824 / F : +33 (0) 140 813 842
Bea-Mer@equipement.gouv.fr
www.beamer-france.org