



Rapport d'enquête technique

LE TITAN

Rapport d'enquête technique

DEGAGEMENT ACCIDENTEL D'AMMONIAC

A BORD DU THONIER-CONGELATEUR

LE TITAN

**SURVENU LE 3 DECEMBRE 2008
A PORT VICTORIA - SEYCHELLES**

(dix victimes dont six décédées)



Photographie : Bruno Quillivic

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, de la Résolution MSC 255 (84) de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) adoptée le 16 mai 2008 et portant Code de normes internationales et pratiques recommandées applicables à une enquête de sécurité sur un accident de mer ou un incident de mer (Code pour les enquêtes sur les accidents).

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	6
2	CONTEXTE	Page	7
3	NAVIRE	Page	7
4	EQUIPAGE	Page	19
5	GESTION DE LA SECURITE A BORD	Page	23
6	CHRONOLOGIE	Page	26
7	FACTEURS DU SINISTRE	Page	32
8	SYNTHESE	Page	52
9	ACTIONS ENGAGEES	Page	53
10	RECOMMANDATIONS	Page	55

ANNEXES

- A. Décision d'enquête
- B. Dossier navire
- C. Installations frigorifiques
- D. Fiche toxicologique de l'ammoniac
- E. Constatations des pompiers

Liste des abréviations

AMDEC	:	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
ARI	:	Appareil Respiratoire Isolant
BEAMer	:	Bureau d'enquêtes sur les événements de mer
CNOI	:	Chantier Naval de l'Océan Indien
COBRECAF	:	Compagnie Bretonne de Cargos Frigorifiques
DUP	:	Document Unique de Prévention
fg	:	Frigorie
INRS	:	Institut National de Recherche sur la Sécurité
OMI	:	Organisation Maritime Internationale
SAPMER	:	Société Anonyme de Pêche Malgache et Réunionnaise
SOPAR	:	Société Océanique de Pêche et d'Armement
tx	:	Tonneaux de jauge

1 CIRCONSTANCES

Le 03 décembre 2008, le thonier-congélateur *LE TITAN*, battant pavillon français appartenant à la société SAPMER, prolonge son escale commerciale à Port Victoria, Mahé (Seychelles) après débarquement de sa pêche, pour effectuer des travaux.

Des problèmes d'étanchéité des vannes des collecteurs de sortie d'ammoniac des évaporateurs de l'installation frigorifique, compromettant la descente et le maintien du froid dans les cuves de conservation des prises et donc l'exploitation commerciale, et pouvant affecter également la sécurité, ont rendu nécessaire la réalisation de travaux dans les meilleurs délais.

Cette importante opération est réalisée par une entreprise seychelloise et des membres de l'équipage. Elle est en cours d'achèvement lorsque, vers 16h00 locales, une importante fuite d'ammoniac se produit dans le tunnel de l'installation frigorifique, sous le pont principal entre les cuves à poisson où travaillent employés de l'entreprise et marins.

Malgré l'intervention rapide des secours, conduite par des membres de l'équipage et les sapeurs pompiers de Port Victoria, l'accident fait dix victimes dont six décédées.

Les enquêteurs ont pu rencontrer le capitaine et les membres de l'équipage présents à bord au moment de l'accident. Ils ont pu s'entretenir avec les sapeurs pompiers, le commandant de port, le responsable de la sécurité portuaire et son adjoint.

Ils ont visité le navire au cours de son escale à Port Louis (Ile Maurice) du 18 janvier au 2 février 2009. A cette occasion, ils ont pu avoir des entretiens complémentaires avec des membres de l'équipage et rencontrer des représentants du Chantier Naval de l'Océan Indien (CNOI), qui a achevé les travaux après l'accident.

Quant au second mécanicien et au chef mécanicien, missionné par l'armement pour le suivi des travaux, ils n'ont pu être entendus qu'après leur retour en métropole.

2 CONTEXTE

Créée en 1947, la Société Anonyme de Pêche Malgache et Réunionnaise (SAPMER) a démarré son activité par la pêche à la langouste rouge dans le Sud de l'Océan Indien, au large des îles Saint-Paul et Amsterdam. Au début des années 1970, suite à une raréfaction de la ressource, elle a entrepris le chalutage de poissons des glaces et, à partir de 1987, la pêche à la légine dans les eaux des îles Kerguelen et îles Crozet.

Si la langouste et la légine constituent ses deux principales activités, l'armement réunionnais a poursuivi sa politique de diversification en recherchant de nouvelles espèces commerciales, notamment pélagiques (thon, espadon...).

En 2006, la SAPMER a décidé de se lancer dans la pêche au thon en rachetant deux thoniers senneurs congélateurs à la Compagnie Bretonne de Cargos Frigorifiques (COBRECAF) : le *HUON DE KERMADEC* et le *KERSAINT*, rebaptisés respectivement *LE TITAN* et le *TAKAMAKA*, pour une exploitation dans l'Océan Indien tropical.

LE TITAN a été acquis le 19 octobre 2006. Immatriculé à Concarneau, il est exploité à partir de La Réunion et des Seychelles.

Le *TAKAMAKA*, entré en flotte le 5 janvier 2007, a été vendu en 2008. Au moment de l'événement, la flotte SAPMER est donc constituée de sept navires en gestion ou en propriété. Trois thoniers senneurs surgélateurs sont par ailleurs en construction.

3 NAVIRE

Thonier senneur-congélateur construit aux Ateliers et Chantiers de la Manche à Dieppe, pour le compte de la Société Océanique de Pêche et d'Armement (SOPAR) à Boulogne-sur-Mer, *LE TITAN* est entré en service le 28 juillet 1981 sous le nom de *HUON DE KERMADEC*. Propriété de la COBRECAF, il a été principalement exploité dans l'Océan Indien par l'Armement COBREPECHE/CMB.

Au cours de l'arrêt technique de mai-juin 1997, le navire a subi d'importantes modifications concernant les superstructures et les stabilisateurs, les équipements de pêche et

appareils de levage. Le local radio et la passerelle ont été réaménagés pour l'installation d'un nouveau radar et de nouveaux appareils radio.

3.1 Caractéristiques principales

- **Coque en acier ;**
- **Immatriculé à Concarneau : CC 544 901 ;**
- **Indicatif d'appel : FPSM ;**
- **N° MMSI : 227 546 000 ;**
- **Longueur hors tout : 70,50 m ;**
- **Longueur entre perpendiculaires : 61,50 m ;**
- **Largeur hors membrures : 12,80 m ;**
- **Jauge brute : 1146,50 tx ;**
- **Franc bord : 170 mm ;**
- **Capacité de chargement : 1250 m³ ;**
- **Port en lourd (été) : 1572 t ;**
- **Vitesse en service : 16 nœuds ;**
- **Puissance administrative : 6950 kW ;**
- **Propulsion : 2870 kW ;**
- **Production électrique : principale, 2 x 1200 kVA, secours 325 kVA ;**
- **Armement : grande pêche ;**
- **Catégorie de navigation : 1^{ère}.**

Le navire est classé au Bureau Véritas : ✕ HULL ✕ MACH FISHING VESSEL – UNRESTRICTED NAVIGATION. Le certificat de classification, annexes coque et machine est valide jusqu'au 21 août 2010.

Le dernier carénage a été effectué en mai 2006 et le permis de navigation renouvelé le 1^{er} juillet 2008, pour un an.

3.2 Installation frigorifique

3.2.1 Description et fonctionnement

Le navire dispose d'une importante installation frigorifique à ammoniac pour la conservation et la congélation des prises à bord dans des cuves réfrigérées.

Du type centrale par pompes (cf. schéma de principe Annexe C), cette installation est composée principalement :

- de 4 compresseurs à pistons Sabroe type SMC 108 S, 8 cylindres d'une puissance frigorifique unitaire de 255.000 fg/h = 296 kW (0 - +41°C) et 75.000 fg/h = 87 kW (-22- +41°C),
- de 2 condenseurs refroidis à l'eau de mer, dans lesquels le fluide frigorigène à l'état gazeux, refoulé par les compresseurs à une pression de condensation, est liquéfié,
- d'un réservoir accumulateur de liquide de 4852 litres, installé en aval des condenseurs, où le fluide frigorigène est stocké à l'état liquide sous haute pression, et dont le rôle est d'assurer une capacité tampon entre la quantité de fluide provenant des compresseurs et celle nécessaire aux évaporateurs pour la production du froid,
- de 2 réservoirs basse pression et séparateurs de liquide (dénommés improprement « bouteilles flood ») de 2000 litres chacun, dans lesquels le fluide frigorigène (préalablement détendu) se trouve sous forme liquide et vapeur. Ils ont à la fois une fonction de capacité tampon du fluide frigorigène, pour assurer l'alimentation en liquide des évaporateurs et des pompes basse pression, et de séparateur liquide vapeur,
- de 3 pompes basse pression (une pour chaque bouteille flood plus une en secours), aspirant à la base des séparateurs de liquide et véhiculant le fluide frigorigène vers les serpentins évaporateurs des cuves à poisson pour le refroidissement de celles-ci,
- de 16 cuves réfrigérées équipées de pompes de brassage pour un volume total de 1250 m³, dans lesquelles le poisson est conservé dans une saumure eau de mer plus sel.

Le système est à détente directe avec serpentins (évaporation directe du frigorigène dans les évaporateurs des cuves). Il n'y a pas de médium réfrigérant. Un ensemble d'organes

de détente (détendeur, régleur) permet de faire passer le fluide frigorigène de la pression de condensation (haute pression) à la pression d'évaporation (basse pression).

Le frigorigène, partiellement vaporisé dans les évaporateurs, retourne aux séparateurs basse pression (bouteille flood) par le collecteur de retour et est ensuite à nouveau aspiré par les compresseurs. Le circuit de retour est diphasique (gaz plus liquide). Les gouttelettes de liquide contenues dans les vapeurs humides sortant des évaporateurs se décantent dans les séparateurs. Les vapeurs aspirées par les compresseurs sont sèches et se surchauffent dans le parcours entre séparateur et compresseur.

Le froid est distribué dans 2 circuits indépendants et identiques dans leur principe :

- circuit réfrigéré ou « circuit rouge » alimenté par la bouteille flood n° 2 ; la température est de 0 / -2 °C,
- circuit de congélation ou « circuit bleu » alimenté par la bouteille flood n°1 ; la température est de -15 °C / - 18 °C.

La répartition des compresseurs est faite sur les 2 circuits en fonction des besoins en froid.

La disposition des circuits est effectuée au niveau des 2 vannes d'entrée et des 4 vannes de sortie de fluide frigorigène des serpentins des cuves.

Le poisson est d'abord refroidi jusqu'à -2 °C en eau de mer réfrigérée puis congelé dans une saumure composée d'eau de mer et de sel à -15 °C. Chaque cuve, fermée par un panneau étanche, peut contenir 45 à 48 tonnes de poisson.

Nota : Ce type d'installation frigorifique de conception déjà ancienne présente, outre l'inconvénient d'un rendement énergétique médiocre, celui de nécessiter une quantité importante d'ammoniac dans le circuit (plus de 6 tonnes). Avec la conception actuelle, la charge d'ammoniac nécessaire ne serait plus que d'environ 1 tonne.

L'installation est protégée par des équipements de contrôle/régulation et de sécurité au niveau des compresseurs, des condenseurs et accumulateur de liquide, des bouteilles flood et des pompes de distribution d'ammoniac (pressostats, thermostats, détecteurs de niveau, soupapes de décharge...).

Les compresseurs et les pompes ammoniac sont équipés de manomètres à l'aspiration et au refoulement gradués en pression et température de vapeur saturante.

Les réservoirs de fluide frigorigène sont équipés d'indicateurs de niveau de liquide et de soupapes de sécurité en cas de surpression, tarées à 16 bars (17 bars absolus) pour les bouteilles flood et 21 bars (22 bars absolus) pour les condenseurs et le réservoir accumulateur de liquide, dont le dégagement se fait à tribord à l'extérieur de la cheminée. La pression des bouteilles peut être lue, soit sur les compresseurs, soit sur les pompes.

La régulation de niveau des bouteilles flood se fait par appoint de liquide au moyen d'électrovannes commandées par des détecteurs de niveau.

En cas de niveau haut, un détecteur provoque l'arrêt des compresseurs, avec déclenchement d'alarme, pour éviter des avaries par retour de liquide. Le niveau bas, lui, déclenche une alarme avec injection de liquide.

Il convient de souligner qu'il n'y a pas de dispositif d'arrêt d'urgence des compresseurs en cas de détection de fuite de NH₃ (mais ceci n'était pas exigible à l'époque de la construction du navire).

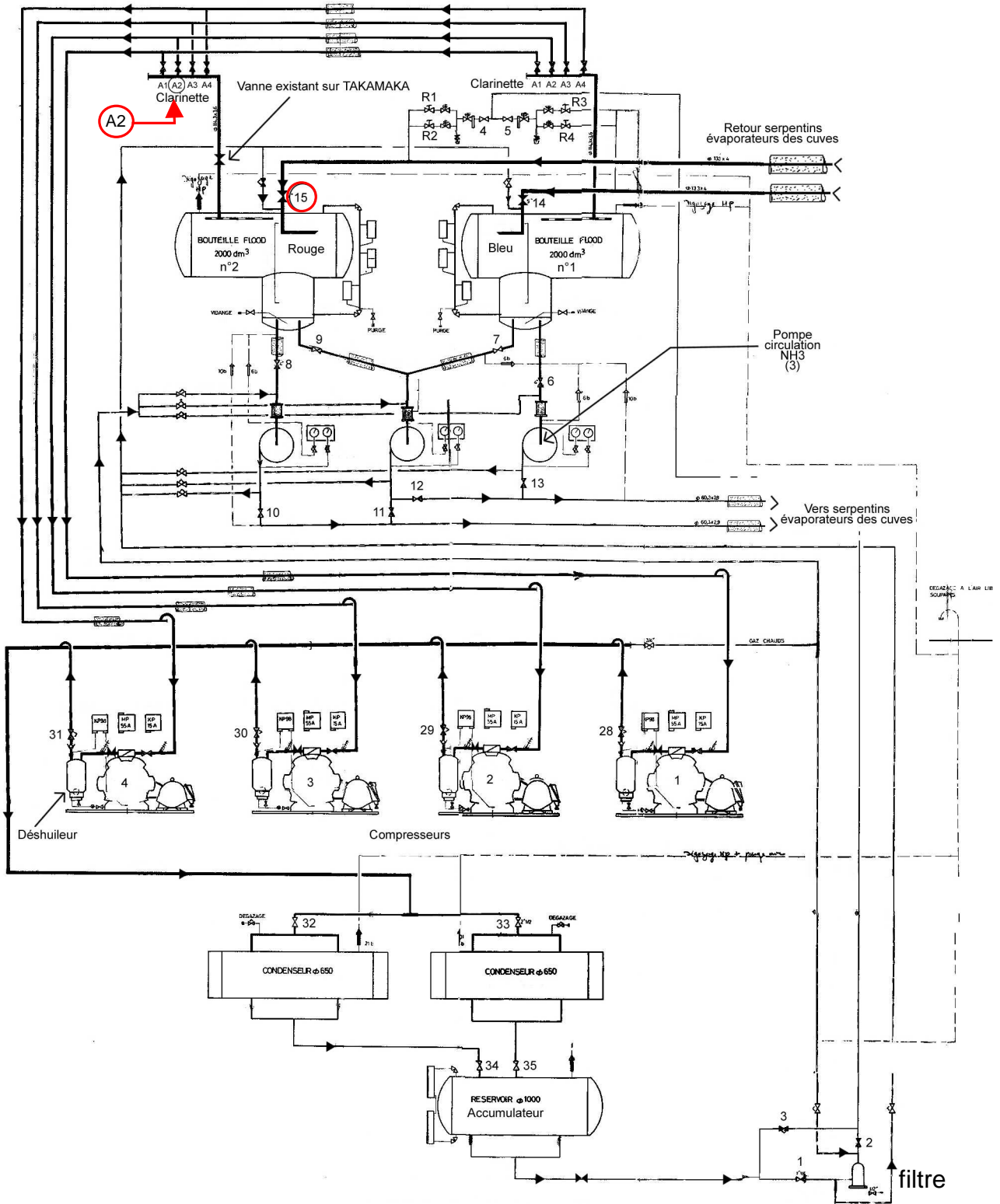
L'arrêt d'urgence des compresseurs se commande uniquement depuis l'armoire électrique dans le local des compresseurs, ou par ouverture du disjoncteur « frigo » au tableau électrique principal, en salle de contrôle.

L'installation frigorifique a d'abord été inscrite dans le registre du Bureau Veritas avec la marque complémentaire « RMC congélation », annexée au certificat de classification. De ce fait, l'installation de production et de distribution de froid, les espaces réfrigérés, l'instrumentation et les dispositifs de sécurité étaient soumis à visite annuelle de la société de classification.

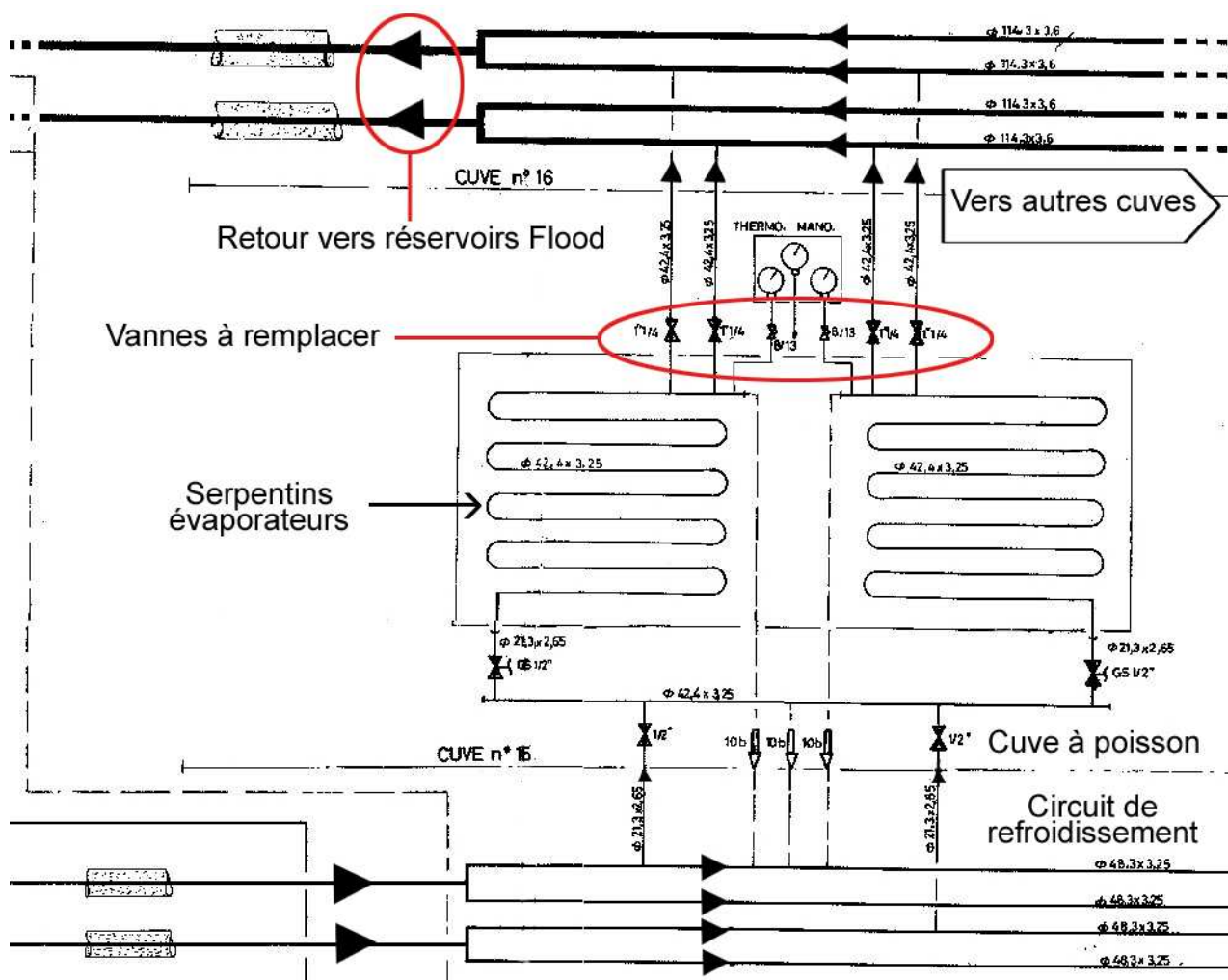
Des contrôles plus approfondis étaient également effectués lors de la visite quinquennale de renouvellement de classe (visite des soupapes).

Dans le cadre de cette marque complémentaire, le navire bénéficiait donc d'un programme de maintenance préventive.

A la demande de l'armement de l'époque, le navire ne possède plus cette marque depuis la reclassification en août 2000.



Le Titan – Installation frigorifique schéma partiel simplifié



3.2.2 Historique de l'installation

Lors de l'arrêt technique de mai - juin 1997, il n'y a pas eu de modifications de l'installation frigorifique, à l'exception de l'adjonction d'une rampe d'aspersion en haut des cuves à poisson pour améliorer le brassage de la saumure. L'utilisation de ces cuves comme réserve de combustible a été supprimée.

Des incidents dus à des fuites d'ammoniac sont mentionnés dans les rapports de marée. Ainsi, le 10 juillet 1999, un serpentin de la cuve n° 5 a été percé au cours du déchargement.

En ce qui concerne des incidents plus récents concernant des fuites d'ammoniac nécessitant une intervention avec équipement complet de protection, on note dans les rapports de marée :

- le 23 août 2007, à Antseranana (anc. Diego Suarez), fuite sur une vanne dans le local des compresseurs,
- le 18 décembre 2008, en mer (soit postérieurement à l'accident), fuite dans le tunnel, sur l'une des soupapes de sécurité de la cuve 14.

Au cours de l'année 2008, l'installation frigorifique a fait l'objet de travaux de maintenance, notamment lors d'escales techniques à l'Ile Maurice et Madagascar, au cours desquelles, déjà, 9 vannes des collecteurs d'aspiration des cuves avaient été remplacées, ainsi que la pompe NH3 du circuit bleu, des vannes des pompes NH3 et la coquille d'un condenseur.

3.2.3 Le fluide frigorigène

Le gaz ammoniac est un composé inorganique (produit naturel) :

- N° de fluide : R717 ;
- Formule chimique : NH_3 ;
- Groupe B2 : groupe B toxicité élevée et classe 2 inflammabilité faible.

Propriétés physiques

Il s'agit d'un gaz incolore d'odeur caractéristique piquante et irritante, plus léger que l'air ; il se liquéfie facilement. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- masse molaire : 17,03
- point de fusion : $-77,7\text{ °C}$
- point d'ébullition : $-33,3\text{ °C}$
- densité (ammoniac liquide) : 0,682 à $-33,3\text{ °C}$
- coefficient de dilatation cubique du liquide : $\beta = 3,41\text{ E}^{-6}\text{ (m}^3\text{/kg.°K)}$
- température critique : 132 °C

- densité de vapeur (air = 1) : 0,59
- tension de vapeur : 860 kPa à 20 °C
- limites d'explosivité dans l'air (% en volume) : limite inférieure 15 %
limite supérieure 28 %
- température d'auto inflammation : 630 °C

L'ammoniac est très soluble dans l'eau (34,2 % en poids à 20 °C, à la pression atmosphérique). La dissolution s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur : la dissolution d'un kilogramme de NH₃ dégage assez d'énergie pour évaporer près d'un kilogramme et demi de solution. Les solutions obtenues sont connues sous le nom d'ammoniaque (NH₄OH).

L'ammoniac est peu miscible avec l'huile, il flotte sur l'huile.

Propriétés chimiques

A température ordinaire, l'ammoniac est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et azote ne commence que vers 450 - 550 °C. L'ammoniac brûle au contact d'une flamme en donnant de l'azote et de l'eau.

La plupart des métaux ne sont pas attaqués par de l'ammoniac rigoureusement anhydre. Toutefois, en présence d'humidité, l'ammoniac, gazeux ou liquide, attaque rapidement le cuivre, le zinc et de nombreux alliages, particulièrement ceux qui contiennent du cuivre. Certaines catégories de plastiques, de caoutchouc et de revêtements peuvent également être attaqués par l'ammoniac liquide.

Risques pour les personnes et l'environnement

L'ammoniac est un gaz toxique, dangereux à partir de concentrations relativement faibles (dose létale : 0,5 % en volume). Le seuil de perception olfactive de l'ammoniac est très variable : quelques ppm à plus de 100 ppm. En général, l'odeur du NH₃ est déjà nettement perceptible à 25 ppm.

A l'état gazeux, il provoque une irritation importante ou une lésion des yeux. Il est lacrymogène et toxique en cas d'inhalation. L'ammoniac liquide, ainsi que sa solution aqueuse concentrée et l'ammoniac à l'état gazeux en concentration plus importante ont un effet caustique sur la peau, les muqueuses et les yeux. En cas de contact avec la peau, l'ammoniac liquide peut provoquer des brûlures par le froid.

Il convient de souligner que l'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance : l'odeur et les effets irritants sont perçus à des concentrations plus élevées qu'initialement.

A titre d'information, le tableau suivant donne quelques effets sur les personnes :

Concentration		Effets
ppm	mg/m ³	
5	3,5	Odeur perceptible par certains individus
25	18	Odeur perceptible par la plupart des individus
3000 à 4000	2100 à 2800	Toux importante irritation grave des yeux, du nez et de la gorge. Effets sérieux
5000 à 12000	3500 à 8400	Spasme respiratoire, asphyxie rapide (fatal en quelques minutes)

L'ammoniac est un fluide sans action sur la couche d'ozone, faible ou nulle sur l'effet de serre.

Utilisations

L'ammoniac est utilisé depuis plus de 150 ans dans l'industrie agro-alimentaire. Son coût de production est faible ; une grande partie de la production est destinée à la fabrication d'engrais pour l'agriculture.

Dans le domaine frigorifique, ses performances thermodynamiques lui confèrent un très bon rendement énergétique, bien adapté aux basses températures (congélation, surgélation...).

Précautions d'emploi

En raison de sa dangerosité, l'utilisation de l'ammoniac nécessite :

- une bonne connaissance du produit par les utilisateurs,
- un entretien et un suivi très rigoureux du fonctionnement des installations et de la maintenance préventive,
- des équipements complémentaires : vannes de sectionnement et de sécurité, matériels de détection, matériels de protection (combinaisons, appareils respiratoires isolants, douche, rince œil, ventilation d'extraction).

Pour plus de détails sur ce fluide, on consultera la fiche toxicologique de l'I.N.R.S jointe en annexe D.

3.2.4 Normes et textes réglementaires applicables aux installations frigorifiques

Normes

Le texte de référence est la norme européenne NF EN 378.

Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur

Exigences de sécurité et d'environnement :

- *partie 1 : exigences de base, définitions, classification et critères de choix (avril 2008)*
- *partie 2 : conception, construction, essais, marquage et documentation*
- *partie 3 : Installation in situ et protection des personnes*
- *partie 4 : fonctionnement, maintenance, réparation et récupération,*

Textes réglementaires

Domaine terrestre

Les textes qui s'appliquent aux installations frigorifiques terrestres sont nombreux. Depuis le 29 mai 2002, les dispositions de la directive 97/23/CE "Equipements sous pression" ont été introduites dans la réglementation nationale. L'arrêté du 16/07/1997 concerne les installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène.

Domaine maritime

Au niveau international (OMI) :

Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels, 2005 Résolution MSC 79/23/Add. 3 Annexe 38 :

- annexe IV : Recommended practice for ammonia refrigeration systems in manned spaces,
- appendice 11 : Refrigeration systems using toxic refrigeration such as ammonia.

Réglementation nationale :

- arrêté du 23/11/1987 traitant des installations véhiculant des fluides frigorigènes à bord des navires ;
- division 228 (JO 12/09/08) Navires de pêche de longueur égale ou supérieure à 24 mètres. Article 228-4-15 *Installations frigorifiques pour la conservation de la prise.*

A noter que, le navire ayant été construit en 1981, l'installation frigorifique a été réalisée selon la réglementation en vigueur à l'époque (division 221), laquelle était différente de la division 228 actuelle, article 228-4-15, cette dernière imposant en particulier pour les installations frigorifiques *utilisant des agents réfrigérants toxiques ou inflammables* dont l'ammoniac :

- *des dispositifs permettant la vidange vers un emplacement où l'agent réfrigérant ne présente aucun danger pour le navire ou les personnes se trouvant à bord,*
- *tout local contenant des machines frigorifiques doit être séparé de tout local adjacent par des cloisons étanches au gaz. Dans tout local contenant des machines frigorifiques et circuits d'ammoniac il doit être prévu : un dispositif de détection de fuite pourvu d'un indicateur situé à l'extérieur du local adjacent à l'entrée et provoquant l'arrêt des compresseurs ainsi qu'un système de ventilation et un système de pulvérisation d'eau.*
- *une liaison entre les dispositifs d'alarme des locaux contenant les machines frigorifiques et la timonerie ou les postes de sécurité ;*
- *l'affichage, à bord du navire, de notes fournissant des instructions pertinentes sur les méthodes d'exploitation des installations frigorifiques et sur les consignes en cas d'urgence.*

Ce même article mentionne des prescriptions particulières aux installations de congélation de poisson, lesquelles doivent répondre au règlement d'une société de classification reconnue pour ce qui concerne leur conception et leurs équipements. Elles se rapportent plus spécialement à la conception des serpentins des cuves de congélation et à l'installation de sectionnements supplémentaires destinés à limiter l'importance des fuites de fluide frigorigène en cas d'avarie.

3.2.5 Accidents précédents du même type

En février 2007, alors qu'il se trouvait en arrêt technique au chantier CNOI, une fuite d'ammoniac s'était produite lors d'une intervention sur des serpentins d'une cuve à poisson à bord d'un thonier senneur d'un autre armement. Cette fuite avait été provoquée par l'ouverture par le bord d'une vanne sur le circuit d'ammoniac.

Cinq personnes dont le frigoriste du navire avaient été intoxiquées. *A priori*, il n'y avait pas eu à l'époque d'analyse de l'accident dont le *BEA*mer n'avait d'ailleurs pas eu connaissance.

4 EQUIPAGE

4.1 Effectif

Depuis le 16 mai 2005, l'effectif est de 23 personnes (décision d'effectif du 15 janvier 2007) et comprend 6 officiers, dont le capitaine, et 17 personnels d'exécution.

L'état-major et la maistrance sont de nationalité française, soit au total 8 personnes. Les autres membres de l'équipage pont, machine et service général, sont de nationalités ghanéenne, ivoirienne et sénégalaise.

Service pont

Capitaine, second capitaine, lieutenant, maître d'équipage, chef ramendeur et 10 matelots.

Service machine

Chef mécanicien, second mécanicien, troisième officier mécanicien, électricien frigoriste et 3 graisseurs.

Service général

Cuisinier et aide cuisinier.

Le jour de l'accident, un matelot supplémentaire était embarqué, portant l'effectif présent à bord à 24 personnes. Enfin, un autre chef mécanicien avait été mis en mission par l'armement, à Mahé, pour suivre les travaux.

4.2 Formation et expérience

Le capitaine

Titulaire d'un brevet de capitaine de pêche (1995) et du certificat général d'opérateur, il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

Le second capitaine

Titulaire d'un brevet de capitaine de pêche (1993) et du certificat général d'opérateur, il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

Le lieutenant

Titulaire d'un brevet de patron de pêche (1988), il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

Le chef mécanicien

Breveté officier mécanicien de 3^{ème} classe électromotoriste (1983), il possède également :

- le brevet d'aptitude à l'exploitation des embarcations et radeaux de sauvetage,
- le certificat de qualification avancée à la lutte contre l'incendie.

Il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

Le second mécanicien

Breveté officier mécanicien de 3^{ème} classe électromotoriste (1987) et officier mécanicien pêche (1996), Il possède également :

- le brevet d'aptitude à l'exploitation des embarcations et radeaux de sauvetage,
- le certificat de qualification avancée à la lutte contre l'incendie.

Il a commencé à exercer les fonctions d'officier mécanicien à bord des thoniers en janvier 1988 et jusqu'en 2004, à l'Armement Coopératif Finistérien, devenu COMASUD en 1999, où il a été successivement officier mécanicien, second mécanicien et chef mécanicien sur des thoniers de 55 mètres.

Il a ensuite effectué des embarquements à la COBRECAF et à la SURF, avant de revenir à la pêche au thon chez Saupiquet et SAPMER, lorsque l'armement a acquis les 2 thoniers auprès de COBRECAF. Ainsi, il a été chef mécanicien pendant 18 mois à bord du *TAKAMAKA* jusqu'à la vente de celui-ci et sa livraison à Pago Pago, le 6 juillet 2008.

Il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 10 octobre 2008.

Le troisième mécanicien

Titulaire des certificats de capacité (1977) et de motoriste à la pêche (1971), il détient également, depuis le 20 mars 2007, un brevet de mécanicien 750 kW. Il possède en outre un certificat de formation de base à la sécurité.

Il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

L'électricien frigoriste

Identifié en qualité de marin le 08 octobre 2008 pour un embarquement le 16 du même mois, il n'a pas de titre de formation maritime. Il possède un bac professionnel énergie obtenu en juillet 2008.

Il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 16 octobre 2008, après avoir obtenu une dispense de formation professionnelle délivrée au Guilvinec. C'est sa première marée à bord du *TITAN*.

Le maître d'équipage

Titulaire du certificat de marin pêcheur qualifié (1990), il est embarqué sur *LE TITAN* depuis le 27 novembre 2008.

Le jour de l'accident, 5 officiers dont le commandant étaient titulaires du certificat de spécialiste du feu ou équivalent.

Les trois officiers pont possèdent également :

- le brevet d'aptitude à l'exploitation des embarcations et radeaux de sauvetage,
- le certificat de qualification avancée à la lutte contre l'incendie,
- le certificat de formation de base à la sécurité.

Le second capitaine est aussi délégué du personnel à l'hygiène sécurité et prévention.

En ce qui concerne le personnel machine, tous les officiers sont des professionnels confirmés et expérimentés. A noter toutefois que c'était le premier embarquement du chef mécanicien sur ce navire lequel, cependant disposait d'une expérience des installations frigorifiques à l'ammoniac à bord d'autres thoniers.

L'électricien frigoriste effectuait également son premier embarquement dans cette fonction. Auparavant, il avait accompli un stage d'un mois et demi à bord du thonier sennear *TALENDUIC* de l'armement CMB, dont l'installation frigorifique à NH₃ est pratiquement identique à celle du *TITAN* (compresseurs à vis au lieu de compresseurs à pistons).

Seul le second mécanicien possédait à la fois une réelle expérience de ce type d'installations frigorifiques et du navire, en raison de fonctions précédentes exercées à bord du *TAKAMAKA*, sister ship du *TITAN*.

4.3 Organisation du travail au port

Machine

Il n'y a pas de quart en salle de contrôle. Le personnel travaille à la journée avec un officier de service qui dispose des alarmes en cabine.

Le second mécanicien est chargé du moteur principal et groupes électrogènes.

L'électricien frigoriste est responsable de la conduite, de l'entretien et des travaux de réparation de l'installation frigorifique du bord. Une fois par semaine, il procède à un relevé général des paramètres de fonctionnement de l'installation ; tous les jours, il effectue un relevé

des températures et de la concentration de la saumure des cuves à poisson. Pendant le débarquement de la pêche, il se consacre pour l'essentiel au maintien en froid et au réglage des niveaux de saumure des cuves à poisson.

Pont

Tout le personnel pont est occupé, pendant la durée de l'escale, au déchargement de la pêche.

4.4 Embarquements / congés

Pour les officiers et l'équipage français, la durée des embarquements et des congés alternent de la façon suivante :

- embarquement 14 semaines / 7 semaines de congés,
- embarquement 7 semaines / 7 semaines de congés puis,
- embarquement 14 semaines / 7 semaines de congés.

5 GESTION DE LA SECURITE A BORD

5.1 Documents et matériel spécifique

Le navire possède :

- un rôle d'abandon,
- un rôle d'incendie,
- un document unique de prévention (DUP) où figurent les installations frigorifiques avec pour danger identifié une fuite de réfrigérant mais il n'est pas renseigné. Cinq membres d'équipage sont spécialistes du feu.

En ce qui concerne le matériel individuel de protection, le bord disposait avant l'accident de :

- 2 appareils respiratoires ARI et 6 bouteilles de recharge,
- 2 vêtements de protection,

- 1 combinaison complète de protection chimique NH₃ et 12 masques respiratoires NH₃.

Ce matériel est entreposé en deux endroits différents :

- dans la coursive bâbord, à côté du carré officiers dans lequel est placée la civière,
- dans l'armoire principale incendie, au pont supérieur à l'avant de la coursive tribord où se trouve la tenue de protection NH₃.

5.2 Observations et prescriptions à l'issue des visites annuelles de sécurité

Du fait de l'exploitation des thoniers dans l'Océan Indien, les visites annuelles de sécurité ont eu lieu principalement à Port Victoria, Mahé (Seychelles) ou Antseranana anciennement Diégo-Suarez (Madagascar), parfois sur la côte d'Afrique de l'Ouest, à Abidjan.

Le matériel individuel de protection avait fait l'objet de prescriptions lors de la visite annuelle de sécurité du 20 septembre 1998, concernant l'embarquement de masques supplémentaires (autant de masques que de mécaniciens) et d'une 2^{ème} combinaison NH₃ avec bottes et gants. Cette dernière prescription a été réitérée lors de la visite annuelle du 31 août 1999.

Le 17 mai 2005, les inspecteurs constatent que la périodicité des exercices de sécurité n'est pas satisfaisante : aucun exercice entre janvier 2004 et mai 2005. Le rapport prescrit que : « *des exercices réguliers sont à prévoir : Incendie, Abandon, Marpol. Un exercice par marée est recommandé. Une copie du rapport d'un exercice de chaque type sera fourni au CSN du Finistère Sud (un par marée)* ».

Cette prescription est renouvelée à la visite annuelle du 09 mai 2006. Elle figure encore dans le rapport de visite annuelle du 25 juillet 2007 : « *l'ouverture d'un registre des exercices de sécurité permettant de contrôler leur réalisation régulière* » est exigée avant départ ainsi que « *le remplacement de l'ensemble des cartouches des masques NH₃ et sous 3 mois l'affichage dans la coursive du plan incendie / abandon mis à jour en utilisant des symboles normalisés* ».

On relève par ailleurs les observations suivantes :

« Il est recommandé de rassembler le matériel incendie (équipements pompiers, appareils respiratoires...) dans un lieu commun. L'exercice incendie a montré un manque d'organisation de la lutte et de la protection. La commission a constaté une lenteur significative dans le déroulement des opérations (équipement, mise en pression des manches...) L'ensemble de la documentation n'est pas tenue par l'équipage. Une réelle implication du commandant est nécessaire afin de mettre à niveau ce navire ».

Le rapport de visite annuelle du 1^{er} juillet 2008 fait état de nouvelles insuffisances en matière de sécurité.

Au cours de cette visite, un exercice d'incendie est effectué sur le thème suivant : *incendie dans le local frigo ammoniac avec petite fuite d'ammoniac et évacuation d'une victime.* A cette occasion, des difficultés d'utilisation de la civière, qui n'est pas d'un modèle polyvalent pouvant être treuillé, ont été mises en évidence.

Il a été aussi constaté que des bidons d'essence étaient stockés dans le tunnel frigo. Un tel stockage est dangereux ; de plus la présence de ces bidons peut gêner le cheminement vers l'échappée.

A partir de 2008, cette situation s'améliore. En effet, depuis l'ouverture du registre des exercices de sécurité, on note :

- un exercice d'abandon le 1^{er} septembre 2007 à Antseranana anciennement Diégo-Suarez,
- 6 exercices pour la période du 14 avril 2008 au 30 octobre 2008 sur des thèmes divers : instructions et essais des brassières de sauvetage et des manches à incendie, abandon du navire et mise à l'eau des radeaux, brancardage, incendie dans le tambour machine. Le dernier exercice portait sur un feu d'origine électrique dans le local frigo fret, avec évacuation du frigoriste par brancard.

La civière polyvalente, commandée par le bord le 16 juillet 2008 suite à la prescription de la dernière visite annuelle, n'était pas encore livrée le jour de l'accident.

6 CHRONOLOGIE

Cette chronologie a été établie à partir des auditions, conduites par les enquêteurs, des témoins de l'accident et du personnel des secours, du rapport du capitaine et du compte rendu technique de l'armement.

Toutes heures TU + 4

Du **26 novembre** (arrivée du *TITAN* à Port Victoria, Mahé, Seychelles) au **1^{er} décembre 2008** :

- débarquement de la pêche,
- tirage au vide du circuit de distribution d'ammoniac aux serpentins des cuves à poisson,
- vérification du vide du circuit d'ammoniac des serpentins,
- essais à la mer du moteur principal,
- contrôle de l'absence d'ammoniac dans le circuit d'aspiration des cuves à poisson,
- début des travaux de remplacement des vannes d'aspiration des cuves dans le tunnel (équipe d'une entreprise extérieure et mécaniciens du bord, assistés d'un chef mécanicien missionné par l'armement).

De **07h00 à 23h30** le **2 décembre 2008**, travaux dans le tunnel (équipe extérieure et équipage). D'autres travaux sont parallèlement effectués par les mécaniciens du bord sur le skiff et le treuil de senne.

Le 3 décembre 2008

Dans le tunnel :

A **07h00**, reprise des travaux dans le tunnel.

A **13h00**, après une interruption pour la pause du déjeuner, les ouvriers de l'entreprise extérieure, assistés de membres de l'équipage, reprennent les travaux de remplacement des vannes. Dix personnes sont alors présentes dans le tunnel :

- 5 intervenants de l'entreprise (3 soudeurs, 1 chef d'équipe et 1 préparateur à l'avant du tunnel) qui poursuivent le soudage des corps de vannes.

- 5 membres de l'équipage (chef mécanicien, second mécanicien, 3^{ème} mécanicien et 2 graisseurs).

Le chef et le second procèdent au nettoyage des corps et des sièges des vannes avant le remontage des chapeaux par le 3^{ème} mécanicien, tandis que l'un des deux graisseurs nettoie le tunnel au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

A **14h30**, 13 cuves sont encore ouvertes (les chapeaux des vannes ne sont pas encore montés) dont 3 où les corps de vannes ne sont pas encore soudés.

Vers **15h30**, le second mécanicien quitte le tunnel pour se rendre à l'atelier, chercher du produit de nettoyage.

Dans le local des compresseurs :

Le frigoriste, sur demande du chef mécanicien missionné par l'armement, (lequel, lors d'une ronde avait constaté une pression élevée dans les chambres des compresseurs), procède à la purge de ceux-ci par tirage au vide pour faire tomber la pression. Il tient à portée de main son masque respiratoire de protection.

Cette opération, habituelle pour l'intéressé, prend environ une quinzaine de minutes par compresseur et s'effectue au moyen d'un flexible branché sur la vanne de purge du compresseur et relié à l'hydro-éjecteur, situé dans l'entrepont.

Vers **15h45**, après avoir purgé le compresseur n° 4, le frigoriste est en train de purger le compresseur n° 3 quand le second mécanicien passe par le local frigo fret pour se rendre à l'atelier, Ce dernier, intrigué par les pressions lues sur les manomètres des compresseurs (selon ses déclarations), interrompt l'opération, dans le but de mesurer la pression des bouteilles flood et en même temps de lui montrer une autre méthode de purge, en procédant à une démonstration sur le compresseur n° 2, sans explication préalable.

Sur demande du second mécanicien, il ouvre la vanne A2 (aspiration du compresseur n° 2 sur le circuit rouge). Il voit ensuite le second mécanicien ouvrir une autre vanne située sur le collecteur d'aspiration provenant du tunnel, au niveau du réservoir flood n° 2.

Soudain il aperçoit un nuage d'ammoniac envahir l'entrepont, la porte de communication étant restée ouverte.

A l'extérieur du navire

Le chef mécanicien missionné par l'armement, occupé sur le quai à gérer le réapprovisionnement en ammoniac, aperçoit un groupe de personnes courant dans leur direction et s'éloignant du *TITAN*. Il est suivi de membres de l'équipage et, juste derrière eux, un ouvrier de l'entreprise, le visage ensanglanté. Une très forte odeur d'ammoniac se dégage du navire.

Comprenant immédiatement la gravité de la situation, le capitaine court vers l'agence, distante d'une centaine de mètres, afin d'alerter les services de secours.

Entre temps, le chef mécanicien missionné par l'armement a réussi à monter à bord du *TITAN*. Equipé d'un appareil respiratoire autonome, il pénètre dans le tunnel où il découvre plusieurs corps sur le parquet. Au même moment, les pompiers arrivent.

Cinq personnes sont décédées : le chef mécanicien du bord, quatre ouvriers de l'entreprise, trois de nationalité indienne et le quatrième de nationalité seychelloise. Cinq autres personnes sont intoxiquées : le second mécanicien, un matelot sénégalais, un matelot ghanéen, un graisseur ivoirien ainsi qu'un ouvrier de l'entreprise, de nationalité indienne. Ce dernier décédera quelques jours plus tard après son transfert à l'hôpital. Le 3^{ème} mécanicien est légèrement brûlé par des projections d'ammoniac liquide.

L'armement est informé et déclenche sa procédure de gestion de crise. Inspirée du code ISM, cette procédure, dont la dernière révision (n° 10) date du 26 août 2008, est assortie de plans d'urgence adaptés à l'événement.

Le 4 décembre 2008

A **09h00**, activation de la cellule de crise de l'armement.

A **11h00**, la décision est prise de mettre le navire au mouillage par mesure de sécurité.

A **12h45**, le navire est au mouillage extérieur.

A **16h00**, le frigoriste informe le capitaine sur les circonstances de l'accident.

Le 5 décembre 2008

A **10h00**, suite aux différents contrôles de l'installation frigorifique, la décision est prise de faire revenir le navire à quai.

A **17h00**, retour du navire à quai.

Arrivée à Mahé, d'une cellule médico-psychologique.

Après autorisation des autorités seychelloises, les travaux reprennent le **7 décembre**. Ils seront exécutés par une équipe du Chantier Naval de l'Océan Indien (CNOI) venue de l'île Maurice et achevés le **13 décembre 2008**. Le navire repart en exploitation le **15 décembre 2008**.

La cellule de crise de l'armement est désactivée le **15 décembre 2008**.

Réactions immédiates :

Le frigoriste

Il referme aussitôt la vanne A2. Par précaution, ne sachant pas d'où provient la fuite d'ammoniac, il ferme également la vanne de purge du compresseur n° 3 et la vanne de sortie de l'hydro-éjecteur. Puis, équipé de son masque de protection, il descend dans le compartiment machine.

Arrivé près de la porte d'accès au tunnel, il aperçoit un ouvrier de l'entreprise, allongé et inconscient. Il tente de le secourir mais, malgré ses efforts, ne parvient pas à le remonter hors du compartiment. Il doit d'ailleurs quitter le compartiment machine et le navire car son masque NH_3 n'est plus efficace, la cartouche étant saturée.

Le second mécanicien

Il referme immédiatement la vanne qu'il avait entrepris de manœuvrer au même moment en entendant crier « ammoniac ». Il se précipite alors dans le compartiment machine, sans masque respiratoire de protection. Il descend jusqu'à proximité de l'entrée du tunnel, où il ne peut pénétrer à cause du brouillard d'ammoniac qui règne à l'intérieur.

Il remonte ensuite dans le local des compresseurs et vérifie la fermeture de toutes les autres vannes. Fortement incommodé par les vapeurs, il quitte le navire et, arrivé sur le quai, il s'évanouit.

Après avoir repris connaissance et s'être rincé à l'eau, il s'équipe d'un premier appareil respiratoire autonome, mais la bouteille est vide puis, d'un second également vide. Finalement, c'est muni d'un masque respiratoire à cartouche qu'il remonte à bord avec le second capitaine. Il pénètre un court instant dans le tunnel au moment où les pompiers arrivent puis quitte le navire. Il sera ensuite conduit à l'hôpital par l'agent de la compagnie.

Les autres personnes présentes dans le tunnel

Dès que l'ammoniac envahit le tunnel, les personnes présentes essaient de sortir mais cinq d'entre elles n'y parviennent pas car trop éloignées des issues et ne disposant pas de masque.

Seuls le 3^{ème} mécanicien et le graisseur, se trouvant à proximité de la cuve 14, soit à quelques mètres seulement de la sortie donnant dans le compartiment machine, réussissent à évacuer. L'un des ouvriers parvient également à sortir par l'échappée du tunnel.

Deux autres graisseurs présents dans le compartiment machine sont certainement remontés avant eux.

Toutes les personnes présentes à bord fuient le navire.

Lorsque les pompiers arrivent à bord, le frigoriste et le chef mécanicien missionné par l'armement, qui se sont entre temps équipés, les guident vers le tunnel. Mais seul le frigoriste s'est équipé de la tenue complète de protection NH3.

Organisation des secours

Alertés à 15h53 par la sécurité du port, les sapeurs-pompiers de Mahé arrivent à bord peu après 15h55. Ils forment un binôme puis, après avoir arrosé d'eau leurs tenues de pompiers, ils descendent dans le compartiment machine, guidés par des membres d'équipage.

Arrivés devant la porte d'accès au tunnel des cuves à poisson, ils découvrent à cet endroit une première victime inanimée, l'un des ouvriers de nationalité indienne de l'entreprise extérieure.

Deux autres victimes inanimées, de nationalité indienne, appartenant également à la même entreprise, sont ensuite extraites du tunnel, puis ils procèdent à l'extraction du chef mécanicien et du chef d'équipe seychellois.

Un médecin hospitalier dépêché sur les lieux procède à l'examen des victimes et constate leur décès.

L'évacuation des victimes a été très difficile en raison d'une part de la présence d'un brouillard d'ammoniac dans le tunnel, d'autre part de la configuration des locaux, en particulier de la disposition des escaliers et de l'utilisation d'une civière à brancards.

Certaines victimes, dont le chef mécanicien, ont pu être évacuées par l'échappée du tunnel. Au total, l'intervention à bord du navire a mobilisé la présence de 25 pompiers.

Cinq autres personnes intoxiquées par les émanations d'ammoniac ont été conduites à l'hôpital à Port Victoria.

Après l'extraction des victimes, les pompiers ont fait procéder par un expert à une évaluation de la concentration en NH_3 dans le tunnel à la recherche d'une fuite éventuelle. Après contrôle, il a été constaté que l'atmosphère dans le tunnel ne contenait que peu d'ammoniac, excepté au niveau des tuyauteries où les vannes avaient été enlevées. L'ammoniac s'est donc échappé très vite à l'air libre où il s'est rapidement dilué.

Ils se sont rendus ensuite dans le local des compresseurs où aucune fuite d'ammoniac n'a été détectée et les niveaux des capacités où l'ammoniac a été stocké n'ont pas varié.

Les pompiers ont quitté le bord vers 19h00 après condamnation des accès au tunnel et au local des compresseurs par les services de police, au moyen de cordes et de rubans de balisage. Aucun sapeur-pompier n'a été blessé ou intoxiqué durant l'intervention.

Caractéristique du dégagement d'ammoniac dans le tunnel

La fuite provoquée par la manœuvre d'ouverture/fermeture de la vanne a été très brève. Elle s'est caractérisée par l'émission instantanée d'ammoniac de type « bouffée » et par un régime d'écoulement transitoire diphasique. L'éjection d'ammoniac sous forme de vapeur a résulté en partie de la vaporisation du liquide contenu dans le réservoir flood n° 2 (plein)

consécutives à l'abaissement de pression. Cette "flash vaporisation" s'est produite au moment de l'ouverture de la vanne.

Elle s'est accompagnée de formation d'un aérosol composé de fines gouttelettes de liquide en suspension dans le gaz avant de se propager sous forme de nuage dans tout le tunnel par plusieurs points du circuit restés ouverts, ceux où les chapeaux n'avaient pas été remontés sur les corps des vannes ou les corps de vannes non encore soudés.

Cet aérosol explique les projections de gouttelettes de liquide reçues par le 3^{ème} mécanicien qui se trouvait à côté de la cuve n° 15 (la plus proche du local des compresseurs) lorsque le gaz est sorti par les corps des vannes et l'aspect de brouillard observé par les pompiers à leur arrivée.

En considérant un volume du tunnel d'environ 80 m³, il suffit de moins de 1200 g d'ammoniac gaz (1 bar – 20 °C) pour atteindre le Seuil des Effets Létaux (SEL) de 14000 mg/m³.

Nota : immédiatement après l'accident, plusieurs hypothèses ont été envisagées par l'armateur, en l'absence d'informations sur les circonstances. L'observation d'une couleur noirâtre au début du dégagement de gaz a conduit à soupçonner la rupture d'un bouchon d'huile dans un serpentin de cuve, libérant une poche d'ammoniac liquide.

7 DETERMINATION & DISCUSSION DES FACTEURS DU SINISTRE

La méthode retenue pour cette détermination a été celle utilisée par le BEAMer pour l'ensemble de ses enquêtes, conformément au Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), résolution MSC 255(84).

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.

Ils ont notamment analysé les dispositions prises tant par le bord que par l'entreprise prestataire pour assurer la sécurité pendant les travaux et ont pu les comparer avec les règles de sécurité mises en place par le Chantier Naval de l'Océan Indien (CNOI) à l'île Maurice.

De son côté, la « Seychelles Maritime Safety Administration » S.M.S.A. a diligenté une enquête technique.

7.1 Facteurs naturels

Lorsque l'accident s'est produit, le navire était à quai, Aucun **facteur naturel**, tel que les conditions météorologiques, n'est intervenu dans la cause et le déroulement des faits.

7.2 Facteurs matériels

7.2.1 Configuration des locaux - Moyens d'évacuation - Ventilation - Protection

Tunnel frigo

Il se trouve sous le pont principal, dans l'axe longitudinal du navire. De forme semi-circulaire, il s'étend de l'avant à l'arrière, entre les cuves à poissons, du couple 70 au couple 35. Il est fermé à son extrémité avant par une cloison étanche (couple 70). Sur l'arrière, une porte

donne accès à la machine. Ses dimensions sont les suivantes : longueur 22,60 m, largeur 1,60 m, hauteur 2,25 m. Il concentre un nombre important de composants du circuit frigorifique (vannes, tuyautages, raccords etc.) avec le risque potentiel de fuite afférent.

Le circuit de distribution d'ammoniac est disposé le long des parois, à bâbord et à tribord, ainsi que les pompes de brassage de la saumure des cuves.

Les tuyauteries n'étant pas protégées par des bandes grasses, elles sont très corrodées par les effets de condensation et cette corrosion affecte aussi les parois de l'ensemble du tunnel.

Au centre du tunnel, un parquet de circulation en plaques de tôle de 0,40 m de large est aménagé sur toute la longueur, à 1 mètre au-dessus de la cale. Un rail de manutention est installé au plafond.

L'accès au tunnel se fait par deux moyens, dont un de secours :

- une porte étanche à l'arrière, communiquant avec le compartiment machine, équipée d'un rideau d'eau et de deux prises d'incendie,
- une échappée située au milieu du tunnel, au niveau du couple 55, fermée par un panneau étanche, débouchant sur le pont principal au milieu de l'entrepont de travail, entre les cuves à poissons. Elle est également équipée d'un rideau d'eau. Elle sert aussi d'échappée pour le compartiment machine qui, lui, dispose en plus d'une échappée à tribord au pont principal à côté des centrifugeuses et débouchant à l'extérieur dans la cheminée.

La configuration du tunnel, la disposition de ses moyens d'accès et de cheminement ne permettent pas l'évacuation rapide du personnel en cas d'urgence.

Par ailleurs, la largeur du parquet de circulation ne permet pas à deux personnes de se croiser normalement ou cheminer de front. De plus, la partie avant ne possède pas d'issue. Quelqu'un se trouvant dans cette zone doit parcourir environ 10 mètres avant d'atteindre l'échappée.

Enfin, le tunnel ne dispose pas de ventilation.



**Porte étanche de communication
entre tunnel et compartiment machine**



Tunnel, vue d'ensemble

Local compresseurs

Ce local, dénommé aussi local frigo fret, où sont installés les équipements de production de froid (compresseurs, condenseurs, réservoir accumulateur de liquide, réservoirs flood, pompes...), est situé au pont principal, à bâbord.

Il dispose de trois accès fermés par des portes étanches : l'une à l'avant communiquant avec l'entrepont de travail, la seconde approximativement au milieu, donnant sur le compartiment machine à côté de la salle de contrôle, la troisième à l'arrière débouchant dans l'atelier. Les trois portes sont équipées d'un rideau d'eau.

Ventilation

La ventilation des locaux de l'installation frigorifique comprend deux ventilateurs dans le local compresseurs, l'un d'extraction, aspirant au dessus des compresseurs, l'autre refoulant.

Il n'y a pas de ventilation additionnelle pour les locaux présentant des risques ammoniac ni de détecteur d'ammoniac.

Le jour de l'accident :

- La ventilation du compartiment machine était en service. D'après l'équipage, le régime de ventilation était normal. Le rapport technique de l'armement indique que le compartiment machine était en surpression (ventilateur d'extraction stoppé) ce qui, dans ce cas, contribuait à ventiler un peu la partie arrière du tunnel par l'ouverture de la porte étanche de communication et du panneau de l'échappée.
- La ventilation du local des compresseurs était aussi en service mais, d'après l'équipage, le sens de rotation du ventilateur aspirant était inversé (branchement incorrect du moteur électrique). Par conséquent, des vapeurs d'ammoniac ont pu être ré aspirées et pénétrer dans le local. Cette anomalie a été corrigée depuis.

Les enquêteurs du *BEA*mer considèrent que la disposition des issues et l'absence de ventilation du tunnel frigorifique constituent des **facteurs aggravants** des conséquences de l'accident.

7.3 Facteurs humains

7.3.1 Disposition du circuit d'ammoniac avant intervention sur les vannes

Tous les circuits de la partie basse pression, c'est à dire situés en dehors du local de production de froid ont été isolés et purgés par tirage au vide.

L'ammoniac a été ramené dans les réservoirs flood circuit rouge (complètement rempli), circuit bleu (rempli à moitié) et dans le réservoir accumulateur de liquide (plein au 3/4) soit au total environ 6 tonnes. C'est le second mécanicien qui a effectué cette opération avec l'assistance de l'électricien frigoriste.

Le tirage au vide est réalisé par un éjecteur branché à l'aspiration des pompes NH₃. Cette opération s'est déroulée du 29 novembre au 1^{er} décembre, après le débarquement de la pêche. A la fin de l'opération, la pression lue aux manomètres des pompes était comprise entre 0 et -1 bar.

Pour isoler le circuit, les vannes suivantes ont été fermées :

- sur les réservoirs flood : les 2 vannes retour des collecteurs d'aspiration des cuves (14 et 15), les 4 vannes d'aspiration (6, 7, 8, 9) et les 4 vannes de refoulement (10, 11, 12, 13) des pompes NH₃ ainsi que les vannes d'injection de liquide des circuits bleu et rouge (4, 5, R1, R2, R3, R4) ;
- sur les condenseurs, les 2 vannes d'entrée (32 et 33) ;
- sur chaque clarinette, les 4 vannes d'aspiration des compresseurs aux réservoirs flood (A1 à A4) ;
- au refoulement des compresseurs, les 4 vannes à la sortie des déshuileurs, après les clapets de non retour (28, 29, 30, 31) ;
- sur l'accumulateur de liquide, la vanne départ liquide vers les réservoirs flood.

Si le circuit a bien été isolé, il n'a cependant pas été sécurisé. En effet, une fois les vannes d'aspiration des cuves enlevées, la sécurité du tunnel reposait uniquement sur l'étanchéité des deux vannes de retour des collecteurs d'aspiration des cuves aux réservoirs flood (14 et 15). Il n'y avait pas de vannes de barrage supplémentaires sur le circuit, ni de brides pleines ou de dispositifs similaires pour assurer une obturation complémentaire en cas de fuite.

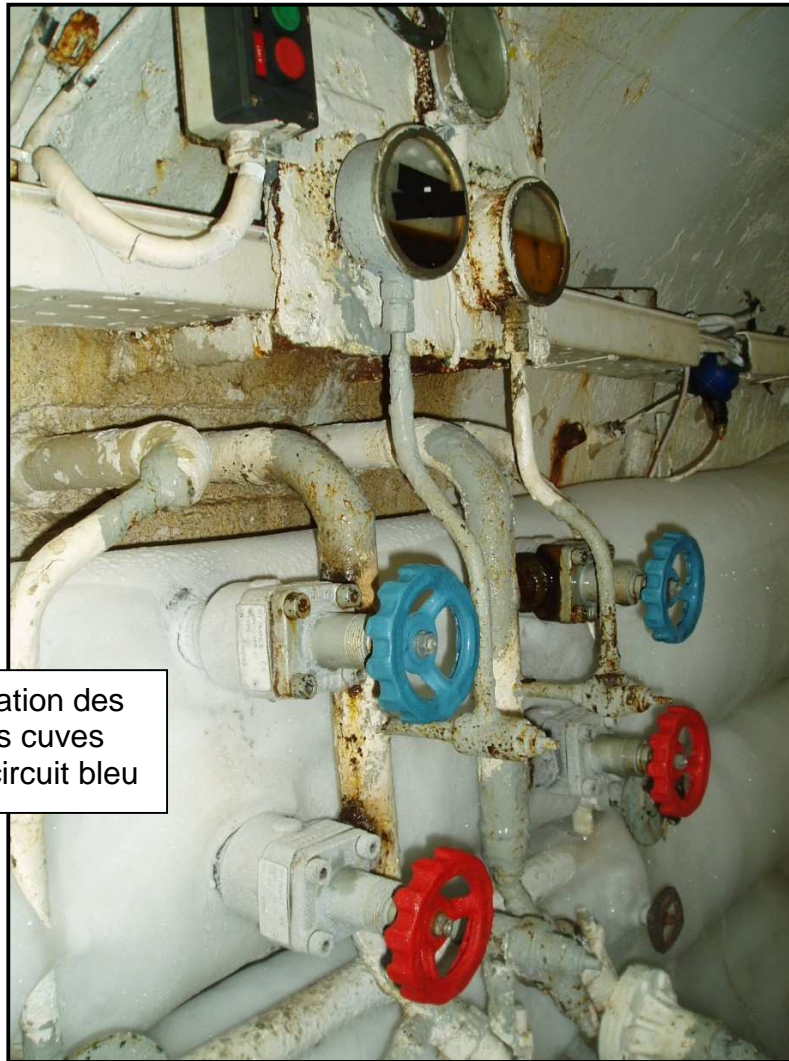
De plus, en dehors d'une défaillance matérielle toujours possible, elles étaient restées accessibles et manœuvrables (leurs volants de manœuvre n'avaient pas été cadenassés ou enlevés). Par ailleurs, il n'existait aucune identification sur les vannes ni de signalisation indiquant leur position ouverte ou fermée :

L'étanchéité de ces vannes n'est pas en cause, après ouverture / fermeture le circuit a retrouvé son intégrité. L'analyse des faits a montré qu'il n'y avait pas eu de défaillances matérielles d'un composant du circuit pouvant être retenues comme facteur contributif déterminant de l'accident.

L'absence de sécurisation des circuits pendant les travaux est un **premier facteur déterminant** de l'accident.

A noter aussi que, les réservoirs flood étant isolés du circuit d'aspiration des compresseurs (fermeture des clarinettes) et des pompes NH₃ (fermeture de leurs vannes d'aspiration), il n'était pas possible de suivre l'évolution de leur pression interne par les manomètres des compresseurs ou par ceux des pompes. Par ailleurs, en cas de surpression dans le circuit des compresseurs, celui-ci n'était plus protégé par les soupapes de décharge des réservoirs flood ; cependant, ce risque n'était pas très important. En effet, les compresseurs ne contenant pas de NH₃ liquide, le risque de montée en pression est très limité (dilatation du gaz NH₃ « enfermé » entre les vannes). De plus, ces machines ayant été normalement éprouvées en usine au double de la pression maxi de service, un risque de détérioration est somme toute fort improbable.

Il convient enfin de souligner que l'utilisation du manomètre d'aspiration de la pompe nécessite l'ouverture de la vanne d'aspiration correspondante et, de ce fait, entraîne une entrée de liquide dans le corps de pompe (sous vide). Il faut ensuite prendre toutes les précautions afin d'éviter de « piéger » une poche de NH₃ liquide, en raison du coefficient de dilatation volumique très élevé de ce liquide.



Vannes d'aspiration des serpentins des cuves
Circuit rouge – circuit bleu

Vue intérieure du tunnel frigo – Installation en service.
On remarquera l'importance de la corrosion et l'état de certains manomètres



7.3.2 Augmentation de la pression interne des compresseurs

Le 3 décembre après-midi, au cours d'une ronde, le chef mécanicien missionné par l'armement constate une pression élevée (12 bars correspondant à 13 bars absolus soit 33 °C) dans la chambre d'un compresseur et demande au frigoriste de purger les compresseurs pour faire tomber la pression. Selon le second mécanicien, l'état-major machine n'était pas informé de cette opération.

Quelques instants plus tard, le second mécanicien passe dans le local des compresseurs en se rendant à l'atelier. D'après ses déclarations, il constate que les manomètres des deux compresseurs non encore purgés sont au maximum, aiguilles en butée sur chacun des manomètres : 25 bars au refoulement (HP), 12 bars à l'aspiration (BP). Cependant, à l'arrêt, les pressions à l'intérieur des compresseurs entre l'aspiration et le refoulement s'équilibrent (fuites aux clapets). En cas de surpression dans la chambre HP, le compresseur est protégé par une soupape de sécurité interne qui décharge l'excès de pression vers la chambre BP.

Les aiguilles des deux manomètres étant en butée, dans ce cas, la valeur de pression à retenir est celle qui est la plus élevée c'est à dire 25 bars soit 26 bars absolus, correspondant à une température de 59 °C. En dehors d'une défectuosité des manomètres, de telles températures et pressions ne peuvent s'expliquer que si les résistances de réchauffage des carters d'huile sont restées en service (l'armoire électrique étant vraisemblablement restée sous tension). L'huile du carter contient toujours un peu d'ammoniac. Le chauffage accélère le dégazage dans un volume faible et, en l'absence d'échanges thermiques, il y a augmentation corrélative de la température et de la pression.

L'installation étant en arrêt prolongé dans une atmosphère tropicale, avec des températures ambiantes élevées (près de 40 °C), une élévation progressive de la pression de l'ammoniac stocké était prévisible. Ceci nécessitait donc d'opérer des relevés quotidiens de température et de pression pour en suivre l'évolution. Cependant, il eut fallu que la température de l'ammoniac à l'intérieur des réservoirs flood qui sont thermiquement isolés atteigne, voire dépasse 43 °C (17,2 bars absolus) et 52 °C (22 bars absolus) dans les condenseurs et accumulateur de liquide pour qu'il y ait déclenchement des soupapes de sécurité. A noter que la circulation d'eau de mer sur les condenseurs est restée en service jusqu'au 2 décembre ; la température de l'eau de mer étant voisine de 28 °C.

7.3.3 Purge des compresseurs – Mode opératoire

La purge des compresseurs peut s'effectuer par deux modes opératoires selon que l'installation est en route ou à l'arrêt.

Installation à l'arrêt

C'était le cas le jour de l'accident. Le compresseur est disposé de la façon suivante : sa vanne d'aspiration est fermée, celle de refoulement est ouverte. La vanne de refoulement à la sortie du déshuileur après le clapet de non retour reste fermée.

La purge du circuit du compresseur est réalisée par tirage au vide au moyen d'un hydro-éjecteur fonctionnant sur le collecteur incendie, refoulant au bordé, et branché à la vanne de purge du compresseur par un tuyau annelé souple en matière plastique.

Nota : Compte tenu de la situation particulière de l'installation, il eut été préférable que cette opération ait été réalisée avec la présence d'une 2^{ème} personne pour parer à toute éventualité, avec mise en place d'un périmètre de sécurité. Pendant toute la durée de l'intervention, il eut été également prudent d'interrompre les travaux dans le tunnel et de faire évacuer la zone.

Installation en route

Lorsque l'installation est en route, une autre méthode est employée pour purger le corps d'un compresseur à l'arrêt.

La pression à l'intérieur des réservoirs flood est en principe inférieure à celle des compresseurs à l'arrêt ; elle est égale à la pression BP d'évaporation.

La méthode consiste à mettre en communication le compresseur avec le réservoir flood, en général celui dont la pression est la plus basse. Le corps du compresseur est alors purgé par différence de pression entre le réservoir et le compresseur arrêté. L'armement précise par ailleurs que ce type d'opération est bien connu de l'équipage

Le circuit est disposé de la manière suivante : les vannes d'aspiration et de refoulement sur le compresseur sont ouvertes, la vanne de refoulement à la sortie du déshuileur est fermée. Il suffit d'ouvrir sur la clarinette la vanne d'aspiration correspondante sur le réservoir flood desservant le compresseur.

7.3.4 Manœuvre de la vanne du collecteur de retour des serpentins de cuve

Intrigué par les pressions élevées lues sur les manomètres des compresseurs (HP 25 bars), le second mécanicien, d'après ses dires et de sa propre initiative, a voulu contrôler la pression du réservoir flood n°2 (plein). Pour lui, ce contrôle consistait à mettre le réservoir flood n°2 en communication avec un compresseur pour vérifier sa pression sur les manomètres du compresseur, en l'occurrence le n°2.

Le second mécanicien a ainsi demandé au frigoriste d'ouvrir la vanne A2 sur la clarinette, puis il a ouvert la vanne n° 15 sur le réservoir flood n° 2, où une grande quantité d'ammoniac était stockée (2000 l). Cette capacité s'est dépressurisée brutalement dans les circuits encore ouverts du tunnel, libérant violemment de l'ammoniac dans cet espace. La vanne n° 15 (sectionnement du circuit retour des évaporateurs au flood) constituait le seul barrage entre l'ammoniac confiné dans l'installation et l'air libre du fait que les vannes de retour des serpentins de cuve étaient démontées.

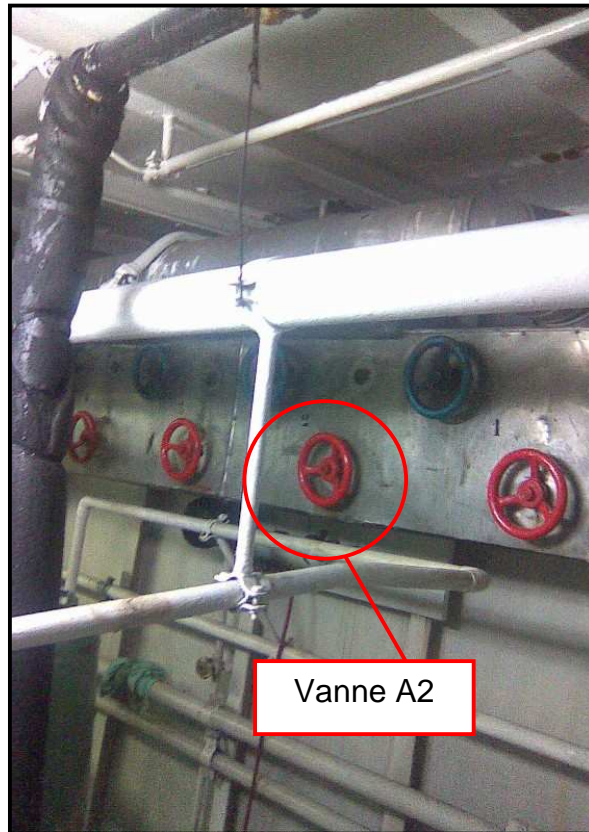
A noter que l'ouverture de la vanne A2 de la clarinette aurait été la manœuvre effectuée pour purger le compresseur n° 2 si l'installation avait été en service. A l'arrêt, la pression du réservoir flood est beaucoup plus élevée qu'installation en route. Les pressions HP et BP pratiquement s'équilibrent au bout d'un certain temps.

Le second mécanicien devait pourtant avoir à l'esprit que la vanne n° 15, qu'il avait lui-même fermée, assurait l'isolement du circuit. Il a probablement manœuvré cette vanne en considérant que les vannes A2 et n° 15 étaient montées sur le même circuit et remplissaient une fonction identique. Il y a donc eu défaut de représentation.

Il est également possible que le second mécanicien, dont c'était le premier embarquement sur *LE TITAN*, ait confondu le circuit avec celui du *TAKAMAKA* où il a exercé très longtemps les fonctions de chef mécanicien et où, d'après lui, il existait une vanne supplémentaire entre la vanne A2 et le réservoir flood. Après avoir fait ouvrir la vanne A2 par le frigoriste, il a ensuite ouvert ce qu'il pensait être cette vanne supplémentaire, laquelle était en réalité la n° 15. Les enquêteurs du *BEA*mer n'ont pas pu vérifier ce fait sur le plan du circuit frigorifique du *TAKAMAKA* mais seulement sur des schémas réalisés par le bord joints en annexe.

D'après l'armement, qui a effectué des recherches, cette vanne supplémentaire serait en fait montée en parallèle sur la clarinette, en vue de l'installation (non réalisée) d'un cinquième compresseur et ne faisant donc pas office de sectionnement entre la bouteille flood et la clarinette.

L'ouverture de la vanne n° 15, suite à une erreur de représentation, constitue donc **le facteur déterminant** de l'accident.



**Clarinette aspiration des compresseurs
aux réservoirs flood**



**Local des compresseurs
Vanne n°15 manœuvrée par erreur
sur collecteur de retour aspiration des cuves flood n°2**

7.3.5 Fatigue

Au moment des faits, le second mécanicien avait presque 60 jours de bord. Pendant les travaux, la journée commençait à 06h00 le matin et se terminait souvent après le départ des ouvriers vers 23h30, avec une pause déjeuner de 12h00 à 13h00 et pour le dîner à 19h00. Au cours de la nuit du 2 au 3 décembre (jour de l'accident) le second mécanicien avait effectué une ronde de sécurité vers 02h00.

On peut supposer qu'il y avait une certaine "pression" sur l'équipe de travaux, du fait que le navire avait achevé ses opérations commerciales et que la fin des réparations conditionnait le départ en pêche du navire.

De plus, l'environnement de travail était pénible, dans un endroit confiné où règnent à la fois la chaleur (on est en plein été austral et l'installation de production de froid est stoppée), le bruit, les vibrations et les fumées provenant des opérations de soudage et de découpe, sachant qu'aucune précaution particulière n'avait été prise pour pallier ces facteurs de stress et de fatigue (pas de ventilation additionnelle notamment).

Enfin, les difficultés rencontrées durant la dernière marée (n° 16) pour maintenir le froid avaient nécessairement mobilisé plus que d'ordinaire le service machine.

Les enquêteurs considèrent donc que la conjonction :

- d'une accumulation de fatigue,
- de la nécessité de travailler rapidement,
- d'un sentiment de confiance (les travaux s'étant bien déroulés jusqu'à présent),

peut être également **un facteur contributif** de l'enchaînement d'actions ayant conduit à la manœuvre de la vanne n° 15.

7.4 Autres facteurs

7.4.1 Organisation des travaux à bord

S'agissant tout d'abord des travaux, le remplacement des vannes s'effectue en déposant les anciennes et en soudant les nouvelles. Après contrôle de l'absence d'ammoniac dans le circuit, les chapeaux de l'ensemble des vannes sont déposés par le bord, soit une

soixantaine. Dans un premier temps, les ouvriers de l'entreprise locale ont effectué la dépose des anciennes vannes par tronçonnage et procédé au soudage des corps des vannes neuves sur les collecteurs.

Après un nettoyage soigné des corps de vannes déjà soudés, l'étape suivante consiste à visser le chapeau de vanne avec son opercule et son volant sur le corps de chaque vanne. Cette opération est effectuée par une équipe du bord : chef mécanicien, second mécanicien, 3^{ème} mécanicien et graisseur.

A la fin des travaux, le circuit est purgé et éprouvé pour vérifier son étanchéité.

Ces travaux nécessitent du matériel : matériel de découpe, poste à souder avec les câbles d'alimentation, tourets électriques, aspirateur, corps de vannes (anciens et neufs), chiffons, qui encombraient le parquet du tunnel.

Ce mode opératoire requérait aussi la présence de personnes dans un espace confiné et étroit, ce qui en cas d'urgence gênait l'évacuation.

Pour ce qui concerne ensuite les mesures préparatoires, il y a eu, entre le 26 octobre et le 28 novembre 2008, des échanges par courriels entre le bord et le service technique de l'armement. Il y a eu aussi une réunion informelle au niveau de l'équipage machine pour préparer les travaux, mais elle n'a pas été formalisée. Le bord n'a pas formulé de réserves, ni sur le choix de l'entreprise sous traitante, ni sur le choix du port et des conditions dans lesquelles devait se dérouler cette intervention.

Le capitaine a cependant déclaré au *BEA*mer qu'il n'avait été informé que très tardivement des travaux prévus pendant l'escale en fin de marée. Le remplacement des vannes d'aspiration sur le circuit de refroidissement des cuves à poisson a été décidé le 25 novembre 2008 par l'armement, suite à une demande de travaux du chef mécanicien du 26 octobre 2008. Il regrette de ne pas avoir eu connaissance de l'accident survenu en 2007 à bord d'un thonier sennear, sur l'installation frigorifique à ammoniac, dans des circonstances semblables à celles de l'accident du *TITAN*.

L'entreprise ne disposant pas de cuve spéciale pour la récupération de l'ammoniac à terre, les travaux ont donc été entrepris en conservant la charge du fluide frigorigène à bord soit environ 6 tonnes.

A la connaissance des enquêteurs, il n'y a pas eu de réunion préparatoire avec l'entreprise avant le démarrage des travaux pour la définition des procédures de sécurité à mettre en place et la répartition des rôles des différents intervenants, bord et entreprise.

Les enquêteurs n'ont pas eu connaissance de la présence sur place d'un responsable sécurité de l'entreprise ou du bord (la plupart du temps les ouvriers travaillaient seuls), non plus d'un permis de travail spécial, d'une approbation de soudage et d'agrément des soudeurs normalement requis pour le soudage ou l'utilisation d'appareils à arc ou à flamme.

L'intervention sur le circuit d'ammoniac n'a fait l'objet d'aucune procédure écrite.

S'agissant des travaux à point chaud dans le tunnel des mesures de sécurité particulières étaient nécessaires comme :

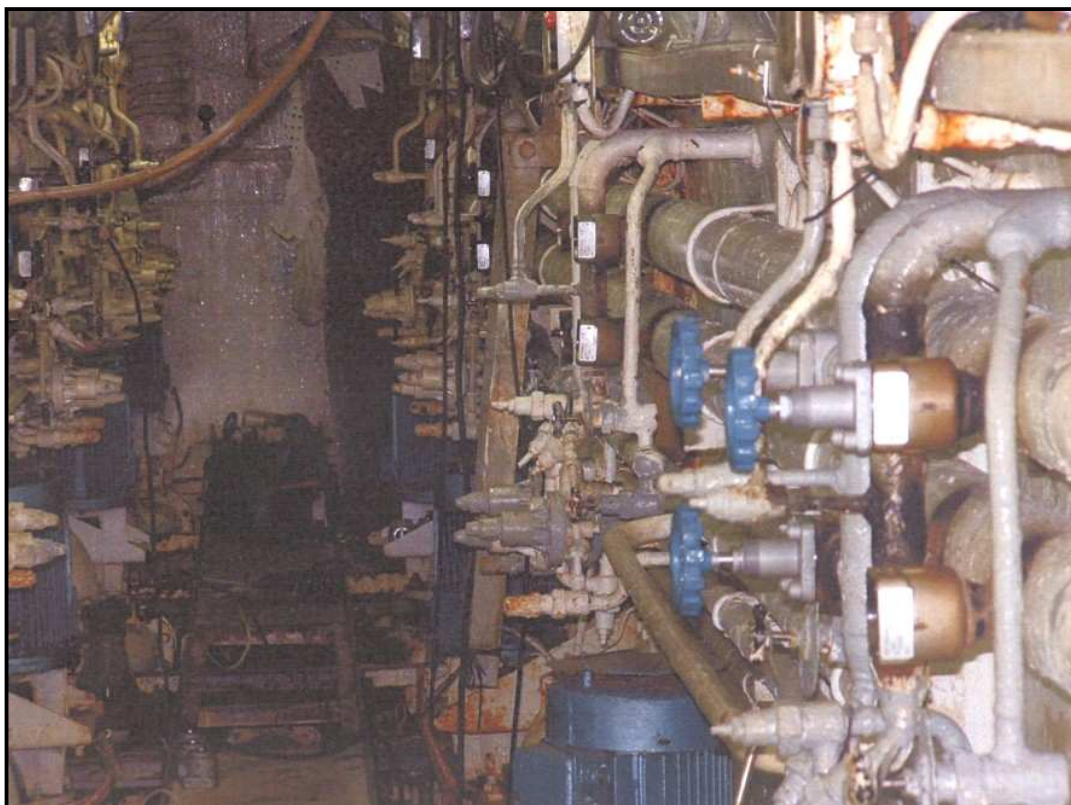
- une ventilation efficace de la zone de travail, laquelle n'était assurée que par celle du compartiment machine, le tunnel n'ayant pas de ventilation mécanique propre, seulement une aération naturelle par l'ouverture de l'échappée donnant dans l'entrepont. Elle n'était donc pas suffisamment ventilée ;
- la présence d'un pompier disposant de moyens d'extinction appropriés.

Par ailleurs, ces travaux, concernant un circuit d'ammoniac, exigeaient des mesures spécifiques supplémentaires en matière de protection du personnel :

- équipements de protection individuelle en nombre correspondant à l'effectif dans le tunnel (lunettes, masques respiratoires à proximité immédiate, combinaisons légères de protection) ;
- rideaux d'eau, lances à incendie disposées à l'entrée et à l'échappée du tunnel ;
- liaisons radio pour les communications ;
- tenue complète NH_3 à proximité immédiate et facilement accessible.

La dotation en équipements de protection individuelle n'avait pas été augmentée en vue des travaux. De plus, les équipements existants étaient entreposés dans l'armoire principale incendie, fermée à clé lorsque le navire est à quai, afin de prévenir les vols.

Un plan d'urgence en cas de fuite d'ammoniac n'était pas prévu.



Parquet du tunnel à l'avant pendant les travaux



Tunnel - Collecteurs aspiration des cuves à poisson
Vannes en cours de montage

Constatations des pompiers lors de leur intervention (cf annexe E)

Les pompiers ont fait part aux enquêteurs de leurs observations à leur arrivée à bord du navire :

- pas de mesure particulière de sécurité en rapport avec la nature des travaux,
- aucune lance incendie à l'entrée du tunnel, ni dans l'échappée,
- aucun masque respiratoire sur le lieu des travaux ou à proximité immédiate,
- aucune vanne consignée / verrouillée dans le local frigo,
- aucune tenue individuelle de protection NH₃ à proximité du lieu des travaux.

Enfin, mis à part les ouvriers de nationalité indienne de l'entreprise extérieure qui portaient des combinaisons de travail, les victimes retrouvées dans le tunnel et les autres personnes présentes étaient vêtues de tee-shirt et shorts.

7.4.2 Organisation portuaire

Dans le cadre du règlement portuaire de Port Victoria, le port accorde une autorisation préalable pour l'exécution de travaux à chaud à bord des navires amarrés dans le port. Cette autorisation précise que, lorsque des travaux de soudure sont réalisés à proximité de résidus de combustible, d'huile, de ballasts contenant des soutes ou de liquides et gaz inflammables, l'assistance des pompiers est recommandée. Les travaux de soudure doivent être interrompus quand le navire est opération de soutage.

Concernant les mesures prévues en cas de travaux dangereux à bord des navires présents à Port Victoria, les agents des navires doivent solliciter auprès des services portuaires une demande préalable de permis de travaux.

Dans le cas du *TITAN*, aucun permis de travaux n'avait été sollicité auprès de l'autorité portuaire pour l'opération de remplacement des vannes sur le circuit d'ammoniac.

7.4.3 Organisation de l'armement

Un chef mécanicien avait été missionné par l'armement pour suivre les travaux et assister l'équipage pendant l'escale. Cet officier, qui avait exercé les fonctions de chef mécanicien pendant 3 ans à bord du *HUON DE KERMADEC*, puis, quand celui-ci a été acquis par SAPMER, à bord du *TITAN*, connaissait donc bien le navire. Il était également embarqué pendant le dernier arrêt technique à Antseranana (anciennement Diégo-Suarez) et, à cette occasion, avait participé au remplacement de 5 vannes d'aspiration sur le circuit d'ammoniac.

Il avait débarqué du *TITAN* à peu près un mois et demi avant l'accident, pour être ensuite appelé à d'autres fonctions. Il était missionné « pour suivre les travaux ». Sa position hiérarchique et son rôle vis à vis de l'équipe machine, notamment du chef-mécanicien du *TITAN*, n'avaient pas été clairement précisés.

Enfin, pour tenir les délais, un personnel plus nombreux était nécessaire, ce qui peut compromettre la sécurité, en rendant plus difficile l'évacuation.

Conclusion

C'est probablement le fait d'avoir précédemment opéré des remplacements de vannes, sans incident, qui a incité l'armement à faire exécuter ces travaux en escale à Mahé dans des conditions similaires. A cette différence que les opérations précédentes avaient un caractère limité, 5 vannes tout au plus, et s'étaient déroulées dans un chantier.

L'intervention envisagée dans le cas présent était d'une toute autre ampleur. Elle se déroulait en effet à quai, dans un port d'escale, avec des contraintes de délais dues à l'exploitation commerciale.

La nature des travaux, impliquant découpage et soudage, dans le but de remplacer soixantaine de vannes sur des tuyauteries véhiculant de l'ammoniac, relevait donc plus d'un arrêt technique que d'une simple opération de maintenance effectuée en escale commerciale, entre deux marées.

L'importance et les conditions de réalisation de ces travaux nécessitaient préalablement l'identification des dangers potentiels et l'analyse des facteurs de risques, dont le facteur humain, avec mise en place de consignes et de dispositifs de sécurité stricts pour les prévenir ou en réduire les effets.

Les enquêteurs n'ont pas eu connaissance de la mise en place d'un tel dispositif, les mesures prises se rapprochant plus de celles d'une opération de routine que d'une intervention d'envergure.

Les enquêteurs considèrent que l'organisation de la sécurité du chantier n'était pas adaptée, ceci constituant **un facteur contributif certain** de l'accident.

8 SYNTHÈSE

Le thonier senneur *LE TITAN*, exploité dans les conditions de l'Océan Indien et vieillissant, est amené à effectuer des réparations importantes sur ses installations frigorifiques.

Après avoir réalisé précédemment, à deux reprises et sans incident, mais dans un chantier, le remplacement de cinq vannes sur le circuit d'ammoniac de retour des cuves à poisson, l'armement décide d'opérer, au cours d'une escale dans un port de déchargement, le remplacement simultané de l'ensemble des vannes.

Ces travaux sont réalisés par une entreprise locale, assistée par l'équipage. En l'absence de capacité de stockage à terre, la charge d'ammoniac est conservée à bord.

Le circuit est isolé sans précautions particulières, ni mesures de prévention et de protection nécessaires pour ce type d'intervention, compte tenu des dangers liés à la toxicité du fluide frigorigène et de la nature et de l'exécution de ces travaux dans un local confiné, sans ventilation additionnelle.

Une erreur de manipulation d'une vanne sur l'un des réservoirs d'ammoniac libère dans le tunnel une quantité de gaz provoquant presque aussitôt une concentration létale et entraînant le décès accidentel de cinq personnes, une autre succombant quelques jours plus tard.

9 ACTIONS ENGAGEES PAR L'ARMATEUR ET L'EQUIPAGE APRES L'ACCIDENT

La SAPMER a tiré un retour d'expérience immédiat.

Dès le 4 décembre, la compagnie a mis en place des plans d'action pour prévenir tout nouvel accident de ce type et pour la remise en exploitation du *TITAN*. Cette action s'inscrit dans le cadre d'un système de gestion des opérations à risques.

Une attention particulière est portée aux points suivants :

- révision du DUP du bord, dont la fiche concernant l'intervention sur l'installation frigorifique à ammoniac a été renseignée ;
- évaluation des risques pour toutes les interventions (surtout sur les circuits dangereux) ;
- élaboration des procédures à suivre dans le cadre des opérations d'entretien ou des travaux de réparations précisant les différentes étapes à respecter ;
- enregistrement de chaque intervention ;
- mise en place d'un verrouillage et d'une signalisation de position sur les vannes sensibles.

Les enquêteurs ont constaté, à l'occasion de leur visite à Port Louis, qu'une procédure d'intervention en cas de fuite d'ammoniac a été ajoutée au rôle incendie et que des masques respiratoires de protection supplémentaires ont été mis en place :

- dans la salle de contrôle (2) ,
- à l'entrée du local frigo (2) ,
- à l'entrée du tunnel (2) ,
- au pied de l'échappée du tunnel (1).

Le bord dispose maintenant :

- d'un détecteur de NH₃ portable,
- d'un ventilateur mobile avec une gaine souple pour apporter une ventilation additionnelle.

Pendant l'escale du navire à Port Louis, en janvier 2009, l'armateur a également fait réaliser des travaux supplémentaires sur le circuit d'ammoniac, consistant en des remplacements de tuyauteries, dont 32 tuyaux de prises de manomètres des cuves à poisson dans le tunnel. Ces travaux ont été exécutés après déchargement de l'ammoniac dans une cuve à terre. Le *BEA*mer, présent, a d'ailleurs pu constater les mesures de sécurité prises par le bord et le chantier CNOI pour cette opération.

10 RECOMMANDATIONS

10.1 Aux armateurs et équipages de navires congélateurs

Le *BEA*mer rappelle :

- que l'armateur doit veiller à la qualification professionnelle et à la formation sécurité des équipages,
- que le D.U.P. doit refléter l'ensemble des risques identifiés à partir d'une méthode d'analyse des risques du type AMDEC,
- que les risques inhérents aux installations utilisant l'ammoniac doivent être connus de l'équipage et que leur prévention nécessite des équipements spécifiques en nombre suffisant, ainsi que des procédures d'exploitation et d'intervention rigoureuses,
- que l'exploitation doit se faire sous la surveillance d'une personne nommément désignée par l'armateur et spécialement formée aux dangers de l'ammoniac et aux spécificités des installations utilisant ce fluide.

Le *BEA*mer recommande :

- de veiller à la qualification des intervenants, en privilégiant les chantiers disposant des équipements adaptés ainsi que du personnel qualifié et agréé,
- d'assurer une formation spécifique aux risques inhérents à l'ammoniac et à la conduite à tenir en cas de situation accidentelle pour le personnel affecté à la conduite et à l'entretien des installations frigorifiques ainsi qu'au personnel non affecté spécifiquement à celles-ci, mais susceptible d'y intervenir,
- d'effectuer régulièrement des exercices périodiques d'application des consignes de sécurité et du bon usage des équipements de protection individuelle avec la participation de tous les membres de l'équipage et de les consigner dans le registre des exercices de sécurité du navire,

- de mettre en place à bord un plan de sécurité assorti des mesures d'urgence en cas de fuite pour les interventions sur les circuits frigorifiques utilisant un fluide frigorigène toxique,
- de repérer les locaux, les circuits et leurs composants par étiquetage ou pictogramme et « phrase de risque » ,
- de compléter l'équipement de premiers secours habituel par un système de douche de secours pour le corps et les yeux,
- d'afficher les consignes de premiers secours pour ce qui concerne les accidents liés à NH₃ ,
- de prévoir des dispositifs mobiles de ventilation additionnelle (extraction - refoulement) ,
- d'installer des détecteurs d'ammoniac avec déclenchement d'alarme dans les locaux où il y a un risque de présence d'ammoniac,
- de prévoir l'embarquement d'appareils respiratoires pour l'évacuation d'urgence tels que prévus par la Convention SOLAS pour les navires de charge d'une jauge brute supérieure ou égale à 500.

10.2 Aux intervenants extérieurs

Le BEA mer rappelle :

- l'obligation d'obtenir un permis de feu et l'autorisation des autorités portuaires avant l'exécution de travaux de réparation nécessitant l'emploi d'une flamme ou d'une source chaude,
- l'importance de sensibiliser les ouvriers aux risques présentés par l'ammoniac et de les former à l'utilisation, en urgence, des équipements de protection (masques).

10.3 Aux constructeurs et installateurs

Le BEA mer recommande :

une meilleure prise en compte de la sécurité des opérations de maintenance dans la conception des installations (redondance des sectionnements essentiels sur des circuits sensibles).

10.4 Aux services en charge de la réglementation de la sécurité des navires

Le BEA mer recommande :

- de compléter les dispositions de la réglementation nationale relative aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène à bord des navires neufs et existants, par les dispositions pertinentes figurant dans l'arrêté du 16/07/1997 relatif aux installations terrestres et les recommandations du *Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels, 2005 Résolution MSC 79/23/Add. 3 Annexe 38 de l'OMI et plus particulièrement l'annexe IV « Recommended practice for ammonia refrigeration systems in manned spaces » et l'appendice 11 « Refrigeration systems using toxic refrigeration such as ammonia ».*
- d'introduire dans la réglementation, pour les navires existants dont les installations frigorifiques à ammoniac ne sont pas classées par une société de classification reconnue, l'obligation d'une visite annuelle de l'installation par un expert d'une société de classification reconnue, en appliquant autant que possible son propre règlement, avec copie du rapport de visite au Centre de Sécurité des Navires qui suit le navire,

10.5 Aux établissements et organismes de formation

de dispenser, dans le cadre des *cursus* de mécanicien, une formation spécifique à la sécurité des installations frigorifiques, en particulier celles employant des fluides frigorigènes toxiques.

10.6 Aux centres de sécurité des navires

Le BEA mer recommande :

d'apporter une attention particulière aux mesures de sécurité liées aux installations frigorifiques : procédures, consignes, exercices et matériels de protection spécifiques, premiers secours.

LISTE DES ANNEXES

- A. Décision d'enquête**
- B. Dossier navire**
- C. Installations frigorifiques**
- D. Fiche toxicologique de l'ammoniac**
- E. Constatations des pompiers lors de leur intervention**

Décision d'enquête



Bureau d'enquêtes sur
les événements de mer

Paris, le 12 DEC. 2008
N/réf. : BEAmer

000413



DÉCISION

Le Ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire;

- Vu** la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 relative aux enquêtes techniques après événements de mer ;
- Vu** le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après événement de mer, accident ou incident de transport terrestre ;
- Vu** le décret du 09 septembre 2008 portant délégation de signature (Bureau d'enquêtes sur les événements de mer) ;
- Vu** le décret du 09 juin 2008 portant nomination du Directeur du Bureau d'enquêtes sur les événements de mer ;
- Vu** le compte rendu d'évènement de mer établi le 4 décembre 2008 par le Centre de Sécurité des Navires de La Réunion ;

DECIDE

Article 1 : En application de l'article 14 de la loi sus-visée, une enquête technique est ouverte concernant l'accident survenu à bord du thonier sennear *LE TITAN* (CC 544901) survenu le 3 décembre 2008 à quai au port de Port Victoria, Mahe (Seychelles).

Article 2 : Elle aura pour but de rechercher les causes et de tirer les enseignements que ces événements comportent pour la sécurité maritime, et sera menée dans le respect des textes applicables, notamment le titre III de la loi sus-visée et la résolution MSC.255 (84) de l'Organisation Maritime Internationale.

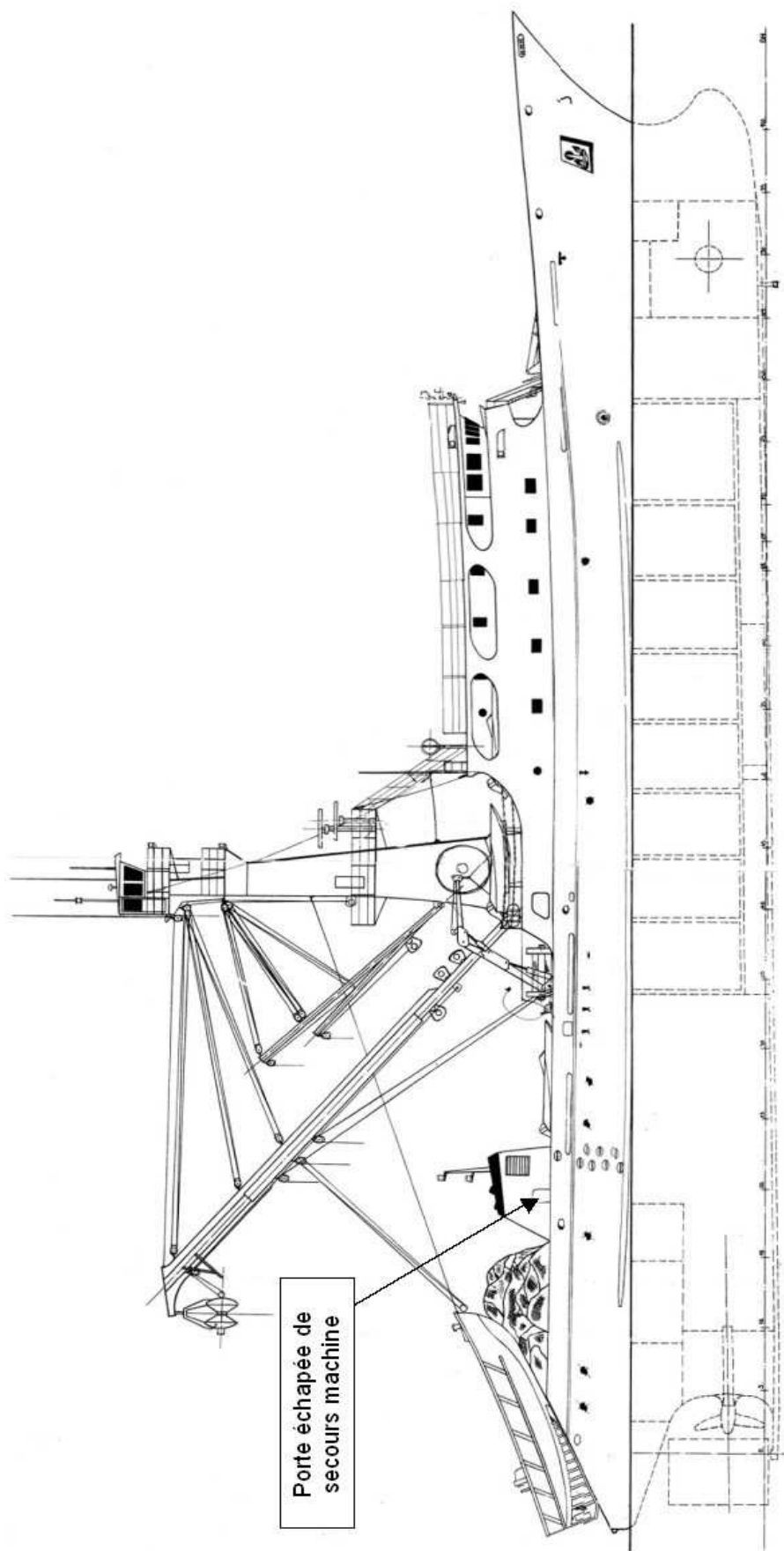
Pour le Ministre et par délégation
le Directeur du BEAmer
Jean-Pierre MANNIC

Ministère de l'Ecologie,
de l'Energie,
du Développement durable
et de l'Aménagement
du Territoire

BEAmer

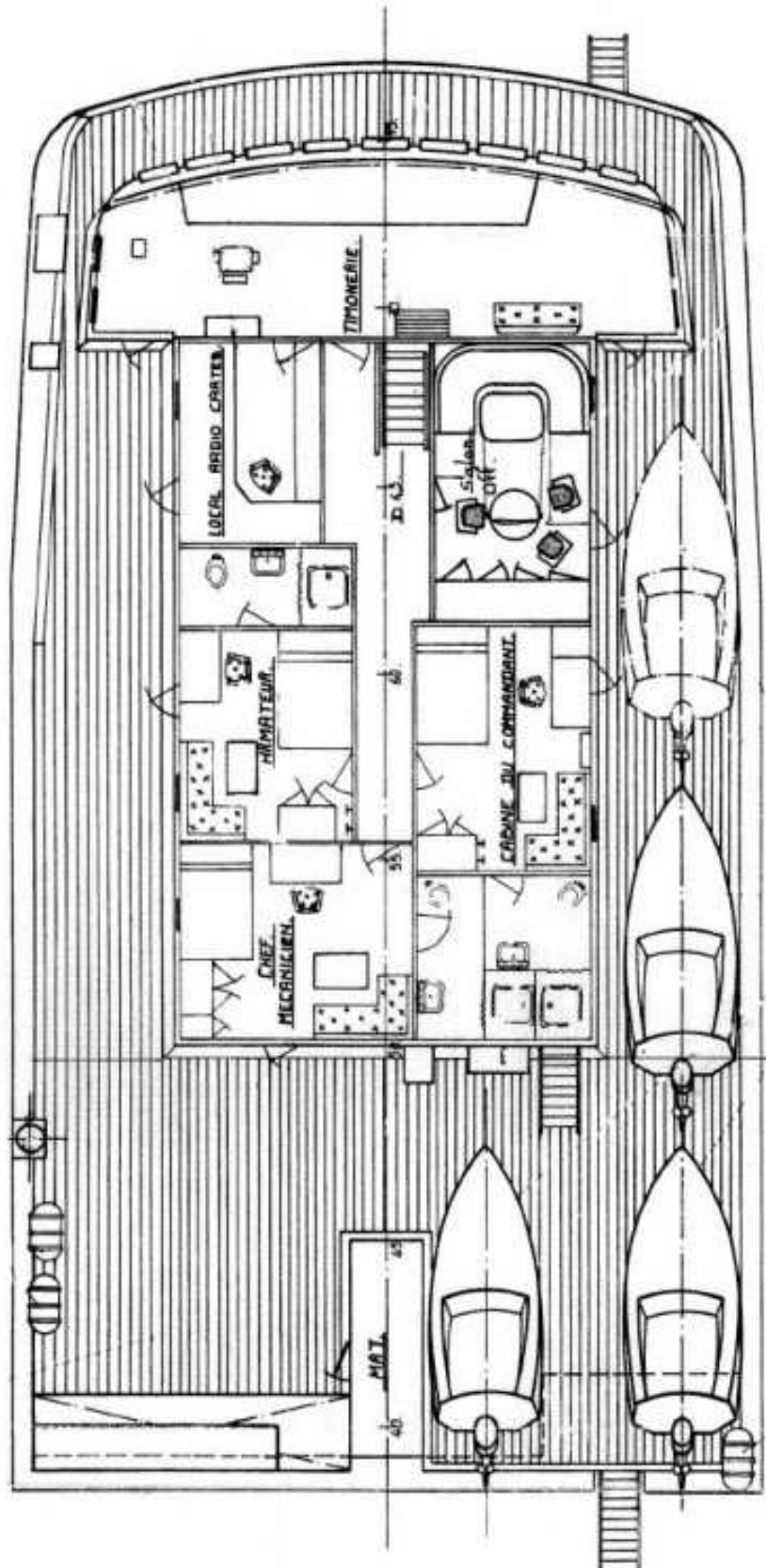
Tour Pascal B
92055 LA DEFENSE CEDEX
téléphone : 33 (0) 1 40 81 38 24
télécopie : 33 (0) 1 40 81 38 42
Bea-Mer@developpement-durable.gouv.fr

Dossier navire

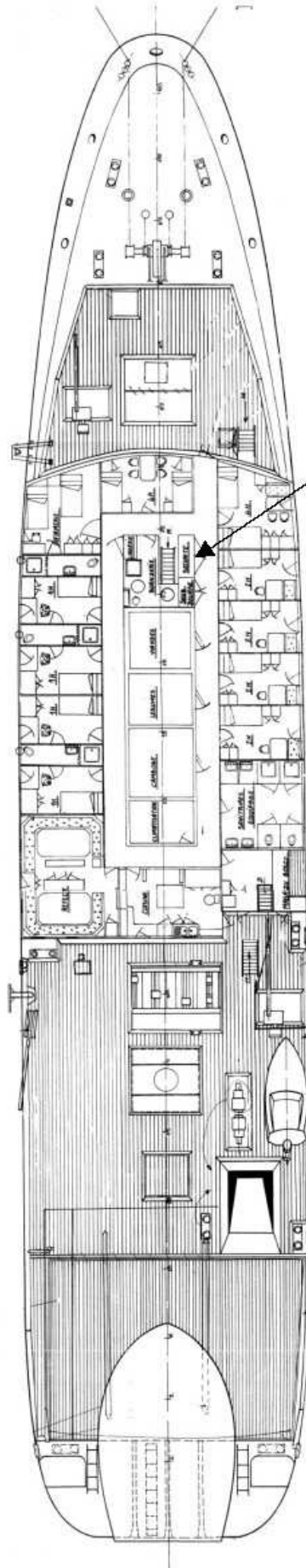


LE TITAN

Château

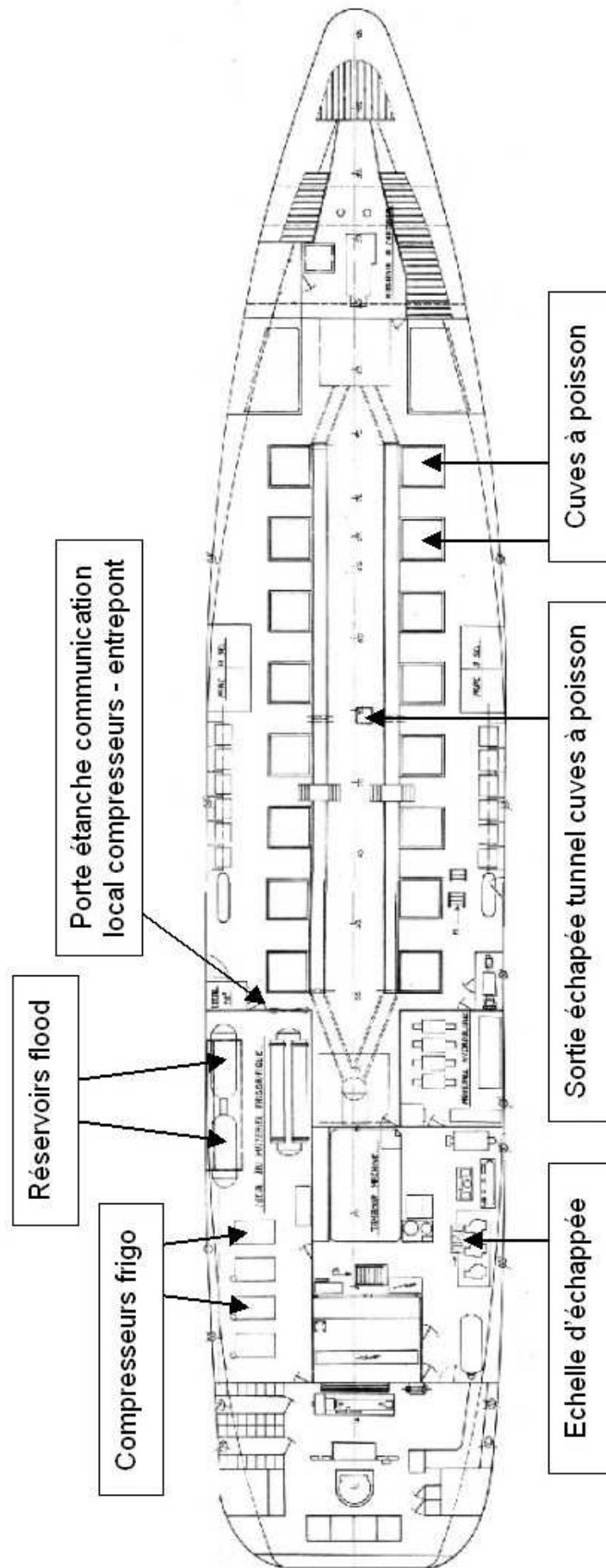


Pont supérieur

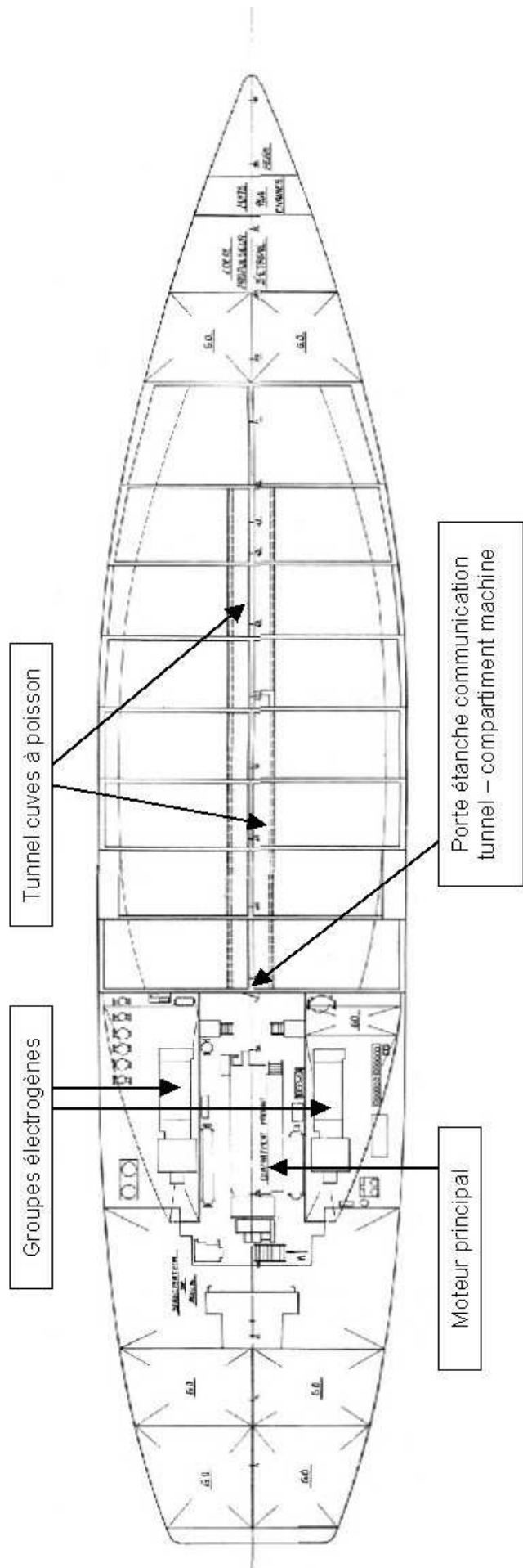


Armoire principale incendie

Pont principal



Sous-Pont principal





Timonerie



Salle de contrôle machine.
On aperçoit au fond le coffret des alarmes de l'installation frigorifique



Entrepont - Vue intérieure



Débarquement de la pêche

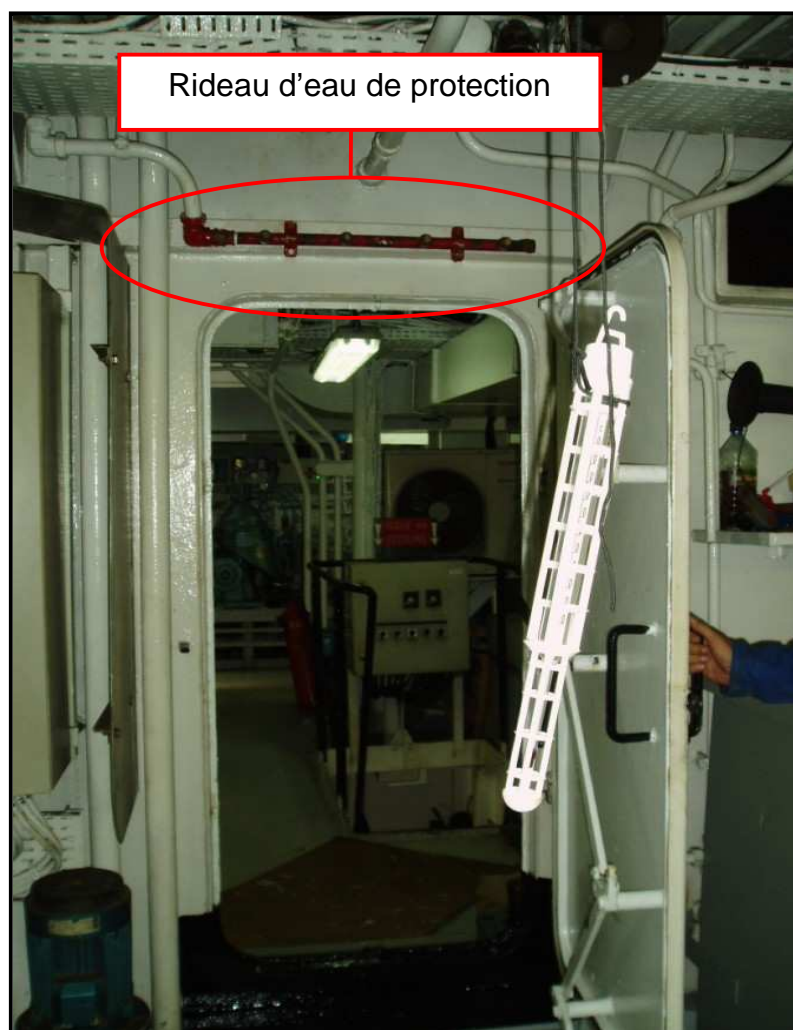


Débarquement de la pêche





Porte étanche de communication compartiment machine / local des compresseurs - Vue du compartiment machine



Porte étanche de communication compartiment machine / local des compresseurs - Vue du local des compresseurs

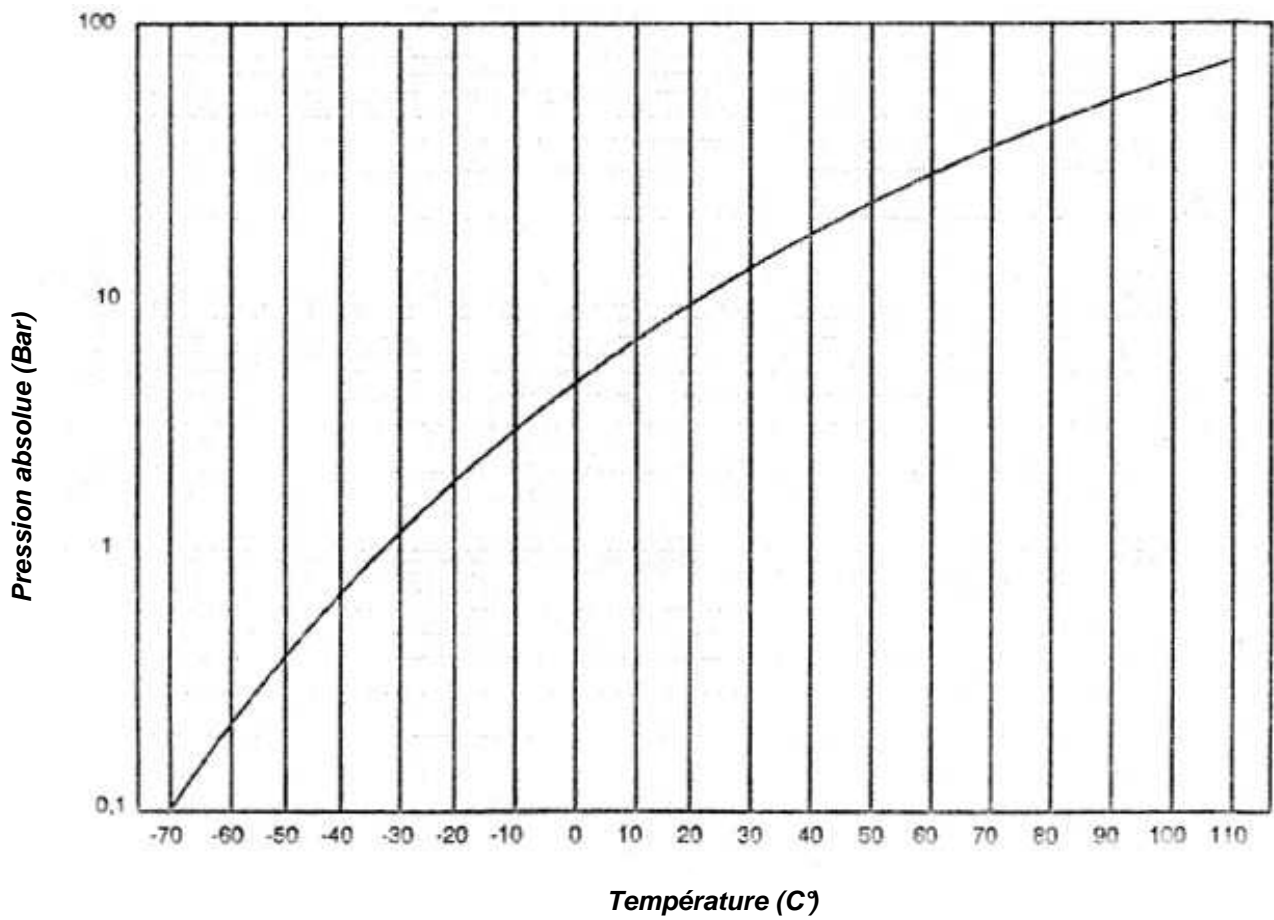


Hydroéjecteur à tribord dans l'entrepont



Sortie de l'échappée tunnel dans l'entrepont

Installations frigorifiques



Ammoniac – Relation Pression / Température

Cycle de référence du fluide diagramme $i, \log p_0$ dans une machine frigorifique à compression à un étage avec aspiration de vapeurs saturées sèches.
 Les points 1 à 4 représentent l'état du fluide aux emplacements 1 à 4 du schéma.

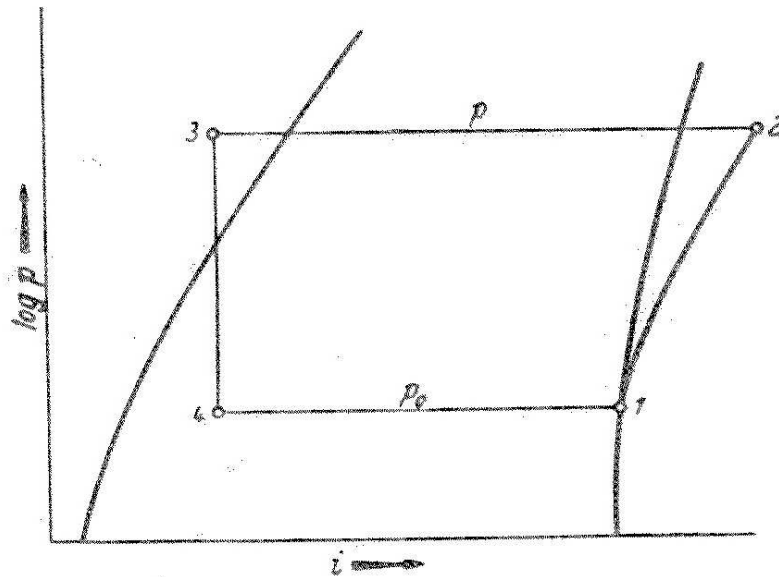
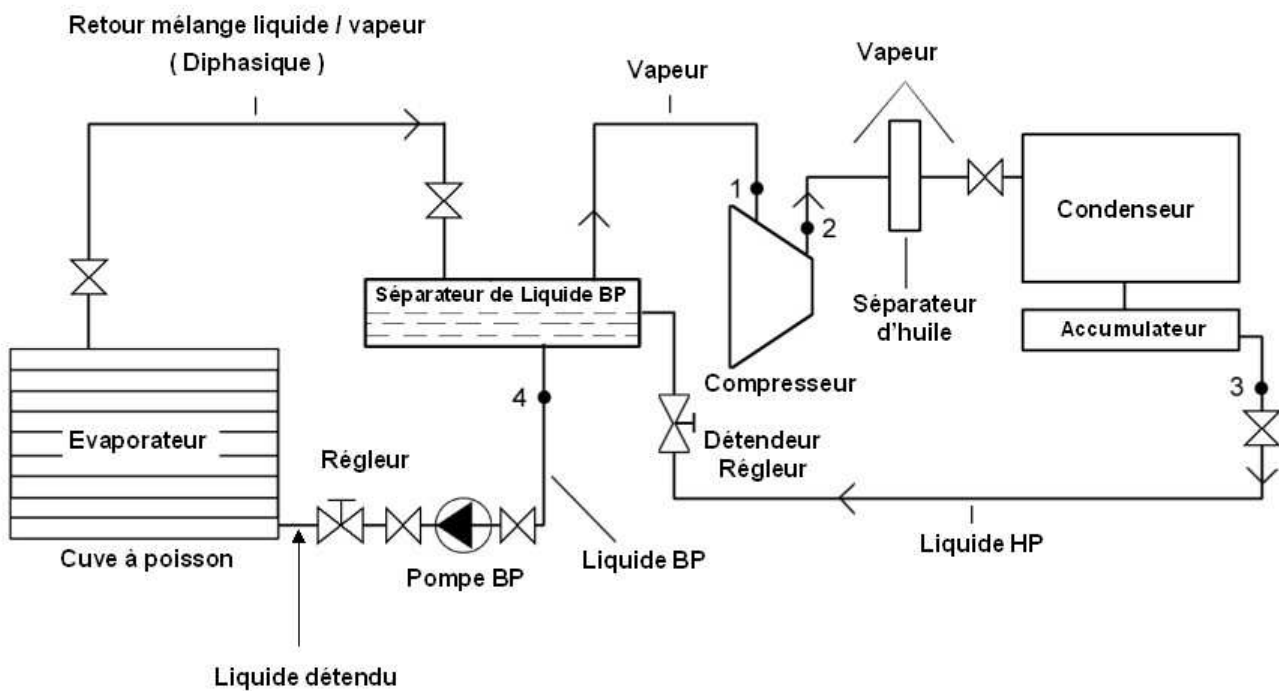
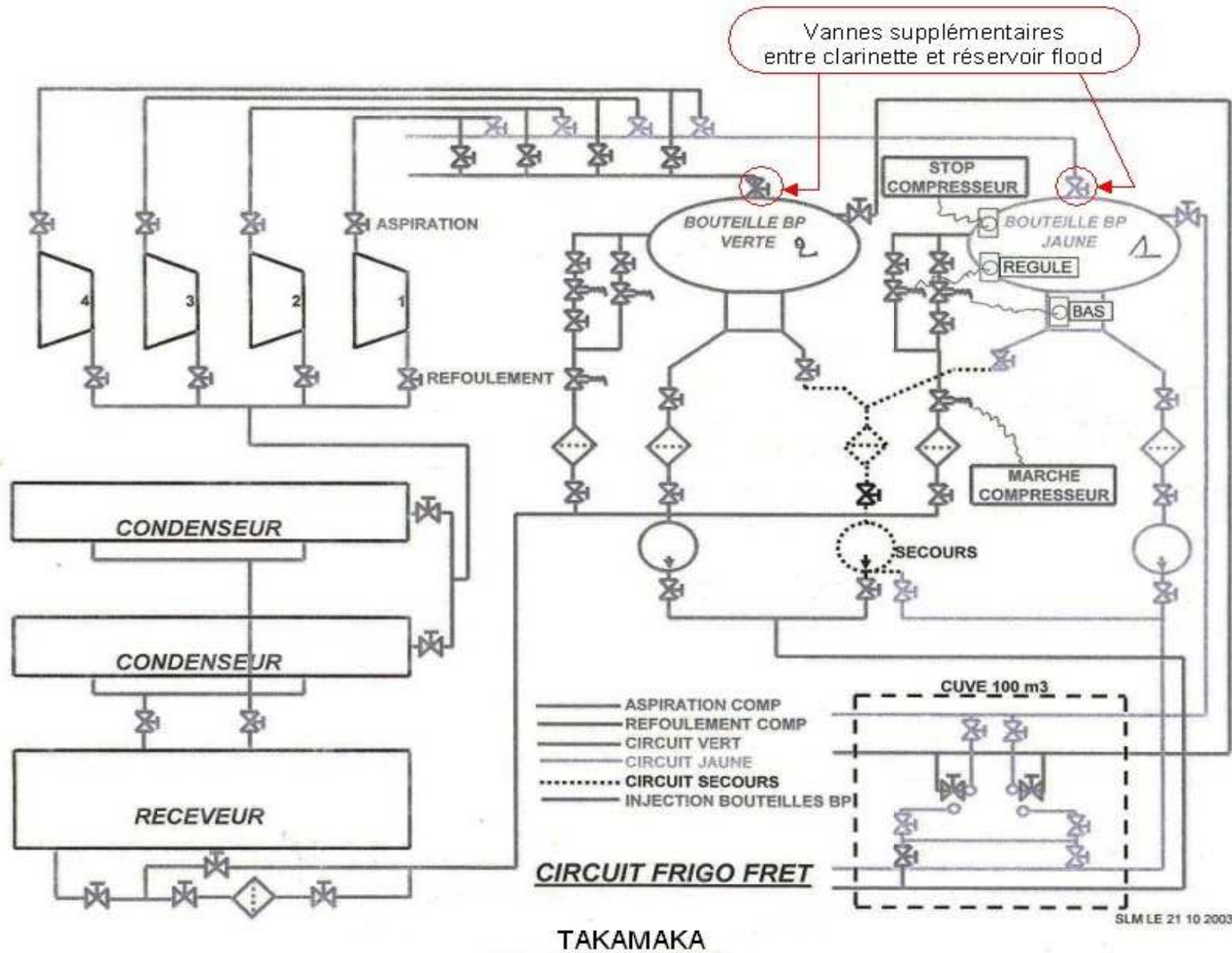


Schéma de principe d'un système à alimentation par pompe

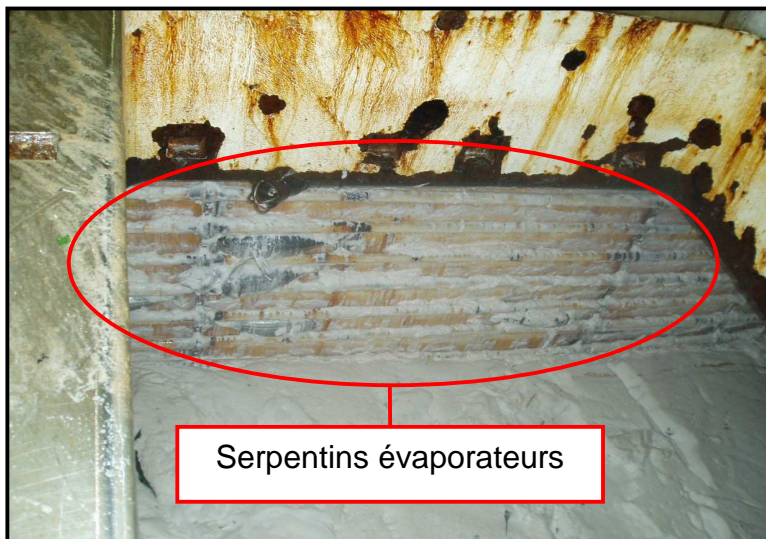




(document communiqué par le second mécanicien)



Cuves à poisson avec saumure de refroidissement





Local des compresseurs – Vue générale



Local des compresseurs
Porte étanche de communication avec l'entrepont



Local des compresseurs - Réservoir flood n°2
(Vue partielle)



Dispositif de purge sur le tuyau de refoulement du compresseur



Vue intérieure de l'échappée du tunnel



Entrepont - Panneau avant par lequel l'ammoniac s'est échappé



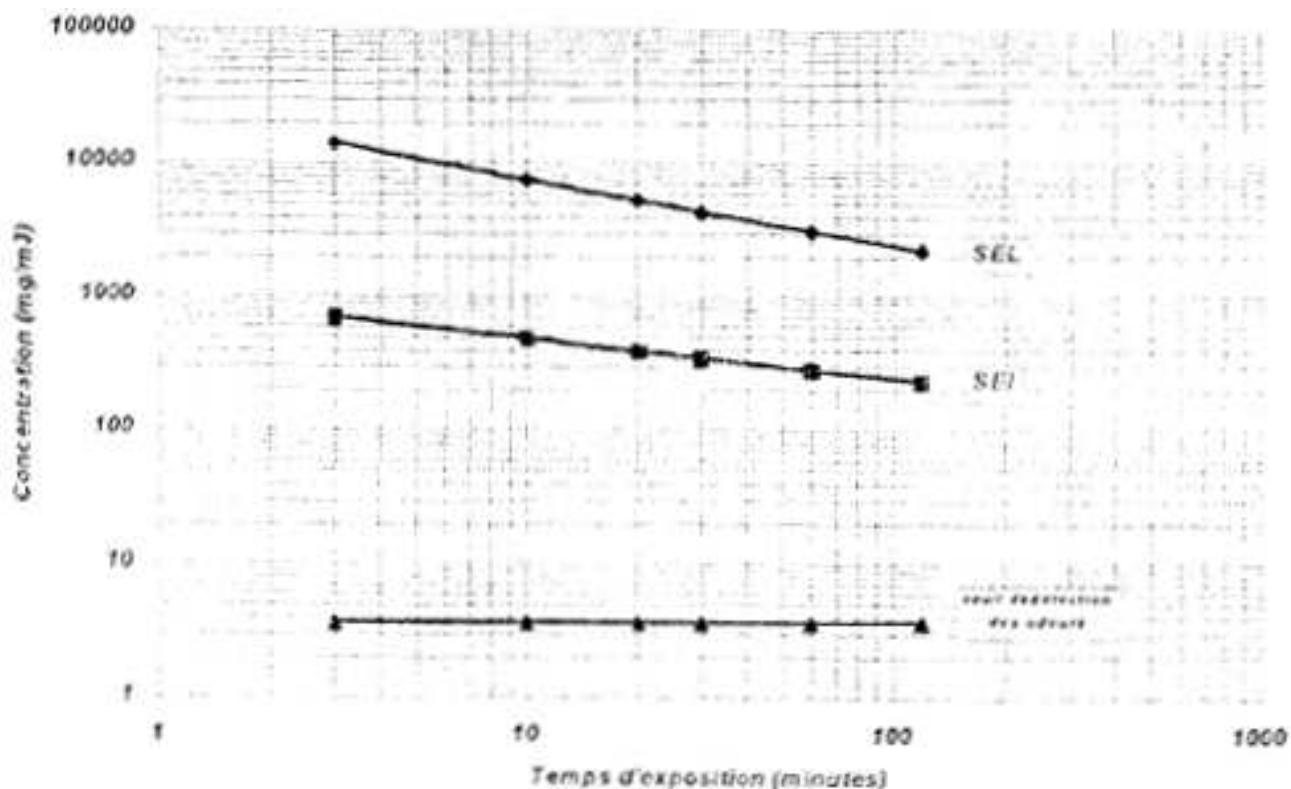
Stockage des bouteilles d'ammoniac dans l'entrepont



Chantier Naval de l'Océan Indien (CNOI) - Ile Maurice
Cuve de réception de l'ammoniac



Fiche toxicologique de l'ammoniac



Temps d'exposition (minutes)	3	10	20	30	60	120
SEL						
mg/m ³	14 000	7 500	5 300	4 330	3 100	2 200
ppm	20 020	10 725	7 580	6 192	4 433	3 146
SEI						
mg/m ³	696	484	393	348	283	229
ppm	995	692	562	498	405	327
Détection des odeurs						
mg/m ³	3.62					
ppm	5.2					

(pour l'ammoniac gaz à 1 bar et 20 °C, 1 ppm = 0.70 mg m³ et 1 mg m³ = 1.43 ppm)

FICHE TOXICOLOGIQUE

FT 16

Ammoniac et solutions aqueuses

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS



C-Corrosif

AMMONIAQUE... (≥ 25%)

- R 34 – Provoque des brûlures.
 - R 50 – Très toxique pour les organismes aquatiques.
 - S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
 - S 36/37/39 – Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.
 - S 45 – En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).
 - S 61 – Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.
- 215-647-6 – Étiquetage CE.



N - Dangereux pour l'environnement



T-Toxique

AMMONIAC

- R 10 – Inflammable.
 - R 23 – Toxique par inhalation.
 - R 34 – Provoque des brûlures.
 - R 50 – Très toxique pour les organismes aquatiques.
 - S 9 – Conserver le récipient dans un endroit bien ventilé.
 - S 16 – Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles. Ne pas fumer.
 - S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
 - S 36/37/39 – Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.
 - S 45 – En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).
 - S 61 – Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.
- 231-635-3 – Étiquetage CE.



N - Dangereux pour l'environnement

NH₃

Ammoniac (1)

NH₄OH

Ammoniaque (2)

Numéros CAS

7664-41-7 (1)
1336-21-6 (2)

Numéros CE (EINECS)

231-635-3 (1)
215-647-6 (2)

Numéros Index

007-001-00-5 (ammoniac anhydre) (1)
007-001-01-2 (en solution aqueuse ... %) (2)

Synonyme

Hydroxyde d'ammonium (2)

CARACTÉRISTIQUES

UTILISATIONS

- Fabrication des engrais.
- Pétrole et carburants.
- Traitement des métaux.
- Synthèse organique.
- Industrie du froid.
- Industrie des fibres textiles.
- Produits d'entretien.
- Industrie du papier.

(*) Mise à jour partielle de l'édition 1997.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES [1 à 4, 9]

L'ammoniac est un gaz incolore à odeur piquante, plus léger que l'air. Il se liquéfie facilement.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes.

Masse molaire	17,03
Point de fusion	-77,7 °C
Point d'ébullition	-33,3 °C
Densité (ammoniac liquide)	0,682 à -33,3 °C
Température critique	132 °C
Densité de vapeur (air = 1)	0,59
Tension de vapeur	860 kPa à 20 °C
Limites d'explosivité dans l'air (% en volume)	
limite inférieure	15%
limite supérieure	28%
Limites d'explosivité dans l'oxygène (% en volume)	
limite inférieure	15,5%
limite supérieure	79%
Température d'autoinflammation	651 °C

L'ammoniac est très soluble dans l'eau (33,1% en poids à 20 °C). La dissolution s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Les solutions obtenues sont connues sous le nom d'ammoniaque.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES [1 à 8]

À température ordinaire, l'ammoniac est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et azote ne commence que vers 450-550 °C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc et l'uranium, cette décomposition commence dès 300 °C et est presque complète vers 500-600 °C.

L'ammoniac brûle à l'air au contact d'une flamme en donnant principalement de l'azote et de l'eau.

L'ammoniac réagit, généralement violemment, sur de nombreux oxydes et peroxydes.

Les halogènes (fluor, chlore, brome, iode) réagissent violemment sur l'ammoniac et ses solutions aqueuses.

Des réactions explosives peuvent également se former avec l'aldéhyde acétique, l'acide hypochloreux, l'hexacyanoferrate (3-) de potassium.

La plupart des métaux ne sont pas attaqués par l'ammoniac rigoureusement anhydre. Toutefois, en présence d'humidité, l'ammoniac, gazeux ou liquide, attaque rapidement le cuivre, le zinc et de nombreux alliages, particulièrement ceux qui contiennent du cuivre. Il agit également sur l'or, l'argent et le mercure en donnant des composés explosifs.

Certaines catégories de plastiques, de caoutchoucs et de revêtements peuvent être attaquées par l'ammoniac liquide.

Récipients de stockage

Le stockage de l'ammoniac s'effectue généralement dans des récipients en acier.

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Des VLEP contraignantes dans l'air des locaux de travail ont été établies au niveau français pour l'ammoniac anhydre (art. R. 231.58 du Code du travail) :

- 10 ppm soit 7 mg/m³ (8 h) ;
- 20 ppm soit 14 mg/m³ (court terme).

À titre d'information, voici quelques VLEP indicatives :

- Union européenne
20 ppm soit 14 mg/m³ (8 h)
50 ppm soit 36 mg/m³ (court terme)
- États-Unis (ACGIH)
25 ppm (TLV-TWA) ; 35 ppm (TLV-STEL)
- Allemagne (MAK)
20 ppm soit 14 mg/m³

MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE DÉTERMINATION DANS L'AIR

■ Prélèvement sur un ensemble constitué d'un filtre en PTFE (pour retenir les sels d'ammonium particuliers en suspension dans l'air) et d'un tube contenant une couche de charbon traité à l'acide sulfurique (pour collecter l'ammoniac). Désorption du tube à l'aide d'une solution aqueuse d'acide sulfurique. Dosage par chromatographie ionique avec suppression chimique [10].

■ Prélèvement sur un ensemble constitué d'un filtre en fibre de quartz ou d'une autre membrane (qui retient les particules de sels d'ammonium en suspension dans l'air) et d'un filtre en fibre de quartz imprégné d'acide sulfurique et de glycérol (pour collecter l'ammoniac). Désorption dans l'eau déionisée. Dosage par chromatographie ionique avec suppression chimique [11].

■ Appareils à réponse instantanée équipés des tubes réactifs colorimétriques DRAEGER (Ammoniac 0.25, 2 ou 5/a), GASTEC (Ammoniac 3L, 3La ou Amines 180) et MSA (NH₃-2) pouvant couvrir différentes fractions de la gamme [0,25-100 ppm et plus].

RISQUES

RISQUES D'INCENDIE

L'ammoniac, gaz relativement peu inflammable, peut former des mélanges explosifs avec l'air dans les limites de 15 à 28% en volume.

Le contact de l'ammoniac avec certains produits tels que le mercure, les halogènes, le calcium, l'oxyde d'argent... est une source d'incendies et d'explosions.

Les feux provoqués par l'ammoniac sont difficiles à éteindre ; les agents d'extinction préconisés sont le dioxyde de carbone et les poudres.

Il faut refroidir les récipients voisins exposés au feu en les arrosant avec de l'eau pour éviter les risques d'explosion.

PATHOLOGIE – TOXICOLOGIE

Toxicocinétique – Métabolisme [4, 12]

Au contact avec l'humidité, l'ammoniac est rapidement transformé en ammoniacque responsable de l'attaque caustique de la peau et des muqueuses. La pénétration du gaz dans l'arbre respiratoire a été étudiée chez l'animal et chez l'homme. La plus grande partie de l'ammoniac inhalé est retenue (transformée en ammoniacque) au niveau des voies aériennes supérieures. Chez le lapin, lorsque la concentration atmosphérique est de 2000 ppm, celle mesurée au niveau de la trachée n'est plus que de 100 ppm.

L'absorption digestive, respiratoire ou percutanée de l'ion ammonium formé par la combinaison d'ammoniac et d'eau n'a pas fait l'objet d'étude. L'absorption d'ions ammonium est certainement faible. Elle n'est jamais responsable d'hyperammonémie. Les ions ammonium absorbés sont transformés en urée et servent à la synthèse des acides aminés. L'excrétion est surtout rénale (il existe également une faible élimination sudorale).

Toxicologie expérimentale

Aiguë [4, 12 à 15]

La DL50 par voie orale chez le rat est de 350 mg/kg et chez le chat de 750 mg/kg.

La CL50, par inhalation, chez le rat est de 7600 mg/m³, pour une exposition de 2 heures.

Chez la souris, la CL50 varie de 10150 ppm pour une exposition de 10 minutes à 4837 ppm pour une exposition de 1 heure ; elle est de 3310 mg/m³ pour une exposition de 2 heures.

L'exposition à de fortes concentrations d'ammoniac produit une irritation intense, puis des lésions caustiques des muqueuses oculaires, des voies respiratoires et de la peau. À l'autopsie des animaux, on constate des ulcérations des épithéliums oculaires et respiratoires, un œdème aigu pulmonaire hémorragique et, parfois, des atelectasies. La rétention de l'ammoniac dans les voies aériennes supérieures est importante : les lésions hautes sont toujours plus importantes que les atteintes bronchiolaires et alvéolaires. Chez les survivants, les séquelles oculaires définitives (opacité cornéenne, cécité) sont fréquentes.

L'administration orale de solutions aqueuses d'ammoniac est responsable de lésions caustiques du tube digestif (ulcérations, hémorragies, perforations).

L'ammoniac et ses solutions aqueuses sont caustiques pour la peau et les muqueuses ; la gravité des lésions produites dépend de la quantité de la solution appliquée, de la concentration et du temps de contact. Les lésions oculaires sont particulièrement sévères, les ulcérations conjonctivales et cornéennes s'accompagnent presque toujours d'une iritis et, parfois, d'un glaucome. À terme, les séquelles invalidantes (opacités cornéennes, cataracte, glaucome) sont fréquentes. Les solutions hautement alcalines (pH > 11,5) sont très irritantes.

Quelle que soit la voie d'administration, l'intoxication systémique par l'ion ammonium ne semble pas participer au tableau observé.

Chronique [4, 12, 14, 16]

L'exposition répétée ou prolongée à l'ammoniac est responsable d'une irritation oculaire et respiratoire dans toutes les espèces testées. Elle apparaît dès 100 ppm. À concentration constante, lorsque l'exposition est poursuivie, une tolérance apparaît : les signes d'irritation s'amendent ou disparaissent. En raison de la forte rétention de l'ammoniac par les voies aériennes supérieures, les lésions sont toujours plus marquées à ce niveau. L'irritation chronique de l'arbre respiratoire favorise le développement d'infections broncho-pulmonaires.

Les signes d'intoxication systémique sont toujours discrets ou absents : élévation modérée de l'urée sanguine, vraisemblablement secondaire à l'absorption de l'ion ammonium.

Toxicité sur l'homme

Aiguë [4, 12, 15, 17 à 21]

L'ingestion d'une solution concentrée d'ammoniacque (pH > 11,5) est immédiatement suivie de douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques. Les vomissements sont fréquents ; ils sont habituellement sanglants. L'examen de la cavité buccopharyngée révèle, presque toujours, des brûlures sévères. La fibroscopie œsogastro-duodénale permet de faire le bilan des lésions caustiques du tractus digestif supérieur. Le bilan biologique révèle une acidose métabolique et une élévation des enzymes tissulaires témoignant de la nécrose. L'hyperleucocytose est constante. Les complications pouvant survenir dans les jours suivant l'ingestion sont :

- des hémorragies digestives,
- des perforations œsophagiennes ou gastriques,
- un choc, secondaire à une hémorragie abondante ou à une perforation,
- une acidose métabolique intense et/ou une coagulation intravasculaire disséminée (évoquant une nécrose étendue ou une perforation),
- une détresse respiratoire révélant un œdème laryngé, une destruction du carrefour aérodigestif, une pneumopathie d'inhalation ou une fistule œsotrachéale.

L'évolution ultérieure est dominée par le risque de constitution de sténoses digestives.

L'exposition à l'ammoniac provoque, immédiatement, une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires. À concentrations élevées, on observe :

- une irritation trachéobronchique : toux, dyspnée asthmatiforme ; le bronchospasme est parfois intense, responsable d'emblée d'une détresse respiratoire,
- une atteinte oculaire : larmoiement, hyperhémie conjonctivale, ulcérations conjonctivales et cornéennes, iritis, cataracte, glaucome,
- des brûlures chimiques cutanées au niveau des parties découvertes,
- des ulcérations et un œdème des muqueuses nasale, oropharyngée et laryngée.

À court terme, le pronostic dépend de l'évolution des troubles respiratoires : bronchospasme et œdème laryngé, puis œdème aigu pulmonaire lésionnel (survenant habituellement entre la 6^e et la 24^e heure, après une phase de rémission apparente). Secondairement, l'hypersécrétion bronchique et la desquamation de la muqueuse sont responsables d'obstructions tronculaires et d'atelectasies ; la surinfection bactérienne est habituelle.

Les séquelles respiratoires (sténoses bronchiques, bronchiolite oblitérante, bronchectasies, fibrose pulmonaire) et oculaires (opacités cornéennes, cataracte, glaucome) sont fréquentes.

Les projections cutanées et oculaires d'ammoniac sont responsables de lésions caustiques locales sévères, si une décontamination n'est pas rapidement réalisée. En cas de projection oculaire, les séquelles (opacités cornéennes, iritis, glaucome, cataracte) sont fréquentes.

Chronique [4, 22, 23]

L'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance : l'odeur et les effets irritants du gaz sont perçus à des concentrations plus élevées qu'initialement (le seuil de perception olfactif de l'ammoniac est très variable : quelques dixièmes de ppm à plus de 100 ppm).

Les effets de l'ammoniac sur la fonction respiratoire des travailleurs exposés au long cours ne semblent avoir fait l'objet que d'une étude ; la population était de petite taille (41 personnes), exposée depuis en moyenne 16 ans à l'ammoniac et à de brutales variations de température. Les concentrations atmosphériques du gaz ne sont pas précisées. Les seules anomalies constatées sont des diminutions (non significatives) de la capacité vitale et du VEMS.

Deux cas d'éruptions urticariennes chez des personnes exposées à des concentrations d'ammoniac élevées ont été décrites. Il n'est pas possible d'être certain du mécanisme allergique de ces manifestations.

Effet cancérigène [4, 24]

Un cancer de la doison nasale est survenu après une brûlure par un mélange d'ammoniac et d'huile. Il est impossible de faire la part de la responsabilité de l'ammoniac dans la genèse de la tumeur.

Selon une équipe de la République démocratique allemande, la mortalité et l'incidence des tumeurs cancéreuses pulmonaires, laryngées, urinaires, gastriques et lymphoïdes étaient élevées dans une usine où l'ammoniac et des amines étaient manipulés. La publication est trop imprécise pour que la responsabilité de l'ammoniac puisse être déterminée.

– Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

4. Cuves et réservoirs

– Article R. 233-46 du Code du travail et circulaire du ministère du Travail du 11 avril 1952 (non parue au JO).

5. Valeurs limites d'exposition professionnelle

– Article R. 231-58 du Code du travail : décret du 9 février 2006 fixant des VLEP contraignantes (JO du 10 février 2006).

– Directive 2000/39/CE de la Commission du 8 juin 2000 (JOCE du 16 juin 2000).

6. Maladies de caractère professionnel

– Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

7. Classification et étiquetage

a) de l'ammoniac anhydre *pur* :

– Arrêté du 4 août 2005 (JO du 11 août 2005) modifiant l'arrêté du 20 avril 1994 qui prévoit la classification suivante :

Inflammable, R 10

Toxique, R 23 – Corrosif, R 34

Dangereux pour l'environnement, R 50

b) de l'ammoniac en solution aqueuse :

– Arrêté du 8 juin 1998 (JO du 3 juillet 1998) modifiant l'arrêté du 20 avril 1994 qui prévoit la classification suivante :

concentration $\geq 25\%$ C, R 34 – N, R 50

10% \leq conc. < 25% C, R 34

5% \leq conc. < 10% Xi, R 36/37/38

c) des préparations contenant de l'ammoniac :

– Arrêté du 9 novembre 2004 (JO du 18 novembre 2004). Des limites de concentration figurent à l'annexe 1 des substances dangereuses.

8. Entreprises extérieures

– Arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant en application de l'article R. 237-8 du Code du travail la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention (ammoniac anhydre).

RÉGLEMENTATION

HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

1. Règles générales de prévention des risques chimiques

– Articles R. 231-54 à R. 231-54-17 du Code du travail.

2. Aération et assainissement des locaux

– Articles R. 232-5 à R. 232-5-14 du Code du travail.

– Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).

– Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

3. Prévention des incendies et des explosions

– Articles R. 232-12-23 à R. 232-12-29 du Code du travail.

PROTECTION DE LA POPULATION

– Article L. 5132.2 et articles R. 5132-43 à R. 5132-73 du Code de la santé publique :

• détention dans des conditions déterminées (art. R. 5132-66) ;

• étiquetage (cf. 7) ;

• cession réglementée (art. R. 5132-58 et R. 5132-59) : ammoniac anhydre.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, imprimerie des Journaux officiels, brochure n° 1001 :

– n° 1135 : fabrication industrielle d'ammoniac,

– n° 1136 : emploi ou stockage de l'ammoniac.

TRANSPORT

Se reporter éventuellement aux règlements suivants.

1. Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure)

– ADR, RID, ADN

Ammoniac anhydre

N° ONU : 1005

Classe : 2

Groupe d'emballage : I

Ammoniac en solution aqueuse (10 % < NH₃ ≤ 35 %)

N° ONU : 2672

Classe : 8

Groupe d'emballage : I ou II

Ammoniac en solution aqueuse (35 % < NH₃ ≤ 50 %)

N° ONU : 2073

Classe : 2

Groupe d'emballage : I ou II

Ammoniac en solution aqueuse (NH₃ > 50 %)

N° ONU : 3318

Classe : 2

Groupe d'emballage : I ou II

2. Transport par air

– IATA

3. Transport par mer

– IMDG

RECOMMANDATIONS

I. AU POINT DE VUE TECHNIQUE [25 à 28]

Stockage

■ Le stockage s'effectuera dans des locaux spéciaux, largement ventilés, soit par des ouvertures placées à la partie supérieure, soit par une cheminée de section suffisante et s'élevant au-dessus des immeubles voisins.

■ L'installation électrique sera du type étanche à l'abri de l'action corrosive des vapeurs d'ammoniac. Le matériel électrique, y compris l'éclairage, sera conforme à la réglementation en vigueur.

■ Ne pas fumer.

■ Les récipients seront placés verticalement, à l'abri des rayons solaires, de la chaleur et des produits susceptibles de réagir vivement avec l'ammoniac (cf. *Propriétés chimiques*). Les récipients seront soigneusement fermés et étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

■ Le sol des locaux sera imperméable et formera cuvette de rétention afin qu'en cas de déversement accidentel, les solutions ne puissent se répandre au dehors.

■ Prévoir, à proximité et à l'extérieur, des équipements de protection, notamment des appareils de protection respiratoire isolants autonomes, un poste d'eau à débit abondant, des douches de sécurité et des fontaines oculaires en cas d'accident.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux locaux où sont manipulés l'ammoniac ou ses solutions aqueuses. En outre :

■ Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident.

■ Effectuer en appareil clos toute opération industrielle. Ventiler convenablement les locaux de travail. Dans tous les cas, capter les émissions à leur source. Prévoir, à proximité, des appareils de protection respiratoire et des équipements de protection appropriés.

■ Éviter le contact avec la peau et les yeux. Mettre, à la disposition du personnel, vêtements de protection, gants et lunettes de sécurité. Les effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

■ Lorsqu'on utilise un appareil faisant intervenir de l'ammoniac, il faut s'assurer que les raccords sont étanches et les conduites en état de fonctionnement et qu'ils sont compatibles avec l'ammoniac.

■ Pour la manutention et l'utilisation des bouteilles de gaz comprimé, il faut se conformer aux indications données par le fabricant. Ces bouteilles ne doivent pas être soumises à une manipulation brutale ou à des chocs. Elles ne seront jamais chauffées.

■ Les fuites d'ammoniac peuvent être détectées, soit au moyen d'une solution de chlorure d'hydrogène, soit au moyen de chlore ou de dioxyde de soufre comprimés. En présence d'ammoniac, il se forme des fumées blanches. L'utilisation de bougies au soufre est à proscrire en raison du risque d'incendie.

■ En cas de fuites d'ammoniac, seul le personnel muni d'appareils respiratoires isolants restera dans la zone polluée. Toutes les sources possibles d'ignition seront éliminées. S'il n'est pas possible de colmater immédiatement la fuite, on dirigera sur elle de grandes quantités d'eau.

■ Prévoir des douches de sécurité et des fontaines oculaires dans les ateliers.

■ Ne jamais procéder à des travaux sur et dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu de l'ammoniac ou ses solutions aqueuses sans prendre les précautions d'usage [25].

■ L'évacuation des eaux résiduaires dans un égout ou une rivière ne pourra s'effectuer que lorsque leur pH aura été ramené entre 5,5 et 8,5.

■ Conserver les déchets ou les produits souillés dans des récipients prévus à cet effet. Les éliminer dans les conditions prévues par la réglementation (traitement dans l'entreprise ou dans un centre spécialisé).

II. AU POINT DE VUE MÉDICAL

■ Éloigner des postes comportant un risque d'exposition les sujets atteints d'affections cutanées, cardio-pulmonaires chroniques ou de troubles du tractus digestif supérieur.

■ Recommander aux porteurs de lentilles de contact d'utiliser des verres correcteurs lors des travaux où ils peuvent être exposés à des vapeurs ou aérosols du produit.

- Lors des examens systématiques, rechercher des lésions cutanées, oculaires, dentaires et pulmonaires ainsi que des signes d'irritation digestive.
- Lors d'accidents aigus, demander dans tous les cas l'avis d'un médecin. Lui préciser, si possible, le pH de la solution responsable. Les risques sont particulièrement graves lorsque le pH est supérieur à 11,5.
- En cas de contact cutané, laver immédiatement à l'eau pendant quinze minutes. Retirer s'il y a lieu les vêtements souillés et ne les réutiliser qu'après décontamination.
- En cas de projection oculaire, laver immédiatement à grande eau pendant quinze minutes. Toujours consulter un ophtalmologiste.
- En cas d'inhalation de vapeurs ou d'aérosols, retirer la victime de la zone polluée, après avoir pris toutes les pré-

cautions nécessaires. Mettre en œuvre s'il y a lieu des manœuvres de réanimation. Laisser le sujet au repos en raison du risque d'accident respiratoire aigu retardé.

- En cas d'ingestion de solutions diluées (pH inférieur à 11,5), en très faible quantité, faire boire un ou deux verres d'eau. S'il apparaît des douleurs rétrosternales et abdominales, des nausées et des vomissements, consulter un médecin.
- En cas d'ingestion de solutions concentrées dont le pH est supérieur à 11,5 ou de solutions dont le pH n'est pas connu, ne pas faire boire, ne pas tenter de provoquer des vomissements; faire transférer rapidement en milieu hospitalier.

BIBLIOGRAPHIE

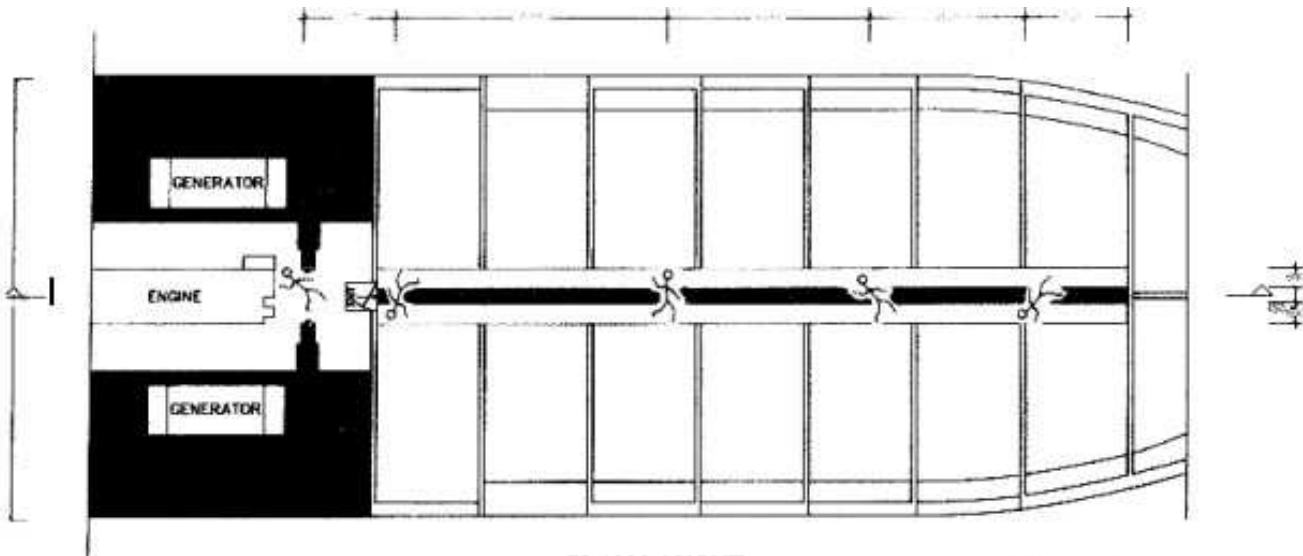
1. KIRK-OTHMER – *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4^e éd., New York, John Wiley and sons, vol. 2, 1992, pp. 638-688.
2. *Encyclopédie des gaz* Paris l'Air Liquide, 1976, pp. 951-972.
3. *Matheson gas data book*. Secaucus, Matheson gas products, 1980, pp. 23-33.
4. *Occupational health guideline for ammonia*. Cincinnati, NIOSH/OSHA, 1981.
5. PASCAL P. – *Nouveau traité de chimie minérale*. Paris, Masson, 1956, tome X, pp. 76-155.
6. LELEU J. – *Réactions chimiques dangereuses*. Paris, INRS ED 697, 1987, pp. 36-37 et 39-40.
7. SAX N.I. – *Dangerous properties of industrial materials*. New York, Londres, Van Nostrand Reinhold Company 1984, p. 257.
8. BRETHEKICK'S handbook of reactive chemicals hazards, 6^e éd., vol. 1. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1999, pp. 1657-1661.
9. *Fire protection guide to hazardous materials*, 13^e éd., Army Beasley Spencer and Guy R. Colonna PE, editors. NFPA International, 1997.
10. DFG, *Analyses of hazardous substances (Ammonia)*, Wiley-VCH, Volume 9, 2005.
11. Base de données *Métropol*. Métrologie des polluants. Fiche 013 (Ammoniac et sels d'ammonium). INRS. Consultable sur le site <http://www.inrs.fr>.
12. CLAYTON G.D., CLAYTON F.E. – *Patty's industrial hygiene and toxicology*, 3^e éd., vol. II B. New York, John Wiley and sons, 1981, pp. 3045-3070.
13. RICHARD D., JOUANY J.-M., BOUDENE C. – *Toxicité aiguë par voie aérienne du gaz ammoniac chez le lapin*. C.R. Acad. Sc., 1978, 287, pp. 375-378.
14. DODDS K.T., GROSS D.R. – *Ammonia inhalation toxicity in cats. A study of acute and chronic respiratory dysfunction*. Arch. Env. Health, 1980, 35, pp. 6-14.
15. GRANT W.M. – *Toxicology of the eye*, 2^e éd. Springfield, C.C. Thomas Publisher, 1974, pp. 121-128.
16. RICHARD D., BOULEY G., BOUDENE C. – *Effets de l'inhalation continue d'ammoniac chez le rat et la souris*. Bull. Eur. Physiopath. Resp., 1978, 14, pp. 573-582.
17. PONTAL P.G., BRUN J.-G., LORIMIER G. – *Brûlures caustiques du tractus digestif supérieur*. Rev. Méd., 1983, 4-5, pp. 191-195.
18. GAULTIER M. et coll. – *A propos de 3 cas d'intoxication aiguë par l'ammoniac. Evolution clinique et biologique*. Ann. Méd. Lég., 1964, 4, pp. 357-361.
19. WATON M. – *Industrial ammonia gassing*. Brit. J. Ind. Med., 1973, 30, pp. 78-86.
20. TAPLIN G.V. et coll. – *Radionuclidic lung-imaging procedures in the assessment of injury due to ammonia inhalation*. Chest, 1976, 5, pp. 582-586.
21. FLUR K.E. et coll. – *Airway obstruction due to inhalation of ammonia*. Mayo Clin. Proc., 1983, 58, pp. 389-393.
22. EL SEWEFY A.Z., AWAD S. – *Chronic bronchitis in an Egyptian ice factory*. J. Egypt. Med. Assoc., 1971, 54, pp. 304-310.
23. MORRIS G.E. – *Urticaria following exposure to ammonia fumes*. Arch. Ind. Health, 1958, 13, p. 480.
24. SHIMKIN M.B. et coll. – *Appearance of carcinoma following single exposure to a refrigeration ammonia oil mixture. Report of a case and discussion of the role of carcinogenesis*. Arch. Ind. Hyg. Occur. Med., 1954, 9, pp. 186-193.
25. Cuves et réservoirs. Recommandation C NAM R 276. INRS.
26. *The handling and storage of liquid propellants*. Washington, Office of the director of defense research and engineering, 1963, pp. 39-56.
27. *American national standard safety requirements for the storage and handling of anhydrous ammonia*. New York, American National Standards Institute, 1972.
28. CICOLELLA A. – *Étu de la faction de l'eau sur une fuite d'ammoniac liquide non réfrigéré*. Travail et sécurité, nov. 1973, pp. 528-533.



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

**Constatations des pompiers
lors de leur intervention**

Plans position des victimes établi par les sapeurs pompiers de Port Victoria



PLAN LAYOUT

SCALE NTS
DIMENSION IS APPROXIMATE

SKETCH PLAN OF BELOW MAIN DECK LEVEL OF FRENCH FISHING VESSEL (LE TITANS) INVOLVED IN FATAL AMONIA GAS LEAKAGE INCIDENT AT FISHING PORT VICTORIA ON THE 03RD OF DECEMBER 2008

NOTE

TRAVELLING DISTANCE FROM FATALITY ① TO THE OUTSIDE THE VESSEL AS PER ROUTE TAKEN IS APPROXIMATELY 57 METRES

NOTE
DATE DRAWN — 09-12-08
DRAWN BY R.B.
ENDORSE BY INSPECTOR SPYCH
SIGN — *V. [Signature]*

Légende :



Victimes



Tunnel door

1

Employé entreprise extérieure

2

Employé entreprise extérieure

3

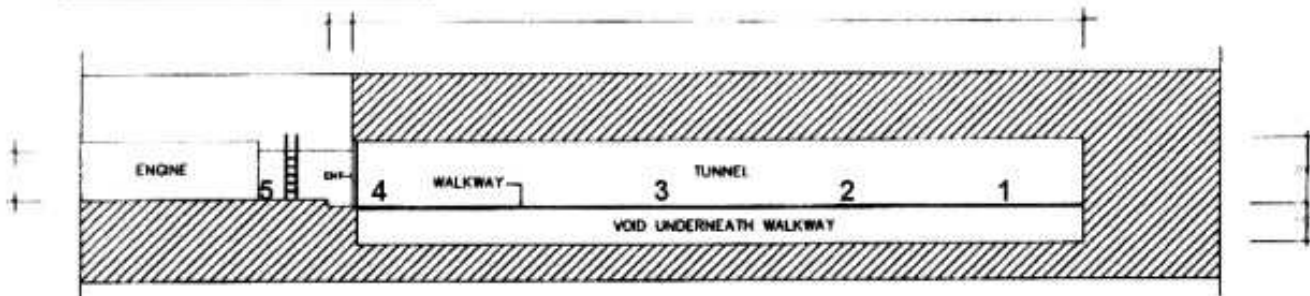
Chef-mécanicien

4

Employé entreprise extérieure

5

Employé entreprise extérieure



SECTION

SCALE NTS
DIMENSION IS APPROXIMATE

SKETCH SECTION OF BELOW MAIN DECK LEVEL OF FRENCH FISHING VESSEL (LE TITANS) INVOLVED IN FATAL AMONIA GAS LEAKAGE INCIDENT AT FISHING PORT VICTORIA ON THE 03RD OF DECEMBER 2008

NOTE

TRAVELLING DISTANCE FROM FATALITY ① TO THE OUTSIDE THE VESSEL AS PER ROUTE TAKEN IS APPROXIMATELY 57 METRES

NOTE
DATE DRAWN — 09-12-08
DRAWN BY R.B.
ENDORSE BY INSPECTOR SPYCH
SIGN — *V. [Signature]*



**Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat**

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

**Tour Pascal B - Antenne Voltaire - 92055 La Défense cedex
téléphone : +33 (0) 1 40 81 38 24 - télécopie : +33 (0) 1 40 81 38 42
www.beamer-france.org
bea-mer@developpement-durable.gouv.fr**