

ENJEUX DE L'ACTUALITÉ MARITIME

Fuite mortelle de chlore sous pression dans le port d'Aqaba (Jordanie)

Rédacteur :

- > Yannick Le Manac'h, Inspecteur des Affaires maritime (en retraite)



Figure 1 : Photographique d'une fuite de chlore sous pression dans le port d'Aqaba (Autorités jordaniennes)

Résumé : Le 27 juin 2022, le cargo *Forest 6* est en opération commerciale au port d'Aqaba (Jordanie). Lors de l'embarquement d'un conteneur-citerne chargé de chlore sous pression l'élingue de levage cède brutalement. Le conteneur s'écrase sur le pont du porte-conteneurs en libérant un nuage toxique qui provoque la mort de plusieurs personnes et fait de nombreux blessés.

Mots clés : conteneur-citerne, chlore gazeux sous pression, accident mortel, porte-conteneurs

Tous droits réservés. Ce document, protégé par le droit d'auteur, est la propriété de Vigipol. Il ne peut être utilisé ou reproduit sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit sans autorisation écrite préalable de Vigipol ni sans citer la source. © Vigipol – Juillet 2022

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
1. RAPPEL DES FAITS	3
2. CONSÉQUENCES.....	3
2.1. Humaines	3
2.2. Environnementales.....	3
3. MATÉRIELS ET PRODUITS IMPLIQUÉS DANS LE SCÉNARIO DE L'ACCIDENT	3
3.1. Substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD)	4
3.2. Conteneurs-citerne pour vrac liquide et gaz	5
3.3. La manutention portuaire - généralités	6
3.4. Levage des conteneurs-citerne : recommandations	9
3.5. Élingage de sécurité, une démarche organisationnelle	9
3.6. Le <i>Forest 6</i>	10
4. OBSERVATIONS - ANALYSE	10
4.1. Le chlore	10
4.2. Séquences de l'accident	11
4.3. Le conteneur-citerne.....	12
4.4. Le dispositif de levage.....	12
4.5. Les élingues.....	14
4.6. Implication du facteur humain	16
GLOSSAIRE.....	18

INTRODUCTION

La particularité de l'accident survenu dans le port jordanien d'Aqaba suscite des interrogations auxquelles nous tentons de répondre par une approche technique¹ des éléments factuels, acteurs directs ou indirects de l'arbre des causes : les conditions d'élingages, la nature et la toxicité du produit, le type de conteneur, la démarche organisationnelle portuaire, le navire et son capitaine. Ce document, propriété de Vigipol, dont l'objectif vise avant tout la compréhension d'un accident, ne peut en aucun cas être utilisé à des fins d'expertise.

1. RAPPEL DES FAITS

Le lundi 27 juin 2022, vers 17h40 (UTC), le porte-conteneurs (*feeder*) **Forest 6**, en provenance de Djibouti, est en opération commerciale au port d'Aqaba (Jordanie), principale porte d'entrée maritime du pays et de transit pour ses importations et exportations. Il doit embarquer une vingtaine de conteneurs-citernes de « chlore gazeux sous pression » ou *chlorine gas*² chargés sur des camions, pour ensuite regagner Djibouti.

La manutention est opérée au moyen d'une grue et d'une élingue multibrins connectée à celle-ci. Lors d'un transfert, l'élingue cède brutalement provoquant la chute du conteneur sur le pont du *Forest 6*. Sous le choc, la citerne est perforée et laisse s'échapper un nuage de gaz toxique, jaune-orange, lourd, qui recouvre le navire ainsi qu'une partie de la zone portuaire contiguë en se déplaçant au gré du vent. La citerne contenait 25 tonnes de chlore.

2. CONSÉQUENCES

2.1. Humaines

Le bilan annoncé par les autorités jordaniennes est de 13 personnes décédées et près de 260 blessés dans un état moyen ou critique traités principalement pour avoir respiré du gaz chloré. Cet accident a mobilisé 2 700 membres du personnel de sécurité et d'urgence jordanien dont 45 d'entre eux figurent au nombre des blessés. L'équipage du *Forest 6*, ne fait l'objet d'aucune déclaration.

2.2. Environnementales

Peu d'information si ce n'est que l'orientation du vent a permis d'éviter la propagation du gaz aux zones de concentration de la population d'Aqaba. Les quartiers résidentiels adjacents ainsi que la plage sud très appréciée des touristes ont cependant été évacués. La situation sera sous contrôle dès le lendemain notamment après que les inquiétudes sur l'intégrité des silos à grains situés sur les docks aient été levées. Une enquête est en cours. Notons que la gestion du port est confiée à une société privée.

3. MATÉRIELS ET PRODUITS IMPLIQUÉS DANS L'ACCIDENT

En préambule de toute analyse, il paraît opportun de préciser la nature et les caractéristiques des principaux facteurs de risques impliqués directement ou indirectement dans l'arbre des causes du sinistre.

¹ Complémentaire de la fiche accident réalisée par Vigipol

² Appellation internationale du chlore : en anglais (*chlorine, chlorine gas*)

3.1. Substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD)

Le conditionnement en fûts métalliques arrimés en pontée a longtemps été utilisé dans le transport par mer des substances chimiques liquides, d'où les échouements fréquents de bidons, parfois toxiques, sur les plages posant le problème de leur identification et de leur enlèvement. Dans les années 1960, les volumes et la diversité des produits issus de la chimie, notamment les dérivés de la pétrochimie, ont favorisé le développement de modes de transport plus adaptés au transport en vrac de cargaisons de substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD) notamment les navires-citernes (*Chemical Tanker*) et les conteneurs-citerne dits conteneurs ISO pour le transport de tout type de liquides en vrac, parfois pressurisés : alimentaires et autres produits non-dangereux, dangereux, corrosifs, inflammables, toxiques, voire explosifs. Le marché du conteneur-citerne est en pleine expansion. La Chine et l'Allemagne en sont les principaux fournisseurs.

L'ONU répertorie environ 2 700 produits à risques répartis en neuf classes et sous-classes de dangerosité (Code IMDG). Sont considérés comme « dangereux », les produits solides, liquides ou gazeux présentant, dans le cadre de leur chargement et de leur transport, des risques pour l'homme, l'environnement et la sécurité du navire³.

Chlore gazeux ou « *chlorine Gas* »

Avec une production mondiale annuelle de l'ordre de 44 millions de tonnes, le chlore gazeux est un élément très important de l'industrie chimique : agent désinfectant et stérilisant (traitement des eaux), matière première pour la synthèse de nombreux composés organiques et inorganiques. Il est conditionné « liquéfié » sous sa propre pression de vapeur saturante. On lui connaît d'autres utilisations peu glorieuses⁴.

Principales caractéristiques

- > Formule moléculaire brute : CL₂ ;
- > Couleur jaune-vert à température ambiante ;
- > Odeur irritante et suffocante semblable à celle de l'eau de Javel perceptible à faibles concentrations (moins d'un ppm) ;
- > Densité relativement importante, 2,5 fois supérieure à celle de l'air, ce qui l'amène en cas de fuite à rester initialement près du sol avant de s'épandre au gré du vent.

Classification « transport par mer » en référence au Code IMDG

- > Gaz conteneurisé sous pression ;
- > N° UN (IMDG) : **1017** ;
- > Classes de danger pour le transport IMDG, ADR/RID, IATA) : classe 2, division **2.3 : gaz toxique** ; relève également de la classe 5 (division 5.1) : matière comburante ; de la classe 8 : matière dangereuse pour l'environnement. Les citernes doivent être étiquetées 2.3.

³ L'Annexe II (révisée) de MARPOL instaure une classification spécifique des substances liquides nocives, réparties en quatre catégories dans une nouvelle échelle de nocivité déterminée en fonction de l'impact environnemental (au sens large) des rejets volontaires licites effectués lors d'opérations de nettoyage des citernes ou de déballastage.

⁴ Tristement célèbre comme agent d'armes chimiques durant la Première guerre mondiale et plus récemment durant les conflits en Irak et en Syrie.

Mentions de danger (GHS-US)⁵

- > CGA-HG22, H330 : corrosif pour les voies respiratoires, mortel par inhalation ;
- > H314 : provoque des brûlures graves de la peau et des lésions oculaires ;
- > H280 : contient du gaz sous pression, peut exploser s'il est chauffé ;
- > H270 : peut provoquer ou intensifier un incendie, oxydant ;
- > H400 : très toxique pour la vie aquatique.

Les citernes de chlore vides restent dangereuses. Elles doivent être marquées et étiquetées comme étant pleines avant d'être définitivement purgées.

3.2. Conteneurs-citerne pour vrac liquide et gaz

Option de transport maritime privilégiée, à l'instar des autres types de conteneurs, l'intermodalité du conteneur-citerne ISO (ISO Tank) constitue un moyen de transport conteneurisé aisé et sécurisé de fluides liquides, de gaz liquéfiés ou sous pression, dangereux (corrosifs, inflammables, toxiques, explosifs) et non dangereux comme les produits alimentaires. Contrairement aux navires-citernes qui relèvent du Code IBC⁶, les conteneurs-citernes, dont la fonction est identique mais les quantités transportées sans aucun rapport, sont considérés comme des « colis » au sens du Code IMDG⁷.

Dimensions - structure externe - capacité

Les conteneurs-citernes doivent être mécaniquement résistants aux chutes et gerbages, étanches et compatibles avec la nature des produits. Généralement de forme cylindrique, le réservoir est intégré dans un cadre métallique dont la longueur correspond au standard international des dimensions des conteneurs maritimes (EVP)⁸. Outre la fonction de protéger la citerne, le cadre est équipé de pièces de coin aux huit extrémités permettant une préhension sécurisée par *spreader* (fig.7 et 8) et le saisissage à bord. La nature d'un produit, notamment la densité, détermine la capacité maximale du réservoir et la longueur du cadre : 20 et 30 pieds pour la grande majorité (exceptionnellement 40 pieds). La capacité nominale d'un conteneur-citerne de 20 pieds varie entre 14 000 et 26 000 litres - poids à vide trois tonnes en moyenne - en pleine charge entre 24 et 36 tonnes - pression maximale opérationnelle de 1,75 à 4 bars.



Figure 2 : Photographie d'un conteneur-citerne (1001containers.fr)

⁵ Globally Harmonized System on Hazard Classification

⁶ Recueil IBC : *International standard for the safe carriage by sea of dangerous and noxious liquid chemicals in bulk*. - version amendée par le Comité de la sécurité maritime (MSC), 101^{ème} session, 5-14 juin 2019, entrée en force le 01.01.2021.

⁷ Le Recueil IMDG ou *International Maritime Dangerous Goods Code* est un guide de l'OMI pour le transport des matières dangereuses en colis (y compris conteneurs et véhicules, à l'opposé du "vrac" directement placé en cale). L'édition 2018 du Code IMDG (Amendement 39-18) est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2020 pour une durée de deux ans (le Code IMDG est mis à jour tous les deux ans). Le supplément à l'édition 2018 du Code IMDG remplace l'édition précédente de 2014.

⁸ Un cadre de 20 pieds est fabriqué selon les normes ISO : longueur 6,05m, largeur 2,40m, hauteur variant de 2,40m à 2,55m.

Construction, échantillonnage

Ces citernes spécialisées répondent aux exigences universelles de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et de l'Organisation maritime internationale (OMI) en termes de construction, de caractéristiques et de produits. Les périodicités de contrôle et d'inspection sont définies par la Convention internationale sur la Sécurité des Conteneurs (CSC). En référence au Code IMDG⁹, les propriétés physiques ou chimiques des contenus déterminent la constitution de la cuve : matériau (acier inox, acier Corten, pour la plupart), échantillonnage, revêtement de protection interne (polyuréthanes, aluminium, etc.), voire externe.

Protection

Les revêtements spéciaux de protections internes des citernes ISO maritimes sont quasiment identiques aux revêtements utilisés pour la protection et l'isolation des cales des navires-citernes¹⁰. Ils permettent de résister aux effets corrosifs de certains produits dont les plus nocifs comme l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique et de prolonger la durée de vie du conteneur.

Sécurisation des variations de pression et de température

Durant le transport, les citernes doivent supporter des variations de pression et de température. Elles sont sécurisées par des valves et des soupapes ISO/IMO (2,2 à 4,4 bars) pour résister à la pression, implosion/explosion, aux fuites, aux produits chimiques corrosifs, toxiques et nucléaires. Certains produits dangereux requièrent des citernes équipées de dispositifs de chauffe ou de refroidissement (conteneur-citerne *Reefer*).

Classement IMO

Complémentairement aux normes ISO¹¹, l'aptitude des citernes à charger un type de produit NLS est attestée par un certificat de conformité au Code IMDG, délivré après essais destructifs et non destructifs des éléments de construction, des vannes de raccordement et des soupapes. Il en est de même pour le châssis.

IMO	Produit	Épaisseur de tôle (mm)
1	Toxiques, corrosifs, inflammables	4,9 à 8 mm
2	Alcool alimentaire, flash sous point de 61°	3 à 3,8 mm
5	Gaz liquide sous pression de 3 bars à 50°	10 à 17 mm
7	Gaz liquéfié sous température négative	Double parois requise

Un conteneur-citerne n'admet qu'une seule famille de liquide ou de gaz.

3.3. La manutention portuaire - généralités

Le levage et l'accroche de charges sont deux des composantes fondamentales de la manutention portuaire dans laquelle interviennent : les grues et les portiques, les charges à lever, les

⁹ IMDG : Code international du transport par mer des marchandises dangereuses en colis.

¹⁰ Voir : Transport par mer des substances liquides nocives ou potentiellement dangereuses en vrac – Yannick Le Manac'h – Vigipol – avril 2022

¹¹ ISO T11 : produits non dangereux – ISO T14 : produits chimiques dangereux et les acides (doublé de caoutchouc pour les produits chimiques à base d'acide) – ISO T50 : GPL et gaz d'ammoniac – ISO T75 : liquides cryogéniques – conteneur-citerne SWAP (pour les marchandises de plus de 26 000 à 32 000 tonnes métriques ou de 25 600 à 31 500 tonnes métriques ou de 28 700 à 35 300 tonnes métriques)

supports d'accroche, les élingues, les accessoires de connexion et le facteur humain. Afin d'effectuer un levage en toute sécurité, l'élingueur doit avoir connaissance du **poids de la charge** à lever et de la **limite de rupture** (charge minimale de rupture) des élingues ou autres éléments du dispositif de levage à mettre en œuvre, différente de la **charge maximale d'utilisation** (CMU).

Grue

Le levage a été opéré à partir d'une grue normalement conçue pour charger et décharger du vrac, des colis lourds et des conteneurs. Comme la plupart, cette grue dont le principe de fonctionnement consiste à limiter au maximum le levage des charges, est constituée d'une flèche inclinable montée sur pivot. Ce type de grue, à priori dans les standards des équipements de manutention portuaires, peut supporter jusqu'à 200 tonnes de charge et devrait être équipée d'un peson de contrôle des masses suspendues en bout du croc.

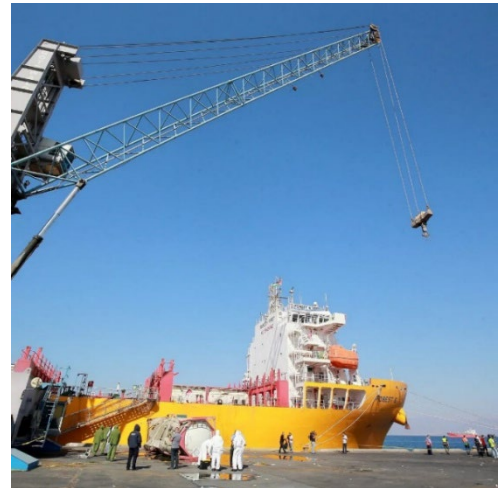


Figure 3 : Photographie d'une grue portuaire utilisée pour le chargement du Forest 6, en retrait
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

Élingage

Les différentes vidéos disponibles sur le net ne permettent pas d'établir avec exactitude le procédé de levage du conteneur si ce n'est l'évidence d'une élingue à deux brins en câble d'acier frappés directement sur les crocs de la grue (fig.5).

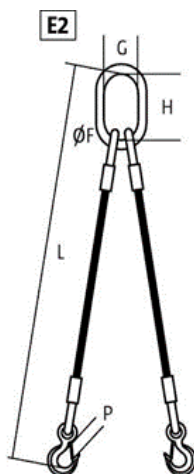


Figure 4 : Schéma de principe d'une élingue à deux brins (L) reliés à un anneau de tête (H) pour assurer un débattement convenable des brins et munis de crochets à linguets (P) pour le saisissage des charges
(prolev.fr)

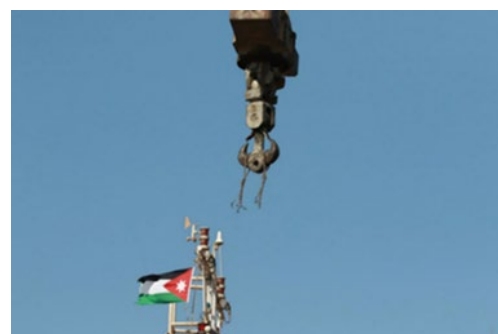


Figure 5 : Croc de levage de la grue, point de suspension du conteneur. Les deux élingues sont cassées au même niveau. En arrière-plan, le pavillon de courtoisie (Jordanie) dans le mat du Forest 6
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

Élingues - Notions de charge et de sécurité¹²

Par définition, une élingue de levage est un élément amovible (à un ou plusieurs brins) terminé par des boucles de saisissage permettant la **liaison** entre un appareil de levage (grue, palan, palonnier, etc.) et une charge à soulever. En acier¹³, textile ou chaînes, elles sont capables de supporter des charges de plusieurs tonnes.

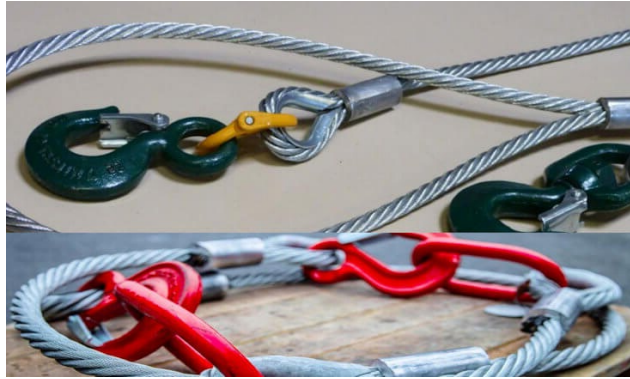


Figure 6 : Types d'élingue sécurisées en câble d'acier

La sécurité d'utilisation et la résistance mécanique d'une élingue de levage répondent à des normes précises¹⁴ :

- > **La CMU** : charge maximale que peut supporter une élingue en utilisation courante, exprimée en tonnes (t) ou kilogrammes (kg) ou encore : « charge maximale d'utilisation », « charge de travail en sécurité », « limite de charge de travail »¹⁵. Le calcul de la CMU dépend de nombreux paramètres : matériau, mode d'accrochage de la charge, température et fait uniquement référence à des charges statiques. Le mode d'élingage, la longueur du brin et les angles d'utilisation¹⁶, modifient la charge d'utilisation d'une élingue multibrins. Le facteur de charge, selon le type d'élingue, doit être pris en compte car il influe grandement sur la **capacité de charge réelle** de l'élingue ;
- > **Le coefficient de sécurité (F)** : ou coefficient d'utilisation, est le rapport arithmétique entre la charge minimale de rupture garantie par le fabricant et la CMU ;
- > **La charge minimale de rupture (CR)**¹⁷ : c'est une information stratégique, attestée par le fabricant, qui garantit un levage en toute sécurité. Elle est déterminée par les normes en vigueur¹⁸ et la formule : **CMU x F** (F = 5 pour les câbles d'acier).

Exemple : la charge minimale de rupture d'un câble d'acier de 20 mm de diamètre dont la CMU correspond à quatre tonnes, sera : $4 \times 5 = 20$ tonnes (valeur très au-dessus de la charge maximale d'utilisation qui rappelons-le est une limite de charge de travail).

¹² Accessoires de levage – Mémento de l'élingueur – Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)

¹³ Élingue câble : les câbles sont constitués de fils d'acier galvanisé tréfilés, assemblés pour constituer des torons : 7 x 7 fils, 6/7 x 19 fils, 6 x 36/37 fils

¹⁴ ISO, européennes, OSHA, ANSI, ASME, autres organismes gouvernementaux et industriels

¹⁵ SWL pour « safe working load » - WLL pour « working load limit »

¹⁶ Plus la longueur est importante, plus l'angle α entre 1 brin et la verticale est fermé

¹⁷ BLL : Breaking Load Limit en anglais

¹⁸ Notamment les normes européennes EN 1492-1 et 2

Tableau comparatif de charge d'un dispositif d'élingage en acier à un brin et deux brins

Diamètre du câble	Elingue à 1 brin			Elingue à 2 brins		
	Angle d'utilisation	Facteur d'élingage	CMU en kg	Angle d'utilisation ¹⁹	Facteur d'élingage	CMU en kg
20 mm	Vertical	1	4 000	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	1,4	5 600
22 mm	Vertical	1	5 000	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	1,4	7 000
24 mm	Vertical	1	6 000	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	1,4	8 400
26 mm	Vertical	1	7 500	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	1,4	10 500
30 mm	Vertical	1	11 500	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	1,4	16 100

3.4. Levage des conteneurs-citerne : recommandations

Selon les normes ISO, par mesures de sécurité et pour stabiliser la charge, un conteneur-citerne plein ne peut seulement être levé que par un *spreader*²⁰, ou palonnier rigide, qui s'accroche aux 4 coins ISO supérieurs du conteneur (fig.7 et 8). Il peut être fixé à un camion de levage, une grue à portique, ou un véhicule pour manutention de conteneurs.

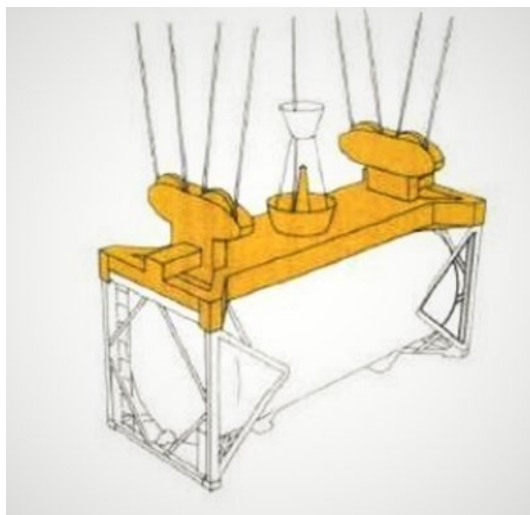


Figure 7 : Schéma de levage d'un conteneur-citerne au moyen d'un *spreader* (container-z.com)

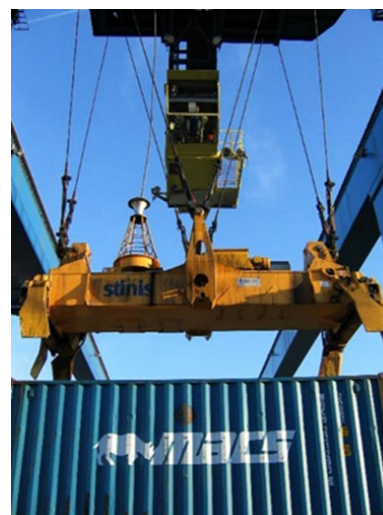


Figure 8 : Photographie d'un *Spreader*

3.5. Élingage de sécurité, une démarche organisationnelle

Élinguer une charge en toute sécurité relève, à tout préalable, d'une démarche organisationnelle qui associe les matériels et les hommes, notamment :

- > des équipements en bon état et adaptés ;
- > des opérateurs formés ;
- > des procédures d'élingage des charges.

¹⁹ L'effort au brin pour une même charge augmente suivant l'écartement des brins

²⁰ Généralement ce sont des cadres télescopiques qui peuvent être ajustés sur la longueur du récipient et engagent ainsi les quatre raccords d'angles (coins) du récipient et le verrouillent avec les verrous à torsion

3.6. Le Forest 6

Le *Forest 6* est un petit conteneur moderne de type *feeder*, construit en 2022, sous pavillon Hong Kong et intérêts chinois. Ce navire, récemment mis en service (janvier 2022), n'appelle aucune observation particulière. Il est adapté au transport de conteneurs-citerne et de substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD).



Figure 9 : Photographie du Forest 6
(FleetMon)



Figure 10 : Photographie du conteneur-citerne sur le quai
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

Fiche signalétique

Nom du navire	FOREST 6
IMO	9875343
Type navire	CONTAINER SHIP
AIS – genre de navire	Cargo - Hazard A (Major)
Année de construction	2022
Chantier	N/C
Pavillon	HONG KONG (Special Administrative Region of the People's Republic of China)
Longueur/largeur/tirant d'eau	134 m - 22 m – 4,8 m
Puissance moteur principal	3 600 kw – 1 ligne d'arbre
Jauge brute	8 425 UMS
Port en lourd (DWT)	9 000 TM
Effectif de sécurité	17 (crew and passengers – ref : minimum safe manning)
Armateur	HK PEACE SHIPPING CO LTD - Hong Kong, China.
Ship Manager/Commercial Manager	HK PEACE SHIPPING CO LTD - Hong Kong, China.
ISM Manager	SEACON SHIPS MANAGEMENT CO-HKG - Shandong, 266101, China.
Classification – Status & Survey	RINA
P&I informations	The London P&I Club
Port State Control	Tokyo Mou database – 14.01.2022 - Hong Kong China – 1 def (IOPP)

Source : Equasis

4. OBSERVATIONS - ANALYSE

4.1. Le chlore

Selon les autorités jordaniennes, la citerne contenait 25 tonnes de chlore gazeux (ou *chlorine*) sous pression. Ce produit, relevant des classes 2.3, 5.1 et 8 du Code IMDG, présente un niveau de dangerosité important pour l'homme et l'environnement :

- > corrosif pour les voies respiratoires, mortel par inhalation ;
- > provoque des brûlures graves de la peau et des lésions oculaires ;
- > gaz sous pression qui peut exploser s'il est chauffé ;
- > oxydant qui peut provoquer ou intensifier un incendie ;
- > très toxique pour la vie aquatique.

4.2. Séquences de l'accident

Captures d'écran de la vidéo de surveillance portuaire

Les premières images extraites de la vidéo de surveillance portuaire (largement diffusée par les médias) permettent une approche réaliste du déroulement de l'accident.



Figure 11 : Le conteneur-citerne est présenté, au-dessus du pont, dans le même axe que celui du *Forest 6*
(AI Mamlaka TV/AFP)



Figure 12 : Le conteneur s'est détaché et crève au contact du pont du *Forest 6*
(AI Mamlaka TV/AFP)

- > Le conteneur est élingué en bout de grue. Il se présente dans le sens longitudinal par rapport à l'axe du navire (fig.11). La hauteur, non-excessive, de la charge est conforme aux recommandations de chargement.
- > L'élingue qui le retient cède brutalement, sans à-coup. Le conteneur tombe, sans ambiguïté sur le pont du *Forest 6* (fig.12), à tribord, en arrière de la passerelle et subit des avaries à l'origine de fuites majeures.
- > La libération de chlore sous pression, sans explosion mais avec un effet de souffle violent, est instantanée (fig.13), enveloppant le navire et les installations portuaires proximales d'un nuage lourd de couleur jaune-orange qui s'épanche près du sol. Sous le souffle, le camion vert (fig.13) est déséquilibré.



Figure 13 : Effet de souffle violent - le nuage létal s'épanche sur le sol
(AI Mamlaka TV/AFP)

4.3. Le conteneur-citerne



Figure 14 : Les avaries sont visibles sur le fond en partie gauche de la citerne
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

Le conteneur a été retourné sur le quai pour investigations (Fig.14). Le fond de la citerne est enfoncé et présente deux perforations importantes à l'origine de l'expansion instantanée du chlore sous pression. Elles ont pu être provoquées au contact brutal avec l'extrémité des glissières de chargement des conteneurs en pontée. Le châssis est tordu et détruit (Fig.15).



Figure 15 : Châssis tordu et détruit
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

4.4. Le dispositif de levage

En marge des recommandations ISO

Difficile de déterminer avec la plus grande exactitude le type de levage utilisé. Certains détails permettent cependant une approche réaliste.

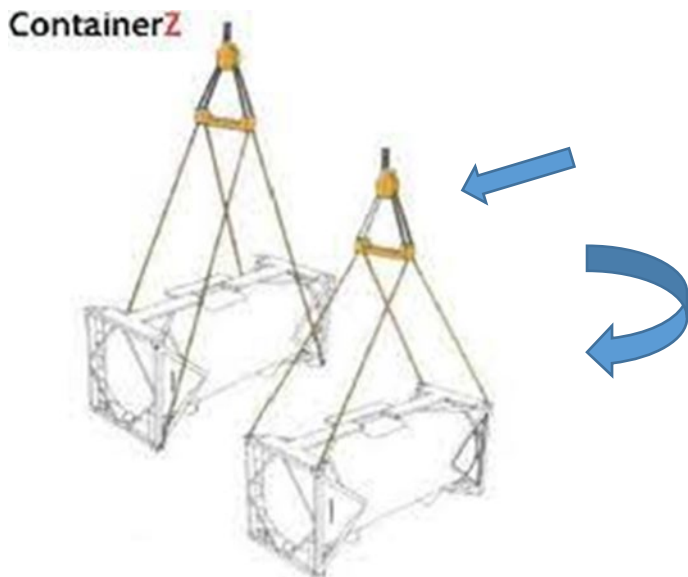


Figure 16 : Suspension par une élingue principale à 2 brins soutenant un deuxième élingage à 4 brins reliés aux 4 coins supérieurs de la structure
(container-z.com)



Figure 17 : Suspension par deux élingues reliées à un palonnier ($\alpha < 90^\circ$). Le croc de la grue est identique à celui de la grue portuaire d'Aqaba
(Prévention Btp.fr)

La solution retenue consistait véritablement en une élingue principale à deux brins en câble d'acier (fig.16 et 17) reliés à un palonnier supportant quatre élingues (également en acier), a priori manchonnées, fixées aux quatre coins supérieurs de la structure métallique du conteneur. Le cliché ci-dessous (fig.18) conforte cette hypothèse : le conteneur repose sur le flanc, un câble d'acier, de faible diamètre, est connecté à chacune des deux pièces de coins supérieurs du châssis, dans le sens longitudinal.



Figure 18 : Le conteneur repose sur le côté, deux élingues à crochet sont visibles dans la partie supérieure
((AFP - KHALIL MAZRAAWI))

Ce dispositif impliquant le levage d'un conteneur-citerne de 28,9 tonnes, dont 25 tonnes d'un produit toxique (chlore), ne correspond pas aux standards ISO qui prévoient que les « conteneurs-citerne pleins » peuvent seulement être levés par un système sécurisé tel qu'un *spreader*. Les standards

ISO ne permettent pas de lever des conteneurs-citerne à partir des angles supérieurs métalliques (exception faite des conteneurs-citerne spécialement étudiés), l'importance de l'angle des élingues sous tension ayant pour effet de diminuer leur résistance. De même, élinguer directement un conteneur par les coins du bas avec des élingues génèrent des risques d'instabilité graves au levage sous grue (fig.16 et 17).

4.5. Les élingues

Résistance mécanique sous-estimée

Les deux élingues supportant la charge sont constituées d'un câble d'acier terminé par un œil. Chaque œil est connecté directement sur un des crocs de la grue (fig.19). Ceux-ci sont sécurisés par un linguet (fig.19) pour éviter qu'elles se libèrent. Difficile d'en apprécier le diamètre (entre 20 et 25 mm, peut-être moins).

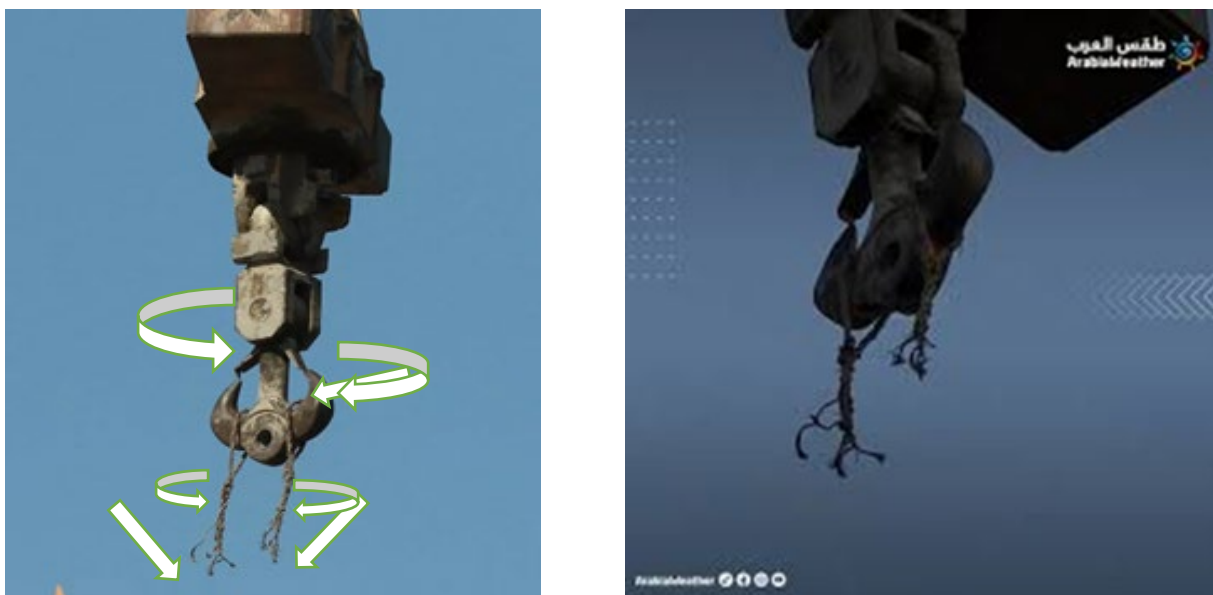


Figure 19 : Agrandissement du dispositif d'élingage
(AFP - KHALIL MAZRAAWI)

Leur obsolescence est sans équivoque :

- > les torons²¹ des deux élingues ont cassé au même niveau (départ des épissures)
- > absence de manchons et de cosses sur les boucles maillées directement sur les crocs ; en contrepartie, des épissures douteuses (du fait main local) (fig.19)

L'absence de maintenance et de contrôle est une évidence.

Des questions sont posées sur l'aptitude de l'élinde principale à supporter les 28,9 tonnes du conteneur en pleine charge. Ce domaine est complexe, nous l'aborderons simplement. Rappelons que la « charge maximale utile (CMU) », ou « charge de travail en sécurité » correspond à la charge que peut supporter un câble ou une élingue en acier en utilisation courante, **à ne pas confondre avec la « charge minimale de rupture » qui lui est également attribuée.** La différence entre ces deux valeurs est le coefficient de sécurité (F), ou coefficient d'utilisation : rapport arithmétique entre la charge minimale de rupture et la CMU, **soit un coefficient F5 pour les câbles d'acier.**

²¹ Fils tordus ensemble, pour fabriquer les câbles

CMU et CR – valeurs théoriques

Pour les autorités jordaniennes, la **CMU du câble était de 8,6 tonnes**, sans autre précision. Selon les abaques disponibles sur les câbles d'acier (élingue à un brin - angle d'utilisation vertical) cette CMU correspondrait sensiblement à un câble de Ø 27 mm. Le dispositif d'élingage reposant alors sur deux brins de Ø 27 mm et un facteur d'élingage de 1,4, la CMU augmente pour passer pratiquement à **12 tonnes sur deux brins** (angle d'utilisation proche de 60°).

Diamètre du câble	Élingue à un brin			Élingue à deux brins		
	Angle d'utilisation	Facteur d'élingage	CMU en kg sur un brin	Angle d'utilisation ²²	Facteur d'élingage	CMU en kg sur deux brins
20 mm	vertical	1	4 000	0° < α ≤ 90°	1,4	5 700
24 mm	vertical	1	6 000	0° < α ≤ 90°	1,4	8 400
26 mm	vertical	1	7 500	0° < α ≤ 90°	1,4	10 500
27 mm	vertical	1	8 500	0° < α ≤ 90°	1,4	11 900
30 mm	vertical	1	11 500	0° < α ≤ 90°	1,4	16 100
38 mm	vertical	1	19 600	0° < α ≤ 90°	1,4	27 500
40 mm	vertical	1	21 500	0° < α ≤ 90°	1,4	30 200

Considérant, dans cette configuration :

- > une CMU proche de 12 tonnes pour une **élingue à deux brins** ;
- > un coefficient de sécurité (F) de cinq applicable aux câbles d'acier²³.

La charge minimale de rupture théorique de cette élingue avoisinerait les **60 tonnes²⁴** (12 t x 5), valeur très supérieure à la masse totale du conteneur.

Dans l'absolu, la masse du conteneur-citerne étant de 28,9 tonnes, le facteur d'élingage aurait dû garantir une charge de travail (CMU) de l'ordre de 30 tonnes sur deux brins ce qui correspond sensiblement à un câble de Ø 40 mm (peu couramment utilisé) et une charge de rupture de 150 tonnes.

Charge de rupture (CR) observée dans les faits

La **charge de rupture effective** de l'élingue a été atteinte lors de la manutention du conteneur-citerne. Les deux brins connectés à la grue ont cédé simultanément et de manière identique, à l'amorce des épissures (fig.19), ce qui laisse supposer que la surcharge était également répartie et les deux câbles de même échantillonnage et de résistance identique.

Considérant une CR de 28,9 tonnes (poids du conteneur), par déduction, la **CMU** de l'élingue (deux brins) était de $28,9 / 5 = 5,78$ tonnes, soit un Ø de câble de l'ordre de **20 mm**, ce qui semble correspondre à la section des deux câbles cassés visibles sur les clichés (fig.19). Ceci ne tient pas compte de l'état d'usure et de résistance mécanique réelle du câble utilisé pour la confection de l'élingue. L'usure modifie drastiquement les caractéristiques des élingues qui doivent être régulièrement remplacées. Notons, selon l'état de chargement du navire, qu'il ne s'agissait pas du premier conteneur-citerne embarqué de ce type et d'une masse identique.

²² L'effort au brin pour une même charge augmente suivant l'écartement des brins

²³ Normes EN 1492-1 et 2

²⁴ Une élingue à 4 brins Ø 27mm – angle d'utilisation : 0° < α ≤ 90° - facteur d'élingage 1,5 - présenterait une charge de travail en sécurité (CMU) proche de 13 tonnes et une charge minimale de rupture (CR) de 65 tonnes

4.6. Implication du facteur humain

« Facteur humain », « fiabilité humaine », « erreur humaine », « actes dangereux », sont étroitement associés dans de nombreux accidents graves et catastrophes industrielles, aériennes et maritimes. Globalement, le facteur humain est la contribution humaine impliquée dans un événement. La fiabilité humaine est l'aptitude d'une entité (individu ou équipe) à effectuer ses tâches de façon sûre, dans les délais et les exigences attendus. L'erreur humaine est généralement interprétée comme l'incapacité à atteindre cet objectif par suite d'un comportement involontaire ou délibéré, d'une incompetence qui peuvent générer un acte dangereux. Dans cet accident grave qui résulte incontestablement de plusieurs actes dangereux, deux niveaux de responsabilité sont à retenir.

La responsabilité directe de l'élingueur

Sa fonction principale était de réaliser un élingage en toute sécurité qui plus est dans un contexte de chargement de plusieurs conteneurs-citernes de chlore sous pression : un produit dangereux. Le non-respect des procédures d'élingage, les opérations inappropriées (surcharge), les erreurs de diagnostic, la vétusté comme la non-conformité des élingues, la routine, voire le manque de formation, sont à l'origine directe de l'accident. **L'élingueur a véritablement privilégié la notion de charge de rupture**, marge de sécurité garantie par le fabricant, **plutôt que de s'en tenir à la CMU**.

La responsabilité de l'autorité portuaire

Élinguer une charge en toute sécurité ne peut résulter de l'implication d'un seul opérateur. La manutention s'inscrit, à tout préalable, dans une démarche organisationnelle mise en œuvre par l'autorité portuaire qui associe les matériels et les hommes, notamment :

- > des procédures et des consignes d'élingage des charges ;
- > des équipements en bon état et adaptés ;
- > des opérateurs formés ;
- > des contrôles fréquents visant notamment la maintenance du matériel et la compétence des élingueurs.

Cette démarche organisationnelle a également pour objectif de garantir la sécurité des personnels de quai, des équipages des navires mais aussi des riverains, par l'intermédiaire d'un système de gestion de la sécurité²⁵ et de la sûreté (ISPS)²⁶ portuaire, s'appuyant notamment sur des procédures et consignes, notamment :

- > des procédures et consignes spécifiques au chargement de matières dangereuses ;
- > la mise en place de périmètres de protection adaptés à la situation ;
- > la gestion des ressources humaines appropriée en fonction du type de chargement ;
- > des équipements de sécurité et de protection adaptés à la situation.

Le capitaine du *Forest 6*

À quai, le capitaine est garant de la sécurité de son navire, de son équipage et des opérations commerciales, au regard du système de gestion de la sécurité propre au navire (Code ISM) et du code ISPS.

Aucune information ne permet de connaître les dispositions prises par le capitaine du *Forest 6* pour l'embarquement de ces conteneurs-citernes potentiellement dangereux, ni l'impact de cet accident sur le personnel embarqué.

²⁵ Un Code portuaire qui lui est propre

²⁶ Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires (*International Ship and Port Facility Security*)

Conclusion

La rupture des élingues de levage est à l'origine directe de l'accident. Sont considérés comme facteurs aggravants :

- > La détérioration du conteneur citerne ;
- > La fuite de chlore ;
- > Le facteur humain : la responsabilité de l'élingueur en termes de gestion aléatoire de la sécurité des opérations d'élingage, l'absence de démarche organisationnelle de l'autorité portuaire.

GLOSSAIRE

- ADR** : Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route
- ANSI** : American National Standards Institute
- ASME** : American Society of Mechanical Engineers
- BLL** : Breaking Load Limit
- CMU** : Charge maximale utile
- CR** : Charge de rupture
- CSC** : Convention internationale sur la Sécurité des Conteneurs
- EVP** : Equivalent 20 pieds
- GHS** : Globally Harmonized System on Hazard Classification
- IATA** : Association du transport aérien international,
- IBC** : International standard for the safe carriage by sea of dangerous and noxious liquid chemicals in bulk (Code)
- IMDG** : International Maritime Dangerous Goods (Code)
- IMO** : International Maritime Organisation
- INRS** : Institut National de Recherche et de Sécurité
- ISM** : International Safety Management (Code)
- ISO** : Organisation internationale de normalisation
- ISPS** : International Ship and Port Facility Security (Code)
- MARPOL** : Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
- MSC** : Comité de la sécurité maritime (OMI)
- NLS** : Noxious liquid substance
- OMI** : Organisation maritime internationale
- ONU** : Organisation des Nations Unies
- OSHA** : Occupational Safety and Health Administration
- RID** : Règlement sur le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses
- SNPD** : Substances nocives et potentiellement dangereuses
- SWL** : Safety working load
- WLL** : Working load limit