

*BEA-TT*  
*Bureau d'enquêtes sur les Accidents*  
*de transport terrestre*  
*Les rapports*

*Rapport d'enquête technique*  
*sur la perte de conteneurs*  
*par l'automoteur Arc en Ciel*  
*survenue sur la Seine*  
*le 22 avril 2007*

*décembre 2008*

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**





**Conseil général de l'environnement  
et du développement durable**

Le 30 mars 2009

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents  
de Transport Terrestre**

Affaire n°BEATT-2007-006

**Rapport d'enquête technique  
sur la perte de conteneurs  
par l'automoteur Arc en ciel  
survenue sur la Seine le 22 avril 2007**

## **Bordereau documentaire**

Organisme (s) commanditaire (s) : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire ; MEEDDAT

Organisme (s) auteur (s) : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre ; BEA-TT

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la perte de conteneurs par l'automoteur Arc en Ciel survenue sur la Seine le 22 avril 2007

N°ISRN : EQ-BEATT--09-5--FR

Proposition de mots-clés : transport fluvial, conteneurs, stabilité, réglementation, procédures de chargement ...

## **Avertissement**

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 modifiée, et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004 modifié, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'évènement analysé, et en établissant les recommandations de sécurité utiles. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.



# Sommaire

<b>Glossaire.....</b>	<b>9</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>11</b>
<b>1- Constats immédiats et engagement de l'enquête.....</b>	<b>13</b>
1.1- L'accident.....	13
1.2- Engagement de l'enquête.....	13
1.3- Organisation de l'enquête.....	13
<b>2- Compte rendu des investigations réalisées.....</b>	<b>15</b>
2.1- Résumé du témoignage du conducteur de l'Arc en Ciel.....	15
2.2- Conditions géographiques et météorologiques.....	16
2.3- Les opérateurs concernés.....	16
2.3.1- Propriétaire exploitant.....	16
2.3.2- L'armement coopératif SCAT.....	16
2.3.3- Le chargeur RSC.....	17
2.3.4- Le manutentionnaire Paris-Terminal.....	17
2.4- Caractéristiques du bateau.....	17
2.4.1- Caractéristiques générales.....	17
2.4.2- Aptitude à la navigation .....	18
2.4.3- Conditions de chargement.....	19
2.4.4- Capacité des réservoirs de fluide.....	19
2.4.4.1- Réservoirs d'eau fluviale pour corriger l'assiette et la gîte du bateau.....	19
2.4.4.2- Réservoirs de combustible.....	19
2.4.4.3- Réservoirs d'eau potable.....	19
2.5- Constats effectués sur le bateau après l'accident.....	20
2.5.1- Chargement au moment de l'accident.....	20
2.5.2- État du bateau.....	21
2.6- Équipage et organisation du travail à bord de l'Arc en Ciel.....	21
2.6.1- Équipage.....	21
2.6.2- Organisation du travail .....	21
2.7- Réglementation concernant la stabilité des bateaux de navigation intérieure.....	21
2.7.1- Le Règlement Général de Police de la Navigation Intérieure (RGPMI).....	22
2.7.2- Obligations liées aux certificats de navigation.....	22
2.7.3- Règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR).....	23
2.7.4- Règlement Particulier de Police de Navigation de la Seine (RPPNS).....	24
2.7.5- Réglementation applicable dans la partie maritime de la Seine.....	24
2.7.6- Réglementation en projet .....	25
2.7.7- Situation de l'Arc en Ciel par rapport aux réglementations applicables.....	25
2.8- La cargaison de l'Arc en Ciel.....	26
2.8.1- La chaîne logistique.....	26
2.8.2- Vérification de la stabilité du bateau.....	27
2.8.3- Écarts entre plans de chargement et chargement réel.....	30

2.9- Précédents accidents comparables.....	31
2.10- Mesures prises après l'accident .....	31
<b>3- Scénario de l'accident.....</b>	<b>33</b>
3.1- Chronologie – Déroulement du voyage de l'Arc en Ciel depuis son chargement à Gennevilliers jusqu'à l'accident.....	33
3.2- Explications sur les variations de la gîte au cours du voyage.....	34
3.3- Analyse du quasi-chavirement lors de la perte des conteneurs.....	34
3.4- Gestion de l'événement.....	35
3.5- Risques encourus lors de l'accident.....	36
<b>4- Les causes et facteurs associés – orientations préventives.....</b>	<b>37</b>
4.1- La réglementation concernant la stabilité des chargements de bateaux et le contrôle de l'application de cette réglementation.....	37
4.1.1- Les constats.....	37
4.1.2- Analyse et orientations pour la prévention.....	38
4.2- La qualification et la formation des personnels de conduite des bateaux.....	39
4.2.1- Les constats.....	39
4.2.2- Analyse et orientations pour la prévention.....	39
4.3- Le fonctionnement de la chaîne logistique.....	40
4.3.1- Les constats.....	40
4.3.2- Analyse et orientations pour la prévention.....	40
4.4- Le retour d'expérience en coopération avec les autres pays européens .....	41
4.4.1- Les constats.....	41
4.4.2- Analyse et orientations pour la prévention.....	41
<b>5- Conclusions et recommandations.....</b>	<b>43</b>
5.1- Conclusions sur les causes de l'accident.....	43
5.1.1- Cause directe immédiate.....	43
5.1.2- Autres causes directes.....	43
5.1.3- Facteurs ayant influencé le défaut de vérification de la stabilité de l'Arc en Ciel.....	43
5.1.4- Facteurs ayant influencé le chargement défectueux générateur d'instabilité.....	43
5.2- Recommandations.....	43
<b>ANNEXES .....</b>	<b>45</b>
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête .....	47
Annexe 2 : Cartes.....	48
annexe 2-1 : Itinéraire de l'Arc en Ciel.....	48
Annexe 2-2 : L'accident.....	49
Annexe 3 : Textes réglementaires concernant la stabilité des bateaux à conteneurs..	50
Annexe 3-1 : règlement de visite des bateaux du Rhin (extrait).....	50
Annexe 3-2 : règlement de police du Rhin (extrait).....	56
Annexe 3-3 : Arrêté préfectoral du 13 janvier 1930 modifié par les arrêtés préfectoraux des	

12 décembre 1935, 17 août 1965 et 14 septembre 2004 formant règlement particulier pour l'application du décret du 17 janvier 1928 (extrait).....	57
Annexe 4 : Les plans de chargement de l'Arc en Ciel.....	58
Annexe 4-1 : Plan de chargement remis à Paris Terminal (poids en tonnes).....	58
Annexe 4-2 : Plan relevé par le conducteur de l'Arc en Ciel d'après les indications de poids figurant dans la lettre de voiture.....	59
Annexe 4-3 : Plan relevé par le conducteur.....	60
Poids d'après les pesées faites au Havre après l'accident.....	60
Annexe 5 : Rappel des méthodes de calcul de la stabilité d'un bateau et application au cas de l'Arc en Ciel.....	61
Annexe 6 : Étude de la stabilité du porte-conteneurs Arc en Ciel pour différents cas de chargement. Résultats du calcul du bureau Veritas.....	68
Annexe 7 : Photos.....	74



## Glossaire

- **Assiette** : inclinaison longitudinale du bateau
- **Ballast** : capacité servant au lestage et à l'équilibrage du bateau
- **Bordé** : ensemble des tôles constituant la coque extérieure du bateau
- **Carènes liquides** : liquides se trouvant normalement à bord dans les réserves ou accidentellement dans les cales qui suivent les mouvements du bateau et peuvent compromettre sa stabilité
- **Cônes de gerbage** : pièce de coin de forme conique pour l'empilage des conteneurs
- **EVP** : équivalent vingt pieds
- **Gîte** : inclinaison transversale du bateau
- **Hauteur métacentrique** : hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité correspondant à une inclinaison nulle du bateau
- **Hiloire** : panneau vertical bordant la cale et empêchant l'eau de pénétrer à l'intérieur
- **Métacentre**: point d'intersection du plan longitudinal du bateau et de la verticale passant par le centre de carène lorsque le bateau est incliné
- **Neuvage** : période pendant laquelle le navire est neuf
- **Oeuvres mortes** : ensemble constitué de la partie de la coque située au-dessus de la ligne de flottaison et des superstructures du bateau
- **Oeuvres vives** : partie de la coque située en dessous de la ligne de flottaison
- **Peak** : capacité de ballastage située à l'avant et à l'arrière du bateau
- **RSC** : River Shuttle Containers
- **RGPNI** : règlement général de police de la navigation intérieure
- **RPNR** : règlement de police pour la navigation du Rhin
- **RPPNS** : Règlement particulier de police de la navigation de la Seine
- **RVBR** : règlement de visite des bateaux du Rhin
- **Timonerie** : salle où sont rassemblées les commandes du bateau et d'où on le dirige
- **Tirant d'air** : hauteur maximale d'un bateau mesurée depuis le plan d'eau
- **Tirant d'eau** : enfoncement du bateau dans l'eau



## Résumé

Le 22 avril 2007 vers 10h30, l'automoteur Arc en Ciel qui descendait la Seine après avoir, le 20 avril à Gennevilliers, effectué un chargement de conteneurs à destination du Havre, a perdu 30 conteneurs en aval immédiat de Saint-Pierre-du-Vauvray à proximité d'Herqueville.

Peu après la sortie de l'écluse de Notre-Dame de la Garenne, à l'amorce d'un virage marqué sur la droite, le bateau a pris une forte gîte sur bâbord. C'est à ce moment qu'une partie des conteneurs en pontée est tombée à l'eau.

Le danger, causé par la présence de conteneurs dérivant et d'autres coulés, a conduit le Service Navigation de la Seine à interdire la navigation entre les écluses de Notre-Dame de la Garenne et d'Amfreville. La navigation n'a pu être rétablie que le 29 avril 2007.

Le bateau, qui n'a subi que des dommages limités, a pu s'amarrer au ponton d'Herqueville.

Il n'y a pas eu de victime ni de pollution.

L'accident est la conséquence directe de l'instabilité de l'Arc en Ciel, du fait du poids et de la disposition de son chargement.

Le défaut de vérification de la stabilité du bateau avant son appareillage apparaît également comme une cause directe de l'accident.

Ce défaut de vérification apparaît lié à trois facteurs :

- l'absence d'exigence réglementaire d'une telle vérification, sauf pour le parcours qui était prévu dans les eaux maritimes de la Seine, sous une forme par ailleurs peu claire ;
- le défaut de formation du conducteur sur les aspects liés à la stabilité ;
- l'absence de documentation à bord sur une méthode de vérification de la stabilité dans une forme compréhensible par le conducteur.

Deux facteurs ont contribué à l'instabilité engendrée par le chargement :

- le caractère inadapté du logiciel utilisé par l'armateur pour vérifier le plan de chargement ;
- l'absence de vérification et de sanction en cas de chargement non conforme au plan de chargement ou d'écart important entre le poids du conteneur chargé et les indications données par le chargeur.

Sept recommandations préventives sont formulées à l'issue de l'enquête technique concernant quatre groupes de facteurs identifiés :

- la réglementation concernant la stabilité des chargements des bateaux et le contrôle de l'application de cette réglementation, avec trois recommandations ;
- la formation des personnels de conduite des bateaux à la bonne prise en compte des règles de stabilité, avec une recommandation ;
- le fonctionnement de la chaîne logistique et la connaissance des caractéristiques des conteneurs, par tous les acteurs du transport et de la manutention, avec deux recommandations ;
- le retour d'expérience, en coopération avec les autres pays européens, avec une recommandation.



# **1- Constats immédiats et engagement de l'enquête**

## **1.1- L'accident**

Le 22 avril 2007 vers 10h30, l'automoteur Arc en Ciel qui descendait la Seine après avoir, le 20 avril à Gennevilliers, effectué un chargement de conteneurs à destination du Havre, a perdu 30 conteneurs en aval immédiat de Saint Pierre du Vauvray à proximité d'Herqueville.

Peu après la sortie de l'écluse de Notre-Dame de la Garenne, à l'amorce d'un virage marqué sur la droite, le bateau a pris une forte gîte\* sur bâbord. C'est à ce moment qu'une partie des conteneurs en pontée est tombée à l'eau.

Le danger, causé par la présence de conteneurs dérivant et d'autres coulés, a conduit le Service Navigation de la Seine à interdire la navigation entre les écluses de Notre-Dame de la Garenne et d'Amfreville.

Le bateau, qui n'a subi que des dommages limités a pu s'amarrer au ponton d'Herqueville situé à 400m du lieu de l'accident.

Il n'y a pas eu de victime ni de pollution.

Après des opérations particulièrement lourdes de repérage et d'enlèvement des conteneurs, la navigation n'a pu être complètement rétablie que le 29 avril 2007.

## **1.2- Engagement de l'enquête**

A la demande du ministre chargé des Transports, une enquête technique a été ouverte par le BEA-TT le 25 avril 2007, dans le cadre de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002.

## **1.3- Organisation de l'enquête**

Les enquêteurs du BEA-TT se sont rendus à bord de l'Arc en Ciel une première fois le 24 avril 2007 pour une investigation préliminaire. Ils ont pu s'entretenir avec le conducteur présent en timonerie\* au moment de l'accident ainsi qu'avec des représentants du Service Navigation de la Seine.

Cette première visite a été suivie de deux autres :

- l'une, le 28 avril 2007, au cours de laquelle les enquêteurs ont pu auditionner le matelot et recueillir des informations complémentaires auprès du conducteur et des experts ; ils ont pu à cette occasion procéder à une visite des installations du bord et examiner le chargement, en particulier ses conditions d'arrimage et les dommages subis par les conteneurs ;
- l'autre le 9 mai 2007, le bateau se trouvant en cale sèche au Havre, pour l'examen des avaries de coque consécutives à l'accident.

Les enquêteurs ont analysé l'ensemble de la chaîne de transport des conteneurs, du point de chargement au point de déchargement. Ils se sont entretenus avec les différents opérateurs de la chaîne de transport et ont participé à deux réunions d'expertise organisées dans le cadre de l'enquête judiciaire et associant des représentants de toutes les parties concernées.

Un enquêteur du BEA-TT a également participé à l'enquête.

---

\* Terme figurant au glossaire



## **2- Compte rendu des investigations réalisées**

### **2.1- Résumé du témoignage du conducteur de l'Arc en Ciel**

Le 20 avril 2007 :

Les opérations de chargement de l'Arc en Ciel sont effectuées au quai de Paris Terminal à Gennevilliers de 06h30 à 15h30. La veille, il avait déjà chargé partiellement au quai de la REP.

A 17h00, le bateau déhale d'environ 150 mètres. En effet, le conducteur avait un rendez-vous personnel à Paris et l'autorisation lui avait été donnée de stationner sur le quai à 150/200 mètres du poste de chargement.

Le 21 avril 2007 :

Le bateau appareille de Paris Terminal à 06h00 à destination de Le Havre Terminal, voyage n°276 907. Il passe l'écluse de Chatou de 07h00 à 07h30.

Après 2 heures de navigation le bateau atteint l'écluse suivante, Andrésy. Avant d'arriver à l'écluse le conducteur s'aperçoit que le bateau a pris sur bâbord 20 cm de gîte. Le passage de l'écluse d'Andrésy s'effectue entre 09h30 et 10h30.

Le bief entre Andrésy et l'écluse de Méricourt est ensuite parcouru en 2h30 environ. Il se présente vers 13h à l'écluse de Méricourt.

Avant son arrivée, le conducteur avait prévenu l'écluse. Il lui est alors signalé que le tirant d'air\* du bateau est trop élevé et qu'il a de la gîte sur bâbord. Il doit donc attendre à l'écluse pour y être contrôlé. Il redresse le bateau en remplissant le ballast\* arrière tribord (qui était vide) pour arriver à l'écluse avec une légère gîte sur tribord.

A son arrivée, il lui est demandé de stationner au garage de l'écluse de Méricourt pour contrôle. Pendant la période d'attente, la gîte s'accroît sur tribord.

A 16h00, le bateau est contrôlé par un représentant de la Commission de surveillance de Paris et le chef éclusier, lesquels constatent :

- que le bateau présente de la gîte sur tribord, côté amarrage ;
- que son tirant d'air est de 8,38m supérieur à la limite de 7,50m fixée par le règlement particulier de police de la navigation de la Seine (RPPNS), son tirant d'eau\* étant inférieur au tirant d'eau maximum.

Pour redresser le bateau, le conducteur procède à nouveau à un mouvement de ballast en remplissant le ballast arrière bâbord jusqu'à obtenir une gîte sur tribord d'environ 10cm.

A 18h00, il est autorisé à repartir. Il quitte le garage de l'écluse vers 19h00 et reprend la navigation jusqu'à la prochaine écluse, Notre Dame de la Garenne où il arrive à 21h30 et où il s'amarré pour la nuit. Au cours de ce trajet, il constate que la gîte sur tribord commence à diminuer. Cette évolution lui faisant craindre que le bateau reprenne sa gîte sur bâbord, il ferme la traverse de communication entre les caisses à combustible et n'utilise que la caisse bâbord pour l'alimentation du moteur (celle de tribord étant isolée).

Le 22 avril 2007 :

A 08h00, le bateau appareille de l'écluse de Notre Dame de la Garenne.

Vers 10h30, peu après avoir passé le pont de Saint Pierre du Vauvray, entre les PK 192 et 193, dans le début du virage au niveau de l'île du Moulin, le bateau s'incline très fortement sur

---

\* Terme figurant au glossaire

bâbord. Le bateau est ralenti puis stoppé. Alors que la vitesse du bateau est devenue nulle, le mouvement de basculement du bateau ralentit puis semble s'arrêter mais il reprend ensuite au point que le conducteur s'apprête à sauter à l'eau. A ce moment, une partie des conteneurs en pontée à bâbord tombe à l'eau. Le bateau, délesté, se redresse et s'incline sur tribord entraînant la chute d'autres conteneurs. Il se stabilise ensuite.

Le conducteur peut parcourir 400 mètres pour s'amarrer au ponton d'Herqueville.

## **2.2- Conditions géographiques et météorologiques**

Les faits se sont produits entre les points kilométriques (PK) 192 et 193, au niveau de l'île du Moulin. A cet endroit, la Seine effectue un virage à droite. Elle est bordée par les communes de Saint-Pierre-du-Vauvray (27) en rive gauche et d'Andé en rive droite.

Le jour de l'accident, les conditions météo étaient très bonnes : ciel dégagé, bonne visibilité (visibilité horizontale de 12km), vent calme (vitesse nulle, rafale maxi dans l'heure : 1,8m/s). La vitesse moyenne du courant dans la section du fleuve sur le site de l'accident était de 0,360m/s, à 10% près.

## **2.3- Les opérateurs concernés**

### **2.3.1- Propriétaire exploitant**

L'Arc en Ciel est la propriété de la société franco-belge de navigation fluviale BVBA, dont le siège est situé à Gand, qui a confié son exploitation à la société française EUROBARGES. Le conducteur du bateau, également directeur de la société d'exploitation, est membre de la SCAT, armement coopératif créé en 1985.

### **2.3.2- L'armement coopératif SCAT**

L'Arc en Ciel fait partie de la flotte de la SCAT.

Au moment de sa création, la SCAT s'est essentiellement orientée vers le transport de produits en vrac (céréales, granulats, déblais, ferrailles, déchets issus du tri sélectif, ...). Elle s'est engagée dans le trafic de conteneurs en 2002, avec le lancement d'une ligne de transport combiné fluvial de conteneurs entre Nogent-sur-Seine et le port du Havre, puis en 2005 avec le démarrage des lignes de transport de conteneurs maritimes par voie fluviale avec des unités spécialement conçues pour ce transport.

En 2007, en partenariat avec la société de manutention SHGT, elle a mis en service le terminal de conteneurs Limay Terminal au port de Limay Porcheville.

La coopérative SCAT fédère aujourd'hui 100 coopérateurs qui exploitent 160 barges pousseurs et automoteurs et disposent de 80 000 tonnes de cale. La flotte est constituée de convois porte-conteneurs de 44 à 208 EVP (équivalents vingt pieds), d'automoteurs de 250 à 3 500 tonnes, de cales industrielles de 200 à 2 600 tonnes, de convois de 1 200 à 1 800 tonnes.

Le groupe SCAT opère sur les bassins de la Seine, du Nord et de la Moselle.

Il est opérateur de 4 lignes fluviales de conteneurs, les principales lignes conteneurisées étant :

Nogent-sur-Seine - Le Havre : 2 convois ;

Gennevilliers - Le Havre : 2 automoteurs ;

Gennevilliers - Rouen - Le Havre : 2 convois ;

Gennevilliers - Pr cy-sur-Marne : 4 barges.

Actuellement, la flotte de Seine est composée de 5 barges-automoteurs porte-conteneurs : Thalès, Cyclone, Alcyon, Arc en Ciel, Smack.

### **2.3.3- Le chargeur RSC**

River Shuttle Containers (RSC) apparaît comme le chargeur unique, dans le cadre d'un accord commercial conclu avec la SCAT.

Les conteneurs sont empotés par le client de RSC, ce dernier prenant en charge le transport par voie routière jusqu'au quai de chargement du bateau.

### **2.3.4- Le manutentionnaire Paris-Terminal**

Pour le voyage au cours duquel a eu lieu l'accident, les conteneurs à transporter devaient être chargés sur le bateau sur deux quais de chargement au port de Gennevilliers, celui de la REP et celui de Paris Terminal.

Paris Terminal exécute en principe le plan de chargement qu'il a reçu de RSC. Il peut s'en écarter pour tenir compte de la disponibilité effective des conteneurs au moment du chargement, en s'efforçant de limiter les substitutions de conteneurs à des conteneurs ayant le même type de marchandise dont il considère qu'ils ont des poids semblables.

Le portique de chargement de Paris Terminal n'est pas équipé d'un dispositif de pesée mais seulement d'une alarme en cas de dépassement de poids maximum ou de déplacement du centre de gravité.

Il arrive que le conducteur d'un bateau, constatant soit une gîte anormale du bateau soit un excès de tirant d'eau, refuse une partie du chargement.

L'opérateur considère que l'acceptation par le conducteur de la cargaison vaut acceptation du chargement tel qu'il a été effectué, en s'écartant éventuellement du plan de chargement remis par RSC.

## **2.4- Caractéristiques du bateau**

L'Arc en Ciel (ex Charis) est un bateau de type automoteur fluvial construit en 1998 au chantier DE SCHROEF (Pays bas) selon les prescriptions du règlement de Visite des Bateaux du Rhin (RVBR). Il navigue sous pavillon belge, son port d'attache est Gand où il est immatriculé sous le numéro : 6003209.

### **2.4.1- Caractéristiques générales**

Les principales caractéristiques du bateau sont les suivantes :

Longueur hors tout : 109,70 m ;

Largeur : 11,40 m ;

Creux : 3,70 m ;

Tirant d'eau maxi : 3,25 m ;

Tirant d'eau lège : 0,90 m ;

Franc bord fluvial : 0,70 m ;

Franc bord maritime : 0,63 m ;

Poids lège : 851,41 t ;

Port en lourd : 2 612,137 t ;

Capacité conteneurs : 192 EVP\* ;

Vitesse : 19,5 km/h ;

Propulsion : un moteur diesel Cummins type KTA 50 M-2 de 1 177 kW entraînant par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse une hélice à pales fixes montée à l'intérieur d'une tuyère ;

Équipement de manœuvre : un propulseur d'étrave transversal de 370 kW.

Il dispose d'une vaste timonerie. Cette timonerie télescopique peut monter à une hauteur suffisante pour 5 couches de conteneurs.

A l'avant et à l'arrière, se trouvent les logements de l'équipage. Ceux de l'arrière sont au-dessus du compartiment machine où sont installés le moteur de propulsion, les groupes électrogènes et auxiliaires dont les pompes de ballastage. Ces dernières, commandées de la timonerie, alimentent les ballasts de gîte et d'assiette\* situés à l'avant et à l'arrière bâbord et tribord entre le bordé\* de fond et le niveau du pont principal.

De chaque côté du compartiment machine se trouvent deux caisses à combustible de 33 m<sup>3</sup> chacune.

Il n'y a pas d'indicateur de gîte en timonerie, les valeurs de gîte et d'assiette se déduisent des tirants d'eau bâbord et tribord, à l'avant, au centre et à l'arrière, affichés en permanence sur le pupitre.

#### **2.4.2- Aptitude à la navigation**

Le bateau est classé au Bureau Veritas n°40A273/NI et rattaché au centre d'Anvers ; son certificat de classe est valide jusqu'au 26/10/2009.

Il est reconnu apte à naviguer dans les zones 2 et 4.

La zone 2 correspond à la partie aval des rivières navigables où existe une navigation maritime (sur la Seine, la partie de la Seine située entre le pont Jeanne d'Arc à Rouen et le débouché du canal de Tancarville, qui relie la Seine navigable aux bassins du port du Havre). La zone 4 comprend l'ensemble des autres voies navigables françaises à l'exception du Rhin.

L'aptitude de l'Arc en Ciel à naviguer en zone 4 résulte du certificat de la Commission du Rhin délivré par les autorités de Belgique, État du pavillon, valable jusqu'au 26/10/2009.

Son aptitude à naviguer en zone 2 hors réglementation spécifique a été reconnue par le certificat communautaire supplémentaire pour bateaux de navigation intérieure n°4067 AN, délivré par la Commission de surveillance de Rouen, valable jusqu'au 26/10/2009. Cette aptitude ne lui suffit cependant pas pour naviguer dans les eaux maritimes (zone 2) de la Seine qui font l'objet d'une réglementation spécifique par arrêté préfectoral (cf. annexe 3.3)

Son aptitude à naviguer spécifiquement dans les eaux maritimes de la Seine est reconnue par un permis de circulation spécial délivré le 27 juin 2006 par la Commission de Surveillance de Rouen.

Toutefois, le bateau ne peut pas naviguer en mer (eaux maritimes situées à l'aval de la limite transversale de la mer), en particulier il n'a pas l'agrément des Affaires maritimes pour pouvoir se

---

\* Terme figurant au glossaire

rendre au Havre Port 2000 en passant par l'estuaire.

La perte de conteneurs a eu lieu sur la Seine en zone 4.

#### **2.4.3- Conditions de chargement**

L'arc en Ciel est construit autour d'une cale unique destinée à recevoir 192 conteneurs de 20 pieds, ou l'équivalent (EVP), le bateau pouvant charger 4 couches de conteneurs.

Cette cale s'inscrit dans une double coque constituée de mailles vides d'environ 0,70 m tant dans les fonds qu'en abord, accessibles uniquement par des tapes de trous d'homme. A noter que la cale est totalement ouverte, renforcée par un important hiloire\* de 0,85 m de hauteur et par des poutres transversales situées à son niveau.

Il convient de remarquer que les caractéristiques des ponts de la Seine lui imposent des contraintes de tonnage et de tirant d'eau pour obtenir un tirant d'air inférieur à 8,70 m selon les hauteurs des conteneurs embarqués : conteneurs standards  $h = 2,59$  m (8 pieds 6 pouces) ou conteneurs high cube HC  $h = 2,90$  m (9 pieds 6 pouces).

D'où les caractéristiques de chargement à respecter (tirants d'eau minimum et tonnages maximum) dans 4 cas de chargement :

- cas 1 - 4 hauteurs de conteneurs standards : tirant d'eau 2,40 m, tonnage 1 600 t
- cas 2 - 3 hauteurs de conteneurs standards + 1 hauteur de conteneurs HC : tirant d'eau 2,70 m, tonnage 1 900 t
- cas 3 - 2 hauteurs de conteneurs standards + 2 hauteur de conteneurs HC : tirant d'eau 3,00 m, tonnage 2 300 t
- cas 4 - 1 hauteur de conteneurs standards + 3 hauteurs de conteneurs HC : tirant d'eau 3,30 m, tonnage 2 700 t

#### **2.4.4- Capacité des réservoirs de fluide**

##### 2.4.4.1- Réservoirs d'eau fluviale pour corriger l'assiette et la gîte du bateau

Peak\* avant : 73 m<sup>3</sup> ;

Ballasts avant : 25,5 m<sup>3</sup> à bâbord ; 25,5 m<sup>3</sup> à tribord ;

Ballasts arrière : 29,6 m<sup>3</sup> à bâbord ; 29,6 m<sup>3</sup> à tribord ;

Le peak et les quatre ballasts constituent la seule possibilité pour le conducteur de corriger l'assiette et la gîte du bateau. Le bateau n'est cependant pas considéré comme ballastable, les capacités des ballasts et du peak ne permettant pas de modifier de manière sensible le tirant d'eau et le tirant d'air du bateau.

##### 2.4.4.2- Réservoirs de combustible

Caisse avant : 7,8 m<sup>3</sup> ;

Caisses arrière : 33,1 m<sup>3</sup> à bâbord ; 33,1 m<sup>3</sup> à tribord.

##### 2.4.4.3- Réservoirs d'eau potable

Caisse avant : 5 m<sup>3</sup> ;

Caisse arrière : 22,4 m<sup>3</sup>.

---

\* Terme figurant au glossaire

## **2.5- Constats effectués sur le bateau après l'accident**

Au cours de leurs différentes visites à bord, les enquêteurs du BEATT ont pu examiner les conditions d'arrimage des conteneurs et les dommages causés tant au bateau qu'à son chargement.

### **2.5.1- Chargement au moment de l'accident**

Le chargement est constitué de 108 conteneurs dont 84 conteneurs de 40 pieds et 24 de 20 pieds (soit 192 EVP – équivalents 20 pieds – correspondant à la capacité du bateau sur 4 couches) présentant, selon les indications de la lettre de voiture, un tonnage global de 2 318 tonnes, avec à bord la répartition suivante : 6 conteneurs de 40 pieds ou l'équivalent en conteneurs de 20 pieds en longueur, 4 en largeur et 4 en hauteur.

La première et la deuxième couche (cette dernière pour les deux tiers environ) sont en cale, les deux autres se trouvant en pontée.

L'arrimage se limite à des cônes de gerbage\* implantés uniquement dans les pièces de coin latérales des conteneurs situés en abord qui ne sont destinées qu'à éviter le ripage de la cargaison.

Sur les 84 conteneurs de 40 pieds, 23 sont à la norme « high cube » dont la hauteur est de 9 pieds 6 pouces (2,90m) au lieu de 8 pieds 6 pouces (2,59m) pour les conteneurs de 40 pieds classiques.

En ce qui concerne les contenus, la lettre de voiture de transport fluvial mentionne :

- 64 conteneurs de papier ;
- 10 conteneurs de farine ;
- 8 conteneurs de pneus ;
- 7 conteneurs de plaques de verre ;
- 1 conteneur de déchets plastiques ;
- 8 conteneurs de déchets métalliques ;
- 7 conteneurs vides ;
- 1 conteneur d'effets personnels ;
- 1 conteneur de fripes ;
- 1 conteneur de matériel agricole.

La lettre de voiture précise en outre, que l'expéditeur et le destinataire sont les mêmes, à savoir River Shuttle Conteneurs et que le bateau a chargé à Gennevilliers le 20 avril 2007 pour décharger au Havre le 23 avril.

Certains dommages au chargement visibles ont pu être relevés :

- Cale 3 bloc 6 ligne 1 à bâbord, où un conteneur est écrasé et se trouve renversé à cheval sur l'hiloire bâbord et penche par-dessus bord. Trois autres sont en appui dessus.
- Cale 3 bloc 5 ligne 1 à bâbord, où un conteneur est renversé sur le côté. Il repose sur un conteneur qui lui-même est partiellement écrasé.
- Cale 2 bloc 4 ligne 1 à bâbord, où l'on observe une situation identique à celle du bloc 5.

---

\* Terme figurant au glossaire

## **2.5.2- État du bateau**

Le bateau, en particulier ses œuvres vives\* et ses œuvres mortes\*, a pu être examiné lorsqu'il est passé en cale sèche au Havre du 09/05/2007 au 14/05/2007 après déchargement des conteneurs, dans le cadre de la visite occasionnelle de la coque à sec, après avarie de chargement, par la société de classification. L'inspection générale de la coque et les investigations sur l'hiloire de la cale ont montré une très légère déformation sans gravité immédiate sur la longueur de l'hiloire au niveau des couples 40 et 120 à bâbord.

Une inspection plus approfondie de l'hiloire de cale a mis en évidence une fissure au niveau du couple 107 sur le renfort en U de l'hiloire (épaisseur 20 mm). Un contrôle par magnétoscopie a révélé une fissure prolongée sur le cordon de soudure.

D'autres contrôles techniques, sans rapport avec l'accident, ont été effectués comme l'étanchéité et le jeu de l'arbre porte hélice et le guindeau.

## **2.6- Équipage et organisation du travail à bord de l'Arc en Ciel**

### **2.6.1- Equipage**

L'équipage est composé du conducteur assisté d'un matelot. L'épouse du conducteur est également à bord de l'Arc en Ciel.

Le conducteur a une longue expérience de la conduite de bateaux de navigation intérieure et pratique le transport de conteneurs depuis deux ans. Avant l'accident, il avait déjà effectué 3 voyages avec un chargement de conteneurs sur 4 niveaux. Il possède les certificats de capacité requis pour la conduite de cette catégorie de bateau dans les zones de navigation où celui-ci est exploité.

Cependant, l'accident a révélé une connaissance très insuffisante des problèmes liés à la stabilité des bateaux transportant des marchandises en pontée comme les conteneurs.

### **2.6.2- Organisation du travail**

Le conducteur assure seul la conduite du bateau. Le matelot est chargé des opérations d'entretien et participe à la surveillance des opérations de chargement / déchargement. Il assiste le conducteur lors des manœuvres d'entrée / sortie d'écluses et d'amarrage.

## **2.7- Réglementation concernant la stabilité des bateaux de navigation intérieure**

L'accident ayant mis en cause la stabilité du bateau, les enquêteurs du BEA TT ont examiné la réglementation concernant la stabilité des bateaux de navigation intérieure.

A l'endroit de l'accident, l'Arc en Ciel était soumis à trois règlements :

- le règlement général de police de la navigation intérieure (RGPNI), qui s'applique sur l'ensemble du réseau français de voies navigables ;
- le règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR), du fait de son permis de navigation, qui y fait référence ;
- le règlement particulier de police de navigation de la Seine (RPPNS), qui s'applique sur la

---

\* Terme figurant au glossaire

Seine navigable.

Par ailleurs, au-delà du lieu de l'accident, l'Arc en Ciel devait entrer dans la zone fluvio-maritime de la Seine où s'applique l'arrêté préfectoral du 13 janvier 1930.

La directive européenne de 2006, dont la transposition est en cours, va conduire ces réglementations à évoluer.

### **2.7.1- Le Règlement Général de Police de la Navigation Intérieure (RGPNI)**

Seules quelques dispositions d'ordre général qui figurent dans le Règlement Général de Police de la Navigation (RGPNI) sont applicables. Les articles suivants du RGPNI peuvent s'appliquer, de manière non spécifique, aux questions de stabilité :

#### l'article 1.04, devoir de vigilance :

" Même en l'absence de prescriptions réglementaires spéciales, les conducteurs doivent prendre toutes les mesures de précaution que commandent le devoir général de vigilance et les règles de la pratique professionnelle courante en vue d'éviter :

. de causer des dommages aux autres bâtiments et autres matériels flottants, aux rives et aux ouvrages et installations de toute nature se trouvant dans la voie navigable et à ses abords ;

. de créer des entraves à la navigation,

. de mettre en danger la vie des personnes."

#### l'article 1.07, chargement maximum :

..."2.2 - le chargement ne doit pas mettre en danger la stabilité du bâtiment..."

#### l'article 1.08, construction, gréement et équipage des bâtiments :

"...3 - ces conditions sont considérées comme satisfaites lorsqu'un bâtiment est muni d'un permis de navigation, que sa construction, son gréement et son équipage répondent aux énonciations de ce permis de navigation et que son exploitation est conforme aux prescriptions du-dit permis ...."

Ce dernier article oblige donc les bateaux à naviguer en respectant les règles en vigueur pour la délivrance de leur certificat de navigation analysées ci-dessous pour le cas de l'Arc en Ciel.

### **2.7.2- Obligations liées aux certificats de navigation**

Un bateau peut naviguer dès lors qu'il dispose d'un certificat de bateau (certificat français), d'un certificat communautaire ou d'un certificat de visite des bateaux du Rhin. En sus, pour la navigation sur certaines zones, ces certificats doivent être complétés par d'autres : certificat communautaire supplémentaire pour les bateaux titulaires d'un certificat de visite des bateaux du Rhin naviguant en zone 2, permis de circulation spécial pour les bateaux circulant sur la Seine aval.

Une des difficultés du contrôle provient de la diversité des certificats de navigation (et donc des obligations réglementaires qui en découlent) selon l'autorité qui a délivré le certificat initial.

En ce qui concerne les certificats de navigation délivrés par les autorités françaises, la réglementation des conditions à satisfaire semble peu précise. Les seules règles explicites s'appliquent aux bateaux à passagers, qui doivent respecter des critères de stabilité après avarie. Aucune prescription ne concerne spécifiquement la stabilité des bateaux de transport de marchandises, l'article 2.01 de l'annexe I à l'arrêté du 17 mars 1988 disposant seulement que « la stabilité du bateau doit correspondre à l'usage auquel il est destiné ».

L'Arc en Ciel disposait d'un certificat de visite des bateaux du Rhin qui lui permet de naviguer en zone 4 et impose le respect du règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR) présenté en 2.7.3 ci-après.

Il disposait en outre de deux titres français de navigation délivrés par la Commission de visite de Rouen :

- d'une part, le certificat communautaire supplémentaire délivré (en application de l'article 4 du décret 88-228 du 7 mars 1988, encore en vigueur le jour de l'accident) par la commission de surveillance de Rouen, au vu d'un titre de navigation de la Commission du Rhin délivré par les autorités belges de l'Etat du pavillon.  
Ce certificat permet à l'Arc en Ciel de naviguer dans la zone 2, un certificat communautaire n'étant pas exigible en zone 4, dans la mesure où des allègements techniques n'ont pas été sollicités pour ce bateau. Il vise le certificat de visite du Rhin délivré par les autorités belges en application du règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR).  
L'Arc en Ciel devait donc également de ce fait se conformer au RVBR en zone 2.
- d'autre part, le permis de circulation spécial (pris dans le cadre du décret du 17 janvier 1928, encore en vigueur au jour de l'accident) pour la navigation dans les eaux maritimes de la Seine (à l'aval du Pont Jeanne d'Arc à Rouen) en application de l'arrêté préfectoral du 13 janvier 1930 modifié.  
Ce permis spécial lui imposait la présence à bord d'un dossier de stabilité relatif au chargement lors de chaque voyage avec une hauteur de plus de 2 rangées de conteneurs. Cette obligation impliquait donc une vérification effective de la stabilité lors de tels voyages. A ce titre, indépendamment du fait qu'il était titulaire d'un certificat de visite des bateaux du Rhin, l'Arc en Ciel devait donc se conformer à cette prescription, selon la méthode qui est décrite au chapitre 22 du RVBR\*, auquel renvoie l'arrêté préfectoral.

On peut noter que si cette vérification avait été effectuée par le conducteur de l'Arc en Ciel avant le départ de Gennevilliers, elle aurait mis en évidence que le chargement de conteneurs compromettait gravement la stabilité, même si le calcul ne prenait en compte que les poids du plan de chargement (sous estimés par rapport aux poids réels).

### **2.7.3- Règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR)**

Conformément à la directive 2006/87/CE de l'Union Européenne, les permis de navigation délivrés par les autorités des États de l'Union Européenne et par la Commission du Rhin valent pour le réseau français de voies navigables. Le document qui autorisait l'Arc en Ciel à naviguer en zone 4, où s'est produit l'accident, est un certificat délivré par la Commission du Rhin, établi suivant les prescriptions du règlement de visite des bateaux du Rhin (RVBR). Le bateau devait donc se conformer aux prescriptions du RVBR.

Le règlement de visite des bateaux du Rhin, dont le chapitre 22 concernant la stabilité des bateaux à conteneurs figure en annexe 3, fait la distinction entre les chargements de conteneurs fixés et de conteneurs non fixés.

Dans ce dernier cas (qui correspond au chargement de l'Arc en Ciel au moment de l'accident) il impose une valeur minimum de 1m à la hauteur métacentrique\* (voir annexe 5 « Rappel des méthodes de calcul de la stabilité d'un bateau et application au cas de l'Arc en Ciel »). Par ailleurs, il prescrit que la gîte du bateau sous l'effet de la force centrifuge, du vent et d'une carène liquide\* doit rester inférieure à 5°, en précisant la manière dont doivent être calculés ces effets. Il donne enfin une méthode pour calculer la hauteur maximum du centre de gravité du bateau chargé.

Pour permettre l'application et le contrôle de ces règles, le conducteur doit disposer de documents lui permettant de vérifier, dans tous les cas de chargement, la stabilité de son bateau.

Les services chargés de la police de la navigation étaient fondés, même en zone 4, étant donné que le bateau avait pour destination le Havre, à vérifier le respect des prescriptions de ce

---

\* Terme figurant au glossaire

certificat en tenant compte des prescriptions du RVBR et notamment de celles qui imposent que des documents, relatifs à la stabilité, fournissent au conducteur des renseignements compréhensibles sur la stabilité du bateau dans chaque cas de chargement de conteneurs. Cette vérification pouvait porter à la fois sur la présence effective de ces documents à bord et sur leur caractère « compréhensible par le conducteur » ; elle aurait montré que l'Arc en Ciel n'était pas en règle avec son certificat de navigation, puisque les documents relatifs à la stabilité du bateau présents à bord, rédigés en néerlandais, n'étaient pas compréhensibles par le conducteur.

Il faut cependant préciser que l'obligation de disposer à bord de renseignements sur la stabilité du bateau dans chaque cas de chargement, qui s'imposait à l'Arc en Ciel puisque son titre de navigation se basait sur un certificat de visite du Rhin, n'apparaît pas dans les règlements de police s'appliquant à la zone où a eu lieu l'accident : Règlement général de police de la navigation (RGNI) et règlement particulier de police de la navigation en Seine (RPPNS),

Le contrôle, par les services de police de la navigation en Seine du respect de règles imposées à l'Arc en Ciel au titre de son certificat du Rhin n'était donc pas facilité. On peut noter que sur le Rhin, où bien sûr les prescriptions du RVBR s'appliquent, le règlement de police pour la navigation du Rhin (RPNR) précise l'obligation de vérifier la stabilité du chargement de conteneurs avant chaque voyage.

#### **2.7.4- Règlement Particulier de Police de Navigation de la Seine (RPPNS)**

Le règlement particulier de police de la Seine ne contient aucune prescription concernant la stabilité des bateaux de marchandises.

#### **2.7.5- Réglementation applicable dans la partie maritime de la Seine**

Rappelons que le réseau français des voies navigables, si on excepte le Rhin, est réparti entre 2 des 4 zones de navigation que distingue la directive européenne 82/714/CEE, remplacée par la 2006/87/CE du 12 décembre 2006 :

- la zone 2 qui correspond à la partie située la plus en aval de certains fleuves (sur la Seine, la zone située en aval du pont Jeanne d'Arc à Rouen) ;
- la zone 4 à laquelle appartiennent toutes les autres voies navigable françaises.

L'accident s'est produit en zone 4, mais l'Arc en Ciel se rendant au port du Havre, il devait pour cela emprunter une voie sur laquelle existe un trafic maritime. Il s'agit de la portion de la Seine située en aval du pont Jeanne d'Arc à Rouen qui fait partie de la zone 2. Cette zone est soumise à une réglementation particulière de la navigation, décrite ci-après et qui se superpose aux obligations liées au certificat communautaire supplémentaire et au permis de circulation spécial décrit au 2.7.2 ci-dessus.

Dans cette partie aval de la Seine, une modification apportée le 14 septembre 2004 à l'arrêté préfectoral du 13 janvier 1930, formant règlement particulier pour l'application du décret du 17 janvier 1928, fixe des règles explicites qui s'appliquent à la stabilité des bateaux transportant des conteneurs entre le pont Jeanne d'Arc et la limite de la mer :

" article 6 bis chargement en comble -... Des documents relatifs à la stabilité doivent être à bord de tout bateau ou de toute barge poussée ou remorquée transportant des conteneurs sur plusieurs hauteurs.

Les conditions limites et modes de calcul pour la justification de la stabilité des bateaux transportant des conteneurs sont définis au chapitre 22 du Règlement de visite des bateaux du Rhin, publié par le décret n°95-535 du 5 mai 1995 en prenant en référence le mode de calcul pour les conteneurs non fixés.

Les tableaux des coefficients de stabilité admissibles, des valeurs de KG admissibles ou des hauteurs admissibles du centre de gravité de la cargaison devront être à bord des automoteurs ou des pousseurs dans le cas de convois. Ces documents devront être approuvés par un expert agréé par le ministère chargé des transports ou par une société de classification."

Ce texte renvoie au chapitre 22 du RVBR. Il apparaît ainsi que sur la zone 2 de la Seine aval, le permis de circulation spécial exigible dont disposait l'Arc en Ciel rappelait explicitement l'obligation de présence à bord de documents relatifs à la stabilité. Le contrôle en était ainsi facilité.

### **2.7.6- Réglementation en projet**

La directive européenne 2006/87/CE du 12 décembre 2006 établissant des prescriptions techniques des bateaux de navigation intérieure contient pour ce qui concerne la stabilité des bateaux chargés de conteneurs, des clauses identiques à celles du Règlement de Visite des Bateaux du Rhin (RVBR) citées plus haut. Cette directive doit être transcrite dans le droit des États concernés avant le 31 décembre 2008.

En ce qui concerne la France, cette transcription doit être faite par la voie d'un arrêté ministériel qui est en cours de préparation. Il devrait s'appliquer avant la fin de l'année 2008.

Le règlement général de police de la navigation intérieure (RGPI) est par ailleurs en cours de refonte. Sa nouvelle version devrait comporter des prescriptions, analogues à celles mentionnées plus haut, qui figurent dans le règlement de police du Rhin permettant aux services de police de la navigation d'assurer un contrôle effectif du respect des règles figurant dans un texte s'appliquant normalement à la délivrance des certificats de navigation des bateaux.

Il convient de remarquer que la réglementation en vigueur sur le Rhin, reprise dans la directive européenne qu'il est prévu de transcrire en droit français, établit une distinction entre les conteneurs fixés et les conteneurs non fixés. La cargaison de conteneurs est considérée comme fixée lorsque chaque conteneur individuel est solidement fixé à la coque du bateau par des glissières ou des tendeurs et que sa position ne peut se modifier pendant la navigation. Les règles imposées aux bateaux dont la cargaison de conteneurs est fixée sont moins sévères que celles concernant les conteneurs non fixés (hauteur métacentrique supérieure à 0,50m au lieu de 1m ; limite de la gîte, sous l'action du vent, de la force centrifuge et des effets de carène liquide telle qu'aucune ouverture de la coque n'est immergée, alors que la gîte doit être inférieure à 5° pour les conteneurs non fixés).

### **2.7.7- Situation de l'Arc en Ciel par rapport aux réglementations applicables**

La situation de l'Arc en Ciel au regard de la réglementation en vigueur peut se présenter de la manière suivante :

- les exigences du RGPI\* n'étaient pas satisfaites, l'accident ayant montré que l'article 1.07, chargement maximum (" ...2.2 - le chargement ne doit pas mettre en danger la stabilité du bâtiment...") n'était pas respecté ; mais le même règlement ne donnait aux services de polices aucun moyen de vérifier son application avant l'accident.
- le certificat communautaire supplémentaire, exigible pour naviguer à l'aval de Rouen, délivré au vu d'un certificat du Rhin renvoyait au règlement de visite du Rhin qui prescrit des documents relatifs à la stabilité visés par une commission de visite. Ces documents fournissent sur la stabilité du bateau dans chaque cas de chargement des renseignements compréhensibles par le conducteur. De tels documents étaient effectivement disponibles à bord mais ils ne pouvaient être considérés comme compréhensibles par le conducteur, car ils étaient écrits en néerlandais, langue que le conducteur ne comprenait pas.
- le permis de circulation spécial pour la circulation dans les eaux maritimes de la Seine

---

\* Terme figurant au glossaire

imposait, pour chaque voyage avec plus de deux rangées de conteneurs, un dossier de stabilité relatif au chargement du bateau. Ce dossier n'avait pas été établi pour le voyage de l'Arc en Ciel qui devait se rendre à l'aval de Rouen et donc respecter cette disposition.

Le tableau suivant résume les prescriptions de la réglementation en vigueur en France concernant la stabilité des bateaux à conteneurs :

Tableau des réglementations applicables à la stabilité des bateaux à conteneurs

Champ d'application	Texte applicable	Exigence réglementaire	Situation de l'Arc en Ciel
Tous bateaux	RGPN	Art 1,07 ; le chargement ne doit pas mettre en danger la stabilité	En défaut (mais aucun moyen de vérification avant l'accident)
Bateaux titulaires d'un certificat du Rhin	RVB	Présence à bord de documents relatifs à la stabilité du bateau, compréhensible par le conducteur	En, défaut (documents non compréhensibles par le conducteur)
Bateaux habilités en zone 2 (Seine Maritime)	arrêté préfectoral de 1930	Présence à bord d'un dossier de stabilité approuvé par un bureau de classification ou un expert agréé	En règle
	permis de circulation spécial	Lors de chaque voyage avec plus de deux rangées de conteneurs, dossier de stabilité relatif au chargement du bateau	En défaut

## **2.8- La cargaison de l'Arc en Ciel**

### **2.8.1- La chaîne logistique**

Dans les différentes phases de préparation d'un voyage comme celui de l'Arc en Ciel au cours duquel a eu lieu l'accident, plusieurs plans de chargement sont établis par l'armateur, SCAT, titulaire du contrat de transport et par le chargeur RSC\*.

#### **Premier plan prévisionnel - Booking**

Un premier plan prévisionnel de chargement est adressé par RSC à la SCAT quelques jours avant le départ. Sur ce plan figurent le nombre et les poids estimés des conteneurs sans leurs numéros, selon les informations communiquées à RSC par ses clients. Ce document (booking) qui est établi en tenant compte des points de chargement et de déchargement (différents terminaux du port du Havre : Atlantique, Europe, Asie, Bougainville) s'apparente davantage à une réservation d'espaces de cargaison ou à un plan d'arrimage qu'à un véritable plan de chargement intégrant les paramètres du bateau. La stabilité du bateau chargé n'est pas vérifiée à ce stade.

#### **Préplan de chargement**

A partir de ce premier plan prévisionnel, un préplan de chargement est établi par la SCAT tenant compte des caractéristiques du bateau, en particulier du point de vue de sa stabilité. Ce plan

\* Terme figurant au glossaire

est adressé à RSC avec une distinction entre les conteneurs chargés au quai de la REP et ceux chargés au quai de Paris Terminal.

### Plan de chargement

RSC complète le préplan de chargement en mentionnant les numéros des conteneurs et en précisant leurs poids. Le plan de chargement ainsi établi est envoyé d'une part à la SCAT, d'autre part à l'opérateur de manutention, notamment à Paris Terminal où sera effectué l'essentiel du chargement de l'Arc en Ciel. Ce document est également mis à la disposition du conducteur du bateau lors de son passage à l'écluse d'Andrésy. Dans le cas de l'accident de l'Arc en Ciel, le conducteur a déclaré avoir oublié de le demander.

Les poids pris en compte dans ces différents plans de chargement sont des poids estimés par les clients de RSC, avant l'emportage des conteneurs. Les conteneurs sont empotés par le client de RSC, ce dernier prenant en charge le transport par voie routière jusqu'au quai de chargement du bateau.

Les poids des conteneurs qui figurent dans la lettre de voiture établie pour ce transport routier peuvent être différents de ceux qui ont été pris en compte pour élaborer les plans de chargement du bateau. Ils ne sont le plus souvent pas le résultat d'une pesée effective du conteneur remis à RSC mais d'une simple estimation et les poids réels peuvent être notablement différents de ceux indiqués dans la lettre de voiture.

Le manutentionnaire exécute en principe le plan de chargement qu'il a reçu de RSC. Il peut s'en écarter pour tenir compte de la disponibilité effective des conteneurs au moment du chargement, en s'efforçant de limiter les substitutions de conteneurs à des conteneurs ayant le même type de marchandise dont il considère qu'ils ont des poids semblables.

Le portique de chargement de Paris Terminal n'est pas équipé d'un dispositif de pesée mais seulement d'une alarme en cas de dépassement de poids maximum ou de déplacement du centre de gravité. Par contre, les équipements de Limay disposent des moyens de déterminer le poids de chaque conteneur chargé.

Pendant le chargement, le conducteur de l'Arc en Ciel fait noter par son matelot la position de chaque conteneur chargé à bord avec son numéro. Il arrive que le conducteur, constatant soit une gêne anormale du bateau soit un excès de tirant d'eau, refuse une partie du chargement. Dans un tel cas, la SCAT et RSC ne contestent pas ce refus et font acheminer par d'autres moyens les conteneurs qui n'ont pas été chargés. Pour le voyage au cours duquel a eu lieu l'accident, l'évaluation du chargement à partir des tirants d'eau du bateau conduisait à un dépassement de 159 t par rapport aux indications du dernier plan de chargement. Comme la capacité du bateau n'a pas été dépassée et que le bateau après son chargement ne présentait pas de gêne anormale, le chargement n'a pas été refusé.

L'opérateur considère que l'acceptation par le conducteur de la cargaison vaut acceptation du chargement tel qu'il a été effectué, en s'écartant éventuellement du plan de chargement remis par RSC.

La pratique décrite ci-dessus montre qu'il n'y a ni vérification ni sanction en cas d'excédent de poids des conteneurs ou de chargement non conforme au plan.

### **2.8.2- Vérification de la stabilité du bateau**

Deux méthodes peuvent être utilisées pour vérifier la stabilité d'un bateau chargé de conteneurs tel que l'Arc en Ciel.

- une méthode manuelle, en utilisant le dossier de stabilité disponible à bord ;
- l'utilisation d'un logiciel adéquat.

### Calcul de la stabilité à partir du dossier de stabilité du bateau

La stabilité du bateau avait été déterminée au neuvage<sup>1</sup> pour différents cas de chargement, le bateau portait alors le nom de Charis. Le dossier de stabilité validé par la société de classification fait partie des documents exigés à bord conformément à la réglementation du Rhin.

Ce dossier était à bord de l'Arc en Ciel. Il a paru à l'équipe d'enquête assez clair et compréhensible et comprenait notamment un exemple de calcul, comme le prescrit le règlement de visite des bateaux du Rhin. Il ne pouvait cependant pas être considéré comme « compréhensible par le conducteur » puisqu'il était rédigé en néerlandais (ce qui n'est pas à priori choquant pour un bateau dont le port d'immatriculation est Gand), langue que le conducteur de l'Arc en Ciel ne connaissait pas.

Remarquons que ce document, établi en 1998, ne permettait de déterminer la stabilité du navire que pour des chargements ne dépassant pas 2 362,5 t, alors que le bateau est autorisé à charger 2 612 t. Le plan de chargement faisait état d'un total de 2 318t, ce qui permettait de vérifier la stabilité du bateau en utilisant le dossier de stabilité disponible à bord. Le poids du chargement était en réalité de 2 477t, comme l'ont montré les pesées effectuées au Havre après l'accident, ce que le conducteur de l'Arc en Ciel pouvait facilement établir au moment de l'appareillage à partir des tirants d'eau du bateau. Le dossier de stabilité ne contient pas les indications nécessaires pour vérifier ce chargement.

On doit également noter que la méthode de calcul préconisée dans ce document s'appuie sur une évaluation du poids de chaque couche de conteneurs. Cette méthode ne prend donc pas en compte l'éventualité que tout ou partie d'une couche soit constitué de conteneurs « High Cube », plus hauts. Ce type de conteneurs était rare ou inexistant en 1998, date de construction du bateau ; ils sont devenus assez fréquents et le document de stabilité aurait dû être complété pour en tenir compte.

L'équipe d'enquête a cependant procédé au calcul préconisé par ce dossier (en évaluant les valeurs admissibles des coefficients de stabilité par extrapolation et sans prendre en compte la surhauteur due à la présence de conteneurs « high cube », qui en rehaussant d'un pied la hauteur des conteneurs situés au-dessus d'eux, ont un effet notable sur la position du centre de gravité du chargement et réduisent encore la stabilité du bateau) dans différents cas de chargement et elle est arrivée aux résultats suivants :

### Résultats de vérification de la stabilité de l'Arc en Ciel à partir du dossier de stabilité du bateau suivant différentes hypothèses de chargement

	Plan remis à Paris-Terminal (2 318 t)	Disposition relevée par le conducteur avec les poids prévus (2 318 t)	Disposition relevée par le conducteur avec les poids réels (2 477 t)
Coefficient de stabilité maximum selon le dossier de stabilité	2 925	2 925	3 087
Coefficient de stabilité calculé	3 460	3 387	3 815
Dépassement	18%	16%	24%

<sup>1</sup> Vérifications et calculs établis à la construction du bateau et avant sa livraison.

Il apparaît donc que les conditions de stabilité n'étaient satisfaites, ni dans le chargement tel qu'il devait être réalisé par l'opérateur de manutention, avec les poids des conteneurs figurant dans la lettre de voiture, ni dans le chargement effectivement réalisé, tel que relevé par le conducteur toujours avec les poids de conteneurs figurant dans la lettre de voiture, ni bien sûr si on tient compte des poids réels des conteneurs, tels qu'ils ont été constatés à la pesée après l'accident.

#### Logiciel de vérification de la stabilité utilisé par la SCAT

Depuis 2005, la SCAT dispose d'un logiciel permettant, pour un chargement donné, de vérifier si les critères de stabilité sont satisfaits. Un calcul de stabilité est indispensable lorsqu'il y a 4 rangées de conteneurs en hauteur. Lorsqu'il n'y a que 3 rangées de conteneurs, la stabilité est normalement satisfaite. Il existe par ailleurs un accord entre RSC et Paris Terminal autorisant un chargement dans le "désordre" s'il n'y a que deux rangées.

Le logiciel (logiciel de gestion de chargement) a été commandé par la SCAT le 25 novembre 2004 à une société néerlandaise. Cette société faisait état pour ce logiciel de 72 utilisateurs dont 2 en France. A noter que ce logiciel n'est pas certifié par les sociétés de classification.

Dans le dispositif initialement envisagé, il était prévu que, pour chacun des bateaux affectés au transport des conteneurs, la SCAT disposerait d'un exemplaire du logiciel pour vérifier le plan de chargement qu'elle adresse à l'opérateur de manutention, qu'un autre exemplaire serait mis à la disposition de RSC et qu'un troisième exemplaire serait installé à bord du bateau. Dans le cas de l'Arc en Ciel, des difficultés sont apparues dans la gestion du contrat de fourniture du logiciel et le produit, bien qu'utilisé par la SCAT, n'aurait jamais été finalisé. Il n'était semble-t-il pas adapté à l'Arc en Ciel.

En fait RSC n'a pas reçu le logiciel. Celui destiné au bateau a été installé à bord en 2005 mais le conducteur ne sait pas l'utiliser car il n'a pas reçu la formation nécessaire. A noter que le conducteur n'était pas informé des poids réels des conteneurs et donc de la répartition réelle des poids par niveaux.

Les résultats du calcul de stabilité effectué par la SCAT avant le chargement ne sont communiqués ni à RSC ni au conducteur qui n'ont aucun moyen de vérification. Le plan remis à l'écluse d'Andrésy à l'intention du capitaine ne comporte aucune information sur la stabilité qui en principe devrait être satisfaite.

La SCAT ne refait pas non plus un calcul de stabilité avec la répartition réelle des conteneurs avant le départ du bateau.

La stabilité du bateau aurait été effectivement vérifiée par la SCAT à partir du plan de chargement établi. Cette vérification aurait donné un résultat positif, alors que, même avec le plan de chargement prévu, les conditions de stabilité n'étaient pas satisfaites. Il apparaît donc que ce logiciel donnait des résultats erronés. On peut s'étonner que les résultats de ce logiciel n'aient pas été comparés, pour différents types de chargement, avec ceux de la méthode manuelle. L'existence du dossier de stabilité semble avoir été assez largement ignorée.

Avant que la SCAT dispose de ce logiciel, il est probable qu'aucun calcul de stabilité n'était fait, celui-ci devant être fait manuellement donc prenant du temps, encore que, comme nous l'avons dit plus haut, la vérification de la stabilité du bateau à partir du dossier de stabilité disponible à bord pouvait se faire assez facilement à la main (il suffisait de déterminer le poids de chacune des couches, ce qui conduit à 4 additions de 24 nombres). Les enquêteurs n'ont pu éclaircir le rôle de RSC dans la vérification de la stabilité.

### Vérification de la stabilité sur les bases de l'expertise Veritas

Le Bureau Veritas, qui dispose des plans de l'Arc en Ciel, a effectué des calculs pour déterminer les paramètres stabilité du bateau. Le résultat de ces calculs apparaît dans l'annexe 6. Il apparaît que les critères de stabilité n'étaient satisfaits, ni avec le plan de chargement initial ni avec le plan relevé par le conducteur en utilisant, pour les poids des conteneurs, les valeurs figurant dans le plan de chargement initial, ni bien sûr dans l'hypothèse la plus vraisemblable du cas de chargement « réel et pesé ».

#### **2.8.3- Écarts entre plans de chargement et chargement réel**

L'analyse des différents plans de chargement du bateau (préplans, plan remis à Paris Terminal, plan relevé par le conducteur) et des poids des conteneurs tels que pesés au déchargement au Havre a montré que les opérateurs ayant participé à l'exécution du transport, chargeur, manutentionnaire, armateur, navigant, ne maîtrisaient pas les caractéristiques du chargement.

On relève à l'examen comparatif de ces plans :

- que le plan de chargement remis à Paris Terminal (annexe 4-1) et le chargement relevé par le conducteur correspondant au chargement réel (annexe 4-2) sont différents, les conteneurs n'occupent pas la position prévue par le plan fourni ;
- que les conteneurs des niveaux 3 et 4 restés sur le bateau après l'accident (6 sur le niveau 4 et 12 sur le niveau 3) ayant fait l'objet d'une pesée au Havre ont un poids relevé pour chaque conteneur supérieur de 3,7 t à 5,5 t par rapport aux poids indiqués sur le plan de chargement. En appliquant ce même surpoids aux conteneurs tombés à l'eau, on peut reconstituer de manière assez fiable le chargement réel du bateau (annexe 4-3 – cas de chargement réel et pesé).

Le tableau suivant montre les caractéristiques de la cargaison résultant de ces différentes estimations :

#### Poids en tonnes des niveaux de conteneurs suivant différentes hypothèses de chargement

	Plan remis à Paris Terminal	Plan relevé par le conducteur	Poids de chaque niveau après pesée
Niveau 4	569,460	587,830	670,490
Niveau 3	595,702	584,040	626,720
Niveau 2	488,152	529,182	550,160
Niveau 1	664,758	617,188	630,020
Total	2 318,07	2 318,232	2 477,39

On remarque que le chargement réel est supérieur de 159,22 t au chargement prévisionnel dont 125,34 t pour les niveaux 3 et 4 avec une répartition anormale des poids, le niveau 4 est le plus lourd, ce qui a pour effet de relever le centre de gravité.

Le chargement présentait de plus un déséquilibre transversal de 35 t, il était plus lourd côté tribord avec pour conséquence un déplacement transversal du centre de gravité. Les incertitudes sur les poids des conteneurs qui ont été immergés ne permettent pas cependant de considérer comme certain ce déséquilibre (d'autant plus que la gîte observée à l'appareillage était sur bâbord).

## **2.9- Précédents accidents comparables**

Les enquêteurs du BEA-TT ont eu connaissance d'un accident similaire qui a eu lieu sur le Rhin près de Cologne le 25 mars 2007 où un automoteur, l'Excelsior, a perdu 31 conteneurs dans des circonstances semblables à celles de l'Arc en Ciel. Le bateau, qui effectuait une manœuvre pour faire demi-tour dans le fleuve, a perdu sa stabilité et ne s'est redressé qu'après avoir été délesté d'une partie de son chargement.

L'accident a entraîné l'arrêt de toute navigation sur le Rhin pendant 5 jours. Des actions judiciaires sont en cours pour évaluer les préjudices subis et déterminer les responsabilités. Dans ce contexte, il a malheureusement été impossible d'obtenir des informations plus précises de la part des autorités allemandes sur les circonstances et sur la ou les causes de cet accident.

Une procédure devrait être mise en place entre les différents pays européens pour qu'il puisse être tiré profit des expériences acquises à l'occasion des accidents.

Un autre accident mettant en cause un bateau chargé de conteneurs a eu lieu en 2005 sur le canal de Haute Seine, à proximité du port de Nogent-sur-Seine. Il a donné lieu à une enquête du BEA-TT. Il ne s'agissait pas d'une question de stabilité du bateau, mais d'un problème de tirant d'air, le bateau ayant heurté un pont ; les deux accidents ne sont pas comparables. Le problème de la chaîne logistique et la difficulté d'avoir un chargement de conteneurs satisfaisant apparaît cependant, de manière analogue à ce qui est constaté dans le cas de l'accident de l'Arc en Ciel, comme un des facteurs de l'accident.

On peut enfin signaler que, si les cas de perte de conteneurs sur le réseau de voies navigables sont exceptionnels, il s'agit d'un accident plus fréquent en mer en raison des mouvements de plateforme du navire dûs aux conditions de mer. Un rapport du Bureau d'enquêtes sur les événements de mer (BEAmer) a traité la perte à la mer de 50 conteneurs en pontée par le navire CMA CGM Otello le 17 février 2006. A noter que le même jour un autre porte-conteneurs perdait également dans le golfe de Gascogne 2 conteneurs et que le lendemain un troisième porte-conteneurs perdait 77 conteneurs dans la même zone. Plus globalement, 2 500 conteneurs seraient perdus en mer chaque années, soit environ 0,006% du total transporté. Dans son rapport, le BEAmer a relevé, parmi les facteurs de l'accident, la connaissance imparfaite qu'ont les opérateurs du poids des conteneurs, facteur qui apparaît également dans le cas de l'Arc en Ciel.

Sur ce point, la Préfecture maritime de Brest estime que 15% des conteneurs repêchés ne contiennent pas ce qu'ils devraient contenir. Les centres de gravité des pontées sont très mal connus, non seulement à cause de poids en dépassement mais aussi de calculs faits avec des hauteurs forfaitaires de centre de gravité pour chaque conteneur.

Il n'y a pas communication entre les engins de manutention terrestres et les bords en ce qui concerne les poids embarqués. Les bords ne travaillent qu'avec les poids déclarés et non avec les poids mesurés.

## **2.10- Mesures prises après l'accident**

L'accident de l'Arc en Ciel a alerté la profession et conduit le Comité des Armateurs Fluviaux (CAF) à faire une analyse du problème en liaison avec les différents partenaires de la chaîne de transport. A la suite de cette analyse, il a édité, en date du 10 septembre 2007, un « guide de préconisations professionnelles pour le chargement et le transport fluvial des conteneurs ».

Les principales préconisations de ce guide sont :

- l'application volontaire ou anticipée des réglementations rhénanes et européennes ;
- l'obligation d'utiliser un logiciel de chargement ;

- l'établissement de relations codifiées entre donneur d'ordre, transporteurs et manutentionnaires portuaires ;
- une vigilance renforcée pour les bateaux chargés à 4 hauteurs et plus.

Les professionnels concernés ont accepté d'appliquer par anticipation dès le 1er octobre 2007 certaines de ces dispositions

Par ailleurs, le manutentionnaire Paris Terminal a décidé d'exécuter strictement les plans de chargement prévus.

### **3- Scénario de l'accident**

#### **3.1- Chronologie – Déroulement du voyage de l'Arc en Ciel depuis son chargement à Gennevilliers jusqu'à l'accident**

Le déroulement des faits a pu être établi d'après les témoignages recueillis au cours des différentes auditions conduites par les enquêteurs du BEA-TT, notamment à partir du témoignage du conducteur du bateau résumé au §2.1 ci-dessus.

Les 19 et 20 avril 2007 :

Chargement partiel au quai de la REP le 19 avril.

Le 20 avril, de 6h30 à 15h30, chargement au quai de Paris Terminal à Gennevilliers.

A 17h00, le bateau stationne sur un quai situé à 150/200 mètres du poste de chargement. Son amarrage est serré, aucune gîte n'apparaît.

Le 21 avril 2007 :

6h00 : Appareillage de Paris Terminal à destination de Le Havre Terminal, voyage n°276 907.

7h00-7h30 : passage de l'écluse de Chatou.

7h30-9h30 : trajet entre l'écluse de Chatou et l'écluse suivante d'Andrésy. Avant d'arriver à l'écluse le conducteur s'aperçoit que le bateau a pris 20 cm de gîte sur bâbord (soit un angle de gîte de 1°).

9h30-10h00 : passage de l'écluse d'Andrésy.

13h00 : arrivée à l'écluse de Méricourt. Avant son arrivée, le conducteur avait prévenu l'écluse qui lui signale que le tirant d'air du bateau est trop élevé, qu'il a de la gîte sur bâbord et qu'il devra attendre à l'écluse pour y être contrôlé. Le conducteur redresse le bateau en remplissant le ballast arrière tribord (vide) pour arriver à l'écluse avec une légère gîte sur tribord.

13h00-16h00 : stationnement au garage de l'écluse de Méricourt en attendant le contrôle. La gîte s'accroît sur tribord.

16h00 : contrôle du bateau par un représentant de la Commission de surveillance de Paris et le chef éclusier, lesquels constatent :

- que le bateau présente de la gîte sur tribord, côté amarrage ;
- que son tirant d'air est de 8m38 supérieur à la limite de 7m50 fixée par le RPPNS\*, son tirant d'eau étant inférieur au tirant d'eau maximum.

Pour redresser le bateau, le conducteur procède à nouveau à un mouvement de ballast en remplissant le ballast arrière bâbord jusqu'à obtenir une gîte d'environ 10cm sur tribord.

18h00 : le bateau est autorisé à repartir.

18h00-19h00 : passage de l'écluse de Méricourt

21h30 : arrivée à l'écluse de Notre Dame de la Garenne ; le bateau s'amarre pour la nuit. Au cours du transit, le conducteur constate que la gîte sur tribord commence à diminuer. Cette évolution lui faisant craindre que le bateau reprenne sa gîte sur bâbord, il ferme la traverse de communication entre les caisses à combustible et n'utilise que la caisse bâbord pour l'alimentation

---

\* Terme figurant au glossaire

du moteur (celle de tribord étant isolée).

Le 22 avril 2007 :

08h00 : appareillage de l'écluse de Notre-Dame de la Garenne.

10h30 : peu après avoir passé le pont de Saint-Pierre-du-Vauvray, entre les PK 192 et 193, dans le début du virage au niveau de l'île du Moulin, le bateau s'incline très fortement sur bâbord. Le bateau est ralenti puis stoppe. Alors que la vitesse du bateau est devenue nulle, le mouvement de basculement du bateau ralentit puis semble s'arrêter mais il reprend ensuite jusqu'à ce que la gîte soit telle qu'une partie des conteneurs en pontée à bâbord tombent à l'eau. Le bateau, délesté, se redresse et s'incline sur tribord entraînant la chute d'autres conteneurs en plus petit nombre. Il se stabilise ensuite et peut parcourir 400 mètres pour s'amarrer au ponton d'Herqueville.

### **3.2- Explications sur les variations de la gîte au cours du voyage**

Les enquêteurs ont utilisé les paramètres de stabilité de l'Arc en Ciel en fonction de son chargement tels qu'ils ont été déterminés par le bureau Veritas, pour reconstituer les variations de la gîte du bateau au cours de son voyage, jusqu'à l'accident. Les calculs effectués sont présentés en annexe 5.

Il s'agit d'abord d'expliquer pourquoi le bateau qui, après son chargement à Paris Terminal, n'avait pas de gîte notable, présentait au moment de son appareillage une gîte importante.

L'explication tient au caractère très instable du bateau, conséquence de la position élevée du centre de gravité et de la faible valeur de la hauteur métacentrique qui en résulte (cf annexe 5) : un faible déséquilibre dans son chargement avait un effet important sur sa gîte. On peut penser qu'une légère gîte existait au moment où il a été amarré à proximité du quai de chargement. Cette gîte a rendu possible le transfert d'une quantité limitée de fuel d'un réservoir à l'autre. Le déséquilibre induit par ce transfert a augmenté la gîte qui elle-même conduit à un nouveau transfert de fuel jusqu'à un nouvel équilibre correspondant à la gîte observée.

Le même phénomène explique les difficultés rencontrées par le conducteur de l'Arc en Ciel à chaque fois qu'il a essayé de rétablir l'équilibre de son bateau par des manoeuvres de ballast. Cette variation lente de la gîte n'a plus été observée quand la communication entre les deux réservoirs a été coupée.

Si la section horizontale des réservoirs de fuel, correspondant à l'aire de la surface libre, avait été constante, ce phénomène se serait poursuivi jusqu'à ce qu'un des réservoirs soit plein ou vide ou jusqu'à ce que la limite de stabilité du bateau soit atteinte. Comme le montre l'annexe 5, c'est la forme des réservoirs, qui présentent un rétrécissement, et leur niveau de remplissage qui expliquent que le mouvement de basculement s'est arrêté avant que la limite de stabilité soit atteinte et qu'il a pu reprendre sur l'autre bord quand les manoeuvres de ballastage ont conduit à inverser la gîte.

### **3.3- Analyse du quasi-chavirement lors de la perte des conteneurs**

Sur un bateau dont la stabilité était précaire, l'accident lui-même est survenu lors du virage de l'île du Moulin à Saint-Pierre-du-Vauvray.

Lorsque l'Arc en Ciel a commencé son virage à tribord, la force centrifuge a provoqué une prise de gîte sur bâbord.

Le couple de redressement, qui doit normalement stabiliser la gîte à une inclinaison faible,

n'a pris alors qu'une valeur très inférieure à la normale. Il est en effet lié à la hauteur métacentrique qui, dans les conditions de chargement de l'Arc en Ciel, était d'environ 0,37 m contre un minimum de 1 m requis par le règlement de visite des bateaux du Rhin.

Dans un premier temps la prise de gîte n'a donc pas été stabilisée ; elle n'a été que progressivement ralentie par le couple de redressement, la diminution de la vitesse du bateau venant par ailleurs réduire le couple de renversement lié à la force centrifuge.

Dans un second temps, bien que son évolution ait ainsi été très ralentie et même stoppée, l'angle de gîte, par effet d'inertie, a atteint et dépassé la valeur de renversement (environ 15°) pour laquelle le couple de redressement s'annule et devient négatif. Ce seuil étant franchi, la prise de gîte s'est donc accélérée jusqu'à atteindre un angle très élevé (de l'ordre de 22°, angle de renversement d'une pile de deux conteneurs HQ), conduisant le conducteur à envisager de sauter à l'eau. Le chavirement complet a été évité de justesse, grâce à la perte d'une partie des conteneurs des deux couches supérieures, côté bâbord ; ces conteneurs sont tombés à l'eau ce qui a rétabli un couple de redressement positif.

Le bateau s'est alors redressé et, par inertie, a pris une gîte prononcée côté tribord, qui a occasionné une nouvelle perte de conteneurs de ce côté.

Ainsi débarrassé de 30 conteneurs (soit plus du quart de son chargement initial de 112 conteneurs), le bateau a fini par se stabiliser.

Le conducteur a pu aller s'amarrer au ponton d'Herqueville à 400 m environ du lieu de l'accident.

L'annexe 5 a évalué le moment de renversement dû à cette force centrifuge et l'a comparé, à partir des paramètres de stabilité du bateau, au moment de redressement au cours du mouvement de basculement. Le fait que ce mouvement de basculement se soit pratiquement arrêté avant de reprendre montre que la force centrifuge ne dépassait que de peu la valeur limite au delà de laquelle l'accident était inévitable.

### **3.4- Gestion de l'événement**

En raison du danger présenté par les conteneurs tombés à l'eau, certains dérivant et d'autres coulés, le service navigation de la Seine a aussitôt interrompu la navigation.

Le 22 avril à 11h00, un avis à la batellerie a été pris en ce sens, interdisant la navigation entre les écluses de Notre-Dame de la Garenne et de Pose-Amfreville.

Le dimanche après-midi la gendarmerie fluviale et les pompiers ont eu pour objectif de sécuriser un maximum de conteneurs en les poussant vers les berges et en les arrimant du mieux possible. De son côté RSC précise qu'aucune marchandise dangereuse n'est transportée dans les conteneurs.

La vedette de sondage ECORANDA du service navigation de la Seine a été dépêchée sur la zone pour repérer les conteneurs. Ainsi, le dimanche soir, 20 conteneurs flottants ont pu être sécurisés en étant amarrés sur les berges. Dix autres ont coulé dans le chenal, dont deux ont pu être localisés.

Parallèlement, des contacts ont été pris avec différentes sociétés susceptibles de disposer de moyens d'élingage et du matériel de levage nécessaire à ce type de manutention pour enlèvement des conteneurs ; l'objectif étant une reprise de la navigation au plus tôt.

Le 23 avril, la barge Goliath équipée d'une bigue s'est rendue sur place afin de procéder à l'enlèvement des conteneurs se trouvant dans le chenal.

Le 23 avril à 15h00, un nouvel avis à la batellerie modifiant le précédent réduit l'arrêt de la navigation à la zone comprise entre le pont de Saint-Pierre-du-Vauvray (PK 191) et l'écluse de Pose-Amfreville (PK 202).

Les 27 et 28 avril, la navigation est ouverte aux professionnels de 07h00 à 11h00 pour les navires montant et de 07h00 à 12h00 pour les navires avalant.

Ce n'est que le 29 avril que la navigation en Seine reprend un cours normal à l'exception des bras secondaires de Connelles et de Port-Pinché où elle reste interdite jusqu'à nouvel avis.

### **3.5- Risques encourus lors de l'accident**

L'accident fort heureusement n'a pas fait de victime ni provoqué de pollution.

Mais les risques encourus étaient importants et les conséquences auraient pu être bien plus graves si une partie des conteneurs en pontée n'était pas tombée à l'eau, ce qui a permis au bateau de se redresser et de retrouver sa stabilité. Le chavirement de l'Arc en Ciel n'a pu être évité que par l'abaissement du centre de gravité du bateau et de sa cargaison, conséquence de la perte d'une partie de sa cargaison.

Dans le cas contraire, si les conteneurs avaient été saisis par des twist locks par exemple, les colonnes de conteneurs étant rendus solidaires, le bateau aurait continué à prendre de la gîte et finalement chaviré et coulé avec des conséquences très graves tant sur le plan humain (3 personnes se trouvaient à bord du bateau) que sur le plan économique ; le renflouement du bateau pour rétablir la navigation sur la Seine aurait été une opération beaucoup plus lourde et plus longue que celle qui a consisté à repêcher les 30 conteneurs perdus.

L'impact sur la navigation a été limité bien que 14 bateaux se soient trouvés le 23 avril en attente en amont de l'écluse de Notre-Dame de la Garenne et en aval de l'écluse de Pose-Amfreville.

## **4- Les causes et facteurs associés – orientations préventives**

Les investigations ont fait apparaître plusieurs domaines dans lesquels il convient d'analyser les causes et facteurs qui ont pu jouer un rôle dans l'accident et de rechercher les mesures utiles pour prévenir la répétition d'événements similaires ou d'en limiter les conséquences.

Quatre domaines ont été examinés ci-après :

- la réglementation concernant la stabilité des chargements des bateaux et le contrôle de l'application de cette réglementation ;
- la formation des personnels de conduite des bateaux à la bonne prise en compte des règles de stabilité ;
- le fonctionnement de la chaîne logistique et la connaissance par tous les acteurs du transport et de la manutention des caractéristiques des conteneurs ;
- le retour d'expérience, en coopération avec les autres pays européens.

### **4.1- La réglementation concernant la stabilité des chargements de bateaux et le contrôle de l'application de cette réglementation**

#### **4.1.1- Les constats**

##### Présence à bord du dossier de stabilité et contrôle

L'examen de la réglementation concernant la stabilité des bateaux à conteneurs montre que, à l'endroit de l'accident, l'Arc en Ciel n'était pas en conformité avec la réglementation : le dossier de stabilité, qui se trouvait effectivement à bord, ne pouvait être considéré comme « compréhensible par le conducteur », comme le prescrit le règlement de visite du Rhin, visé par le certificat communautaire autorisant l'Arc en Ciel à naviguer, qui s'applique à ce bateau et les paramètres de stabilité du bateau (hauteur métacentrique) ne respectaient pas les valeurs fixées par le règlement.

Le service de police de la navigation aurait donc été fondé à demander la présentation de ces documents et à vérifier qu'ils étaient bien compréhensibles par le conducteur. Si cette vérification avait été faite, on peut penser que l'Arc en Ciel n'aurait pas été autorisé à poursuivre son voyage.

On doit cependant remarquer qu'aucune des prescriptions du RGPNI ou du RPPNS ne prévoyait ces documents et que l'obligation de disposer d'un dossier de stabilité ne figurait pas explicitement sur le permis de navigation de l'Arc en Ciel (certificat communautaire supplémentaire pour bateau de navigation intérieure), ce qui explique, en l'absence de précédents de l'accident de l'Arc en Ciel, que ce contrôle n'a pas été fait.

Par ailleurs, dès qu'il serait parvenu à l'aval de Rouen, l'Arc en Ciel aurait été en infraction vis-à-vis de son permis spécial de navigation qui prescrivait un dossier de stabilité relatif au chargement du bateau.

On doit en outre remarquer que la réglementation est peu explicite et peu lisible, aucune prescription sur la vérification de la stabilité d'un bateau à conteneurs n'apparaissant dans le RGPNI ou le RPPNS.

##### Évolution de la réglementation technique

Les textes en préparation permettront d'appliquer sur les voies navigables françaises les règles concernant la stabilité des bateaux chargés de conteneurs appliquées actuellement sur le Rhin. Ces règles sont notablement moins sévères pour les cargaisons fixées que pour les cargaisons non

fixées, telle que celle de l'Arc en Ciel, et l'enquête a montré que, si la cargaison de l'Arc en Ciel avait été fixée, l'accident aurait conduit à un chavirement complet, avec des conséquences beaucoup plus graves. Il apparaîtrait donc paradoxal que, dans le cas des cargaisons fixées, la réglementation future concernant la stabilité soit moins exigeante.

Il est à noter que l'arrêté de 1930 du Préfet de la Seine-Maritime qui, dans une modification établie en 2004 a prescrit l'application des prescriptions du règlement de visite du Rhin aux bateaux transportant des conteneurs en pontée dans les eaux maritimes de la Seine, prévoit que s'appliquent à toutes les cargaisons les règles concernant les conteneurs non fixés. Une réflexion approfondie s'impose lors de la formulation de cette réglementation.

L'enquête a par ailleurs montré que plusieurs dispositions concernant l'équipement du bateau (possibilité de disposer à chaque instant d'une indication précise de la gîte du bateau – communication entre les deux réservoirs de fuel, qui aurait dû être fermée) ont des incidences sur la stabilité du bateau.

#### **4.1.2- Analyse et orientations pour la prévention**

La réglementation actuellement en vigueur n'impose pas (en dehors du Rhin) au conducteur d'un bateau à conteneurs de vérifier effectivement la stabilité réelle du bateau, ni même de disposer à bord d'un document de méthode permettant cette vérification.

Cette obligation de vérification effective devrait normalement être appliquée sur tout le réseau navigable national pour les porte-conteneurs.

La transposition en cours de la directive devra permettre de compléter la réglementation concernant la stabilité des bateaux chargés de conteneurs. Il est important que les textes en préparation tiennent compte des leçons qui peuvent être tirées de l'accident de l'Arc en Ciel, notamment en ce qui concerne l'équipement des bateaux et la distinction, qui apparaît dans la directive à transposer, dans le mode de calcul suivant que les conteneurs sont fixés ou non fixés.

L'accident a par ailleurs montré qu'une règle liée au certificat de visite d'un bateau pouvait imposer au navigant des obligations de nature opérationnelle (dans le cas particulier, disponibilité d'un dossier de stabilité et vérification de la stabilité) qui ne figurent pas dans le règlement de police en vigueur en un lieu particulier du réseau de voies navigables. Cela rend difficile le contrôle effectué par le service de police de la navigation ; il convient donc de rappeler cette obligation dans le titre de navigation.

D'où les recommandations suivantes à l'administration responsable de la navigation intérieure (DGITM et SNS) :

**Recommandation R1 (DGITM) : Intégrer dans la réglementation de navigation fluviale applicable aux bateaux à conteneurs, l'obligation de détention de documents de méthode permettant de vérifier la stabilité du chargement et l'obligation de procéder à cette vérification après chaque chargement suffisamment important. Compléter les prescriptions concernant le dossier de stabilité telles que prévues dans le règlement de visite du Rhin et dans la directive européenne 2006/87/CE du 12 décembre 2006 par des dispositions concernant l'utilisation éventuelle d'un logiciel de vérification de la stabilité du bateau, logiciel qui devrait être vérifié et validé sous le contrôle de la commission de visite.**

**Recommandation R2 (DGITM, SNS) : Sensibiliser les services chargés de la police de la navigation sur les contrôles à effectuer pour garantir que les vérifications de la stabilité des bateaux chargés de conteneurs, compte tenu de la cargaison réelle, sont effectives et faire**

apparaître sur les permis de navigation des bateaux les obligations opérationnelles particulières non explicitées dans les règlements de police.

**Recommandation R3 (DGITM) : Engager une réflexion sur le bien fondé de la distinction établie par la directive 2006/87/CE dans les prescriptions concernant la stabilité des bateaux à conteneurs entre les cargaisons de conteneurs fixées et les cargaisons de conteneurs non fixées.**

## **4.2- La qualification et la formation des personnels de conduite des bateaux**

### **4.2.1- Les constats**

Le conducteur de l'Arc en Ciel était titulaire du certificat de capacité. Toutefois, les circonstances de l'accident ont été révélatrices de lacunes dans sa formation de base.

Sa connaissance des problèmes de stabilité des bateaux, particulièrement importante pour la conduite d'un porte-conteneurs, apparaît comme très insuffisante. La confusion qui est apparue dans ses explications entre gîte, assiette et stabilité le confirme.

Il ignorait la règle, qui figure dans le règlement de visite du Rhin et qui exige qu'un document relatif à la stabilité doit être à bord lors de chaque voyage pour une hauteur de plus de deux rangées de conteneurs, et qui devait s'appliquer à l'Arc en Ciel, titulaire d'un certificat du Rhin. Il ignorait également que cette obligation de disposer d'un dossier de stabilité s'appliquait à tous les bateaux autorisés à naviguer dans les eaux maritimes de la Seine, alors même que cela était rappelé dans le document l'autorisant à naviguer dans cette partie de la Seine navigable (permis de circulation spécial du 27/6/2006).

Par ailleurs, il n'avait pas une connaissance précise des installations techniques de son bateau en particulier du circuit de ballastage et de son incidence sur les risques de carènes liquides. C'était la première fois qu'il remplissait les caisses de ballast arrière.

Il aurait dû enfin être informé que la conduite réunissant les deux caisses à combustible devait être fermée en permanence pendant la navigation.

### **4.2.2- Analyse et orientations pour la prévention**

Il apparaît donc indispensable et urgent d'améliorer la formation des conducteurs des bateaux susceptibles de transporter des conteneurs ou des colis lourds aux questions concernant la stabilité des bateaux et l'effet du chargement sur cette stabilité. Une action de sensibilisation à ces questions doit être engagée.

D'où les recommandations suivantes à l'administration responsable de la navigation intérieure (DGITM) et à la profession (CAF) :

**Recommandation R4 (DGITM, CAF) : Assurer une formation spécifique pour le personnel navigant sur des bateaux transportant des conteneurs ou des colis lourds et encombrants. Cette formation, sanctionnée par une attestation, aurait pour objet de donner aux navigants une connaissance suffisante des phénomènes d'instabilité et de stabilité des bateaux, des paramètres commandant ces phénomènes et des risques encourus en cas de non respect des critères de stabilité.**

## **4.3- Le fonctionnement de la chaîne logistique**

### **4.3.1- Les constats**

Il a été observé que la connaissance des caractéristiques des conteneurs transportés par voie d'eau de la part des acteurs participant à l'organisation de ce transport était très imparfaite : les documents, sur lesquels apparaît le poids du conteneur dans les différentes phases de la préparation et de l'exécution du transport, se sont révélés, dans le cas des conteneurs transportés par l'Arc en Ciel non conformes à la réalité. Cette distorsion entre les poids affichés des conteneurs et la réalité semble très fréquente. Elle a déjà été relevée dans un rapport d'enquête du BEA Mer portant sur des pertes de conteneurs à la mer.

La vérification de la stabilité d'un bateau chargé de conteneurs ne peut être assurée si on ne dispose pas d'informations fiables sur les caractéristiques des conteneurs transportés.

Les caractéristiques des conteneurs connues, la stabilité dépend de leur répartition dans la cargaison. Il a été observé que les plans de chargement, établis en préparation d'un voyage et tenant compte à la fois de l'ordre prévisible de chargement et de déchargement des conteneurs, sont souvent exécutés par les opérateurs de manutention de manière différente sans qu'il soit procédé à une nouvelle vérification de la stabilité du bateau.

Au cours de l'exécution du chargement d'un bateau, des modifications à ce chargement, déjà en partie ou en totalité effectué, peuvent apparaître nécessaires pour garantir la sécurité du transport. Ces opérations sont coûteuses et peuvent entraîner des retards qui ont eux-mêmes de conséquences financières. L'imputation de ces charges peut avoir pour effet d'inciter certains acteurs à négliger certaines précautions indispensables à la sécurité.

### **4.3.2- Analyse et orientations pour la prévention**

Les actions à engager concernent l'ensemble des acteurs impliqués dans le transport. Elles doivent porter sur la clarification, notamment dans les documents contractuels, des responsabilités de chacun des éléments de la chaîne de transport sur l'exactitude des informations caractérisant les conteneurs à transporter et sur les moyens de contrôler ces informations.

D'où les recommandations suivantes à l'administration responsable de la navigation intérieure (DGITM), et aux professions concernées - chargeurs, transporteurs, manutentionnaires (Association française des ports intérieurs -AFPI-, Association des Utilisateurs de Transport de Fret -AUTF- ) :

**Recommandation R5 (DGITM, Association des Utilisateurs de Transport de Fret -AUTF) :** Rappeler aux différents acteurs de la chaîne de transport que les indications figurant dans les lettres de voiture accompagnant les conteneurs dans leur déplacement depuis leur lieu d'emportage jusqu'au point de chargement doivent être exactes notamment concernant les poids de ces conteneurs.

**Recommandation R6 (DGITM, Association française des ports intérieurs -AFPI) :** Équiper les portiques de chargement de conteneurs de moyens de peser les conteneurs au cours de leur chargement de manière à permettre de reconstituer un plan de chargement avec le poids exact de chacun des conteneurs et de vérifier la stabilité du bateau avant l'appareillage.

## **4.4- Le retour d'expérience en coopération avec les autres pays européens**

### **4.4.1- Les constats**

Il a été observé que l'accident de l'Arc en Ciel n'avait pas de précédent connu en France. Il faut cependant remarquer qu'un accident apparemment lié à la stabilité d'un bateau chargé de conteneurs, s'est produit sur le Rhin à Cologne un mois auparavant. Une trentaine de conteneurs sont tombés dans le fleuve et la navigation a dû être interrompue pendant 5 jours. Cet accident a eu une couverture médiatique assez large, mais aucune information officielle n'est encore disponible. A la suite de tels accidents, et dans des délais aussi courts que possible, un retour d'expérience partagé au niveau européen de l'ensemble des services chargés de la police de la navigation serait de nature à rendre leur prévention plus efficace.

### **4.4.2- Analyse et orientations pour la prévention**

Un renforcement et une formalisation des contacts à établir entre les autorités responsables de la sécurité de la navigation dans les différents pays européens apparaissent donc souhaitables.

**Recommandation R7 (DGITM) : Engager des discussions au niveau européen pour que les échanges d'informations entre les autorités concernées par la sécurité de la navigation dans les différents pays soient formalisés de manière à ce que, quand un accident fait apparaître un risque non suffisamment pris en compte, les autorités des autres pays soient rapidement informées dans le cadre d'un retour d'expérience partagé.**



## **5- Conclusions et recommandations**

### **5.1- Conclusions sur les causes de l'accident**

#### **5.1.1- Cause directe immédiate**

L'accident est la conséquence directe de l'instabilité de l'Arc en Ciel, du fait du poids et de la disposition de son chargement.

#### **5.1.2- Autres causes directes**

Le défaut de vérification de la stabilité du bateau avant son appareillage apparaît également comme une cause directe de l'accident.

#### **5.1.3- Facteurs ayant influencé le défaut de vérification de la stabilité de l'Arc en Ciel**

Ce défaut de vérification apparaît lié à trois facteurs :

- l'absence d'exigence réglementaire d'une telle vérification, sauf pour le parcours qui était prévu dans les eaux maritimes de la Seine, sous une forme par ailleurs peu claire ;
- le défaut de formation du conducteur sur les aspects liés à la stabilité ;
- l'absence de documentation à bord sur une méthode de vérification de la stabilité dans une forme compréhensible par le conducteur.

#### **5.1.4- Facteurs ayant influencé le chargement défectueux générateur d'instabilité**

Deux facteurs ont contribué à l'instabilité engendrée par le chargement :

- le caractère inadapté du logiciel utilisé par l'armateur pour vérifier le plan de chargement ;
- l'absence de vérification et de sanction en cas de chargement non conforme au plan de chargement ou d'écart important entre le poids du conteneur chargé et les indications données par le chargeur.

## **5.2- Recommandations**

Sept recommandations sont formulées à l'issue de l'enquête concernant 4 domaines, la réglementation, la formation des personnels, le fonctionnement de la chaîne logistique et le retour d'expérience partagé au niveau européen :

**Recommandation R1 (DGITM) : Intégrer dans la réglementation de navigation fluviale applicable aux bateaux à conteneurs, l'obligation de détention de documents de méthode permettant de vérifier la stabilité du chargement et l'obligation de procéder à cette vérification après chaque chargement suffisamment important. Compléter les prescriptions concernant le dossier de stabilité telles que prévues dans le règlement de visite du Rhin et dans la directive européenne 2006/87/CE du 12 décembre 2006 par des dispositions concernant l'utilisation éventuelle d'un logiciel de vérification de la stabilité du bateau, logiciel qui devrait être vérifié et validé sous le contrôle de la commission de visite.**

**Recommandation R2 (DGITM, SNS) : Sensibiliser les services chargés de la police de la navigation sur les contrôles à effectuer pour garantir que les vérifications de la stabilité des bateaux chargés de conteneurs, compte tenu de la cargaison réelle, sont effectives et faire**

apparaître sur les permis de navigation des bateaux les obligations opérationnelles particulières non explicitées dans les règlements de police.

**Recommandation R3 (DGITM) :** Engager une réflexion sur le bien fondé de la distinction établie par la directive 2006/87/CE dans les prescriptions concernant la stabilité des bateaux à conteneurs entre les cargaisons de conteneurs fixées et les cargaisons de conteneurs non fixées.

**Recommandation R4 (DGITM, CAF ) :** Assurer une formation spécifique pour le personnel navigant sur des bateaux transportant des conteneurs ou des colis lourds et encombrants. Cette formation, sanctionnée par une attestation, aurait pour objet de donner aux navigateurs une connaissance suffisante des phénomènes d'instabilité et de stabilité des bateaux, des paramètres commandant ces phénomènes et des risques encourus en cas de non respect des critères de stabilité.

**Recommandation R5 (DGITM, Association des Utilisateurs de Transport de Fret -AUTF) :** Rappeler aux différents acteurs de la chaîne de transport que les indications figurant dans les lettres de voiture accompagnant les conteneurs dans leur déplacement depuis leur lieu d'emportage jusqu'au point de chargement doivent être exactes notamment concernant les poids de ces conteneurs.

**Recommandation R6 (DGITM, Association française des ports intérieurs -AFPI) :** Équiper les portiques de chargement de conteneurs de moyens de peser les conteneurs au cours de leur chargement de manière à permettre de reconstituer un plan de chargement avec le poids exact de chacun des conteneurs et de vérifier la stabilité du bateau avant l'appareillage.

**Recommandation R7 (DGITM) :** Engager des discussions au niveau européen pour que les échanges d'informations entre les autorités concernées par la sécurité de la navigation dans les différents pays soient formalisés de manière à ce que, quand un accident fait apparaître un risque non suffisamment pris en compte, les autorités des autres pays soient rapidement informées dans le cadre d'un retour d'expérience partagé.

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Cartes

Annexe 3 : Textes réglementaires concernant la stabilité des bateau à conteneurs

Annexe 4 : Les plans de chargement de l'Arc en Ciel

Annexe 5 : Rappel des méthodes de calcul de la stabilité d'un bateau et application au cas de l'Arc en Ciel

Annexe 6 : Etude de la stabilité du porte-conteneurs Arc en Ciel. Résultats des calculs du Bureau Veritas

Annexe 7 : Photos



# Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



BEA-TT 2007-006

ministère  
des Transports  
de l'Équipement  
du Tourisme  
et de la Mer



Conseil général  
des Ponts  
et Chaussées  
Bureau d'Enquêtes  
sur les Accidents de  
Transport Terrestre  
Le Directeur

## DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre ;

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 modifiée relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;

Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de l'accident survenu le 22 avril 2007 à proximité de Porte-Joie (Eure) et la demande du ministre chargé des transports en date du 25 avril 2007 ;

## DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 susvisée, est ouverte par le BEA-TT concernant l'accident impliquant le bateau automoteur « Arc-en-Ciel », au cours duquel celui-ci a perdu 30 containers sur la Seine à proximité de la commune de Porte-Joie (Eure) le 22 avril 2007.

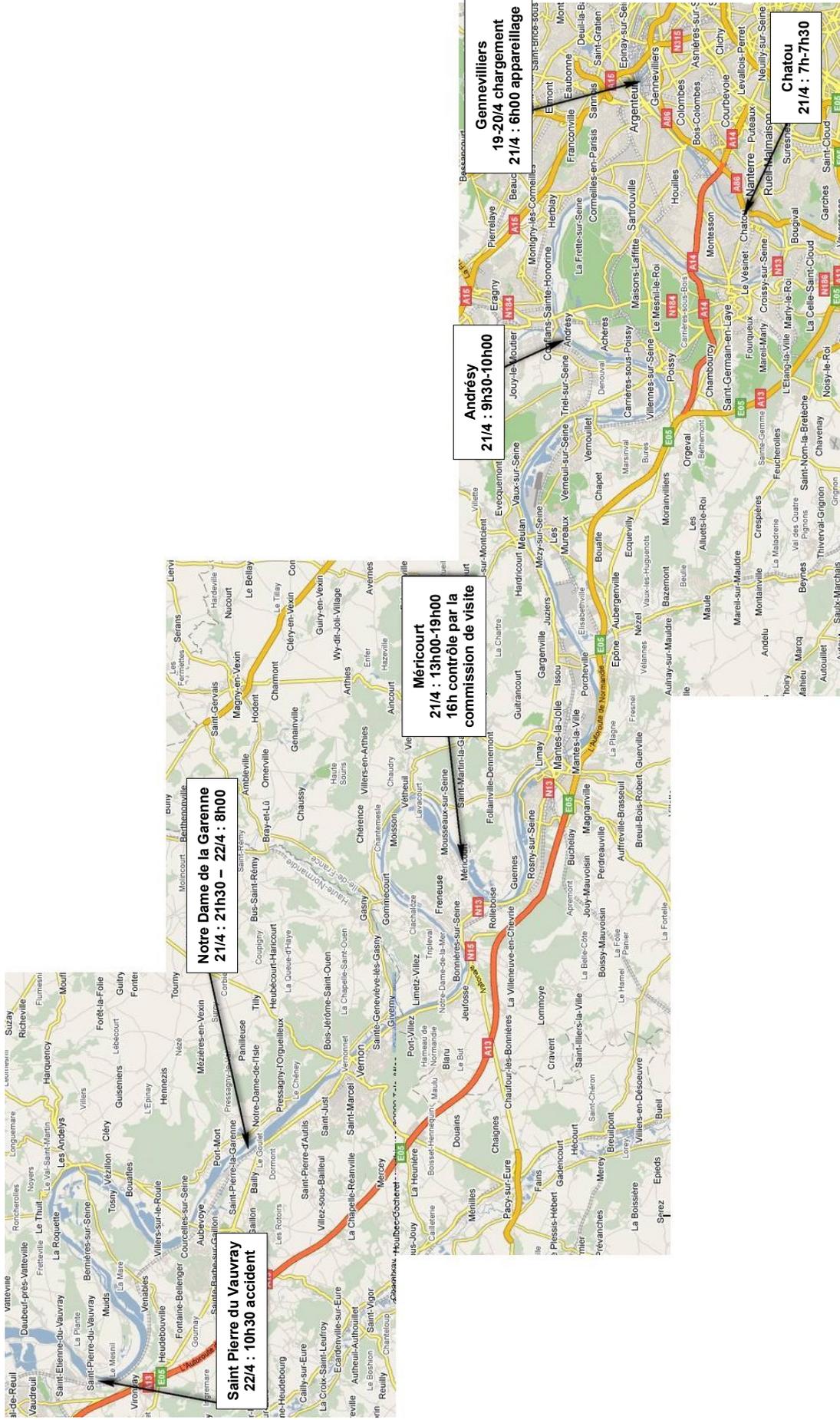
Fait à Paris, le 25 avril 2007

Le Directeur du bureau d'enquêtes sur les  
accidents de transport terrestre,

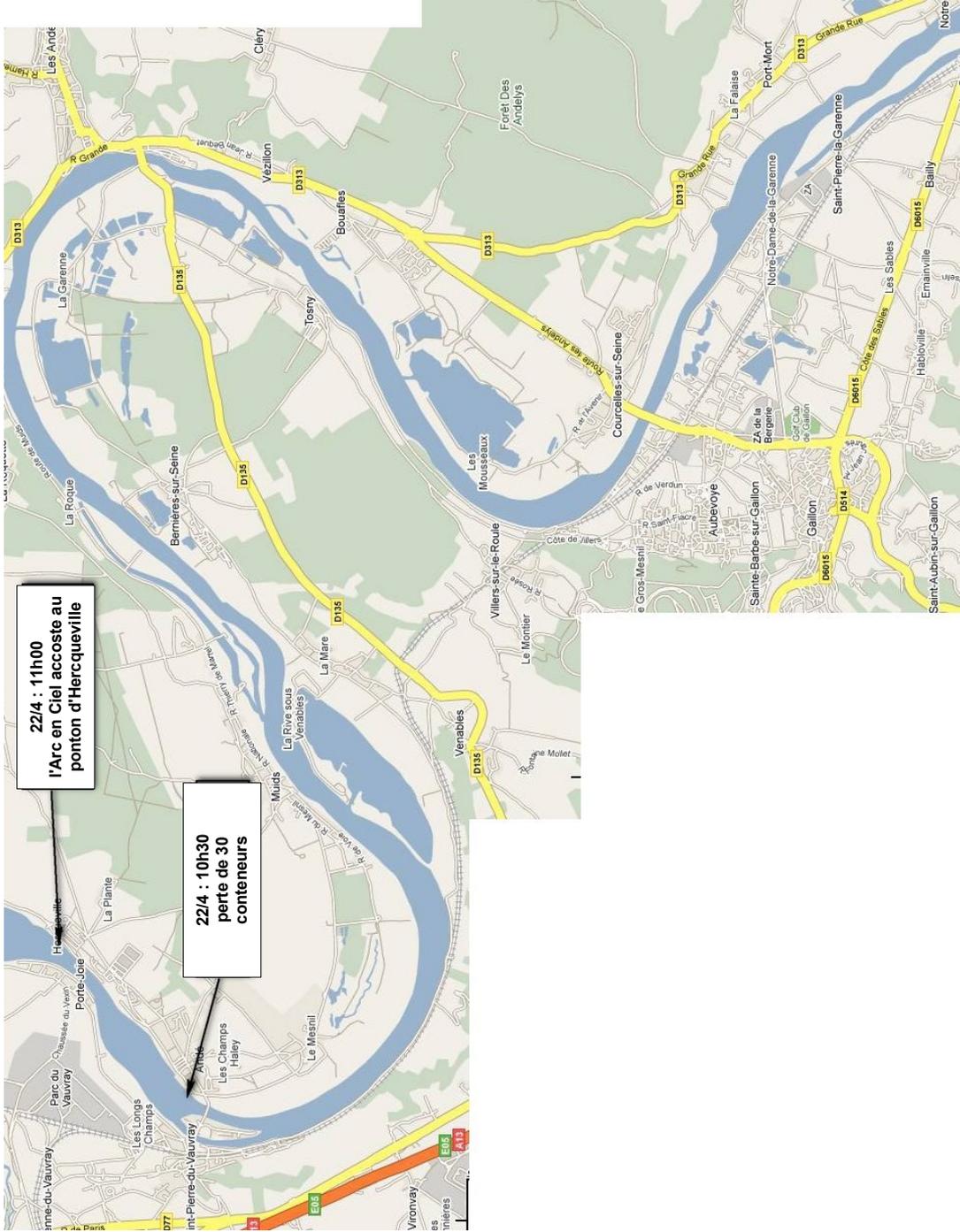
Jean Gérard KOENIG

Tour Pascal B  
92055 La Défense cedex  
téléphone :  
01 40 81 23 27  
télécopie :  
01 40 81 21 50  
courriel :  
Cgpc.Beatt  
@equipement.gouv.fr

## Annexe 2 : Cartes annexe 2-1 : Itinéraire de l'Arc en Ciel



# Annexe 2-2 : L'accident



## Annexe 3 : Textes réglementaires concernant la stabilité des bateaux à conteneurs

### Annexe 3-1 : règlement de visite des bateaux du Rhin (extrait)

#### CHAPITRE 22

#### STABILITE DES BATEAUX TRANSPORTANT DES CONTENEURS

##### Article 22.01

###### *Généralités*

1. Les dispositions du présent chapitre sont applicables aux bateaux transportant des conteneurs lorsque les documents relatifs à la stabilité sont exigés en vertu du Règlement de police pour la navigation du Rhin.

Les documents relatifs à la stabilité doivent être vérifiés par une Commission de visite et revêtus du visa de celle-ci.

2. Les documents relatifs à la stabilité doivent fournir des renseignements compréhensibles pour le conducteur sur la stabilité du bateau dans chaque cas de chargement de conteneurs.

Les documents relatifs à la stabilité doivent comporter au moins :

- a) les tableaux des coefficients de stabilité admissibles, des valeurs KG admissibles ou des hauteurs admissibles du centre de gravité de la cargaison ;
- b) les données relatives aux volumes pouvant être remplis d'eau de ballastage ;
- c) les formulaires pour le contrôle de stabilité ;
- d) un exemple de calcul ou un mode d'emploi pour le conducteur.

3. Dans le cas de bateaux susceptibles de transporter alternativement des conteneurs fixés ou des conteneurs non fixés, des documents séparés relatifs à la stabilité sont exigés pour le transport de conteneurs fixés et pour le transport de conteneurs non fixés.

4. Une cargaison de conteneurs est considérée comme fixée lorsque chaque conteneur individuel est solidement relié à la coque du bateau par des glissières ou des tendeurs et que sa position ne peut se modifier pendant la navigation.

##### Article 22.02

###### *Conditions limites et mode de calcul pour la justification de la stabilité des bateaux transportant des conteneurs non fixés*

1. Dans le cas de conteneurs non fixés, tout mode de calcul appliqué pour déterminer la stabilité du bateau doit être conforme aux conditions limites suivantes :

- a) La hauteur métacentrique MG ne doit pas être inférieure à 1,00 m.
- b) Sous l'action conjuguée de la force centrifuge résultant de la giration du bateau, de la poussée du vent et surfaces libres occupées par de l'eau, l'angle d'inclinaison ne doit pas être supérieur à 5° et le côté du point ne doit pas être immergé.
- c) Le bras de levier d'inclinaison résultant de la force centrifuge due à la giration du bateau doit être déterminé selon la formule :

$$h_{KZ} = c_{KZ} \cdot \frac{v^2}{L_F} \cdot \left( KG - \frac{T'}{2} \right) \quad [m].$$

Dans cette formule

$c_{KZ}$  = paramètre ( $c_{KZ} = 0,04$ ) [ $s^2/m$ ] ;

$v$  = plus grande vitesse du bateau [ $m/s$ ] ;

$\overline{KG}$  = hauteur du centre de gravité du bateau chargé au-dessus de la base [ $m$ ] ;

$T'$  = tirant d'eau moyen du bateau chargé [ $m$ ].

d) Le bras de levier d'inclinaison résultant de la poussée du vent doit être déterminé selon la formule :

$$h_{KW} = c_{kw} \cdot \frac{A'}{D'} \cdot \left( l_w + \frac{T'}{2} \right) \quad [m].$$

Dans cette formule :

$c_{kw}$  = paramètre : ( $c_{kw} = 0,025$ ) [ $t/m^2$ ] ;

$A'$  = surface latérale au-dessus de l'eau le bateau étant chargé [ $m^2$ ] ;

$D'$  = déplacement du bateau chargé [ $t$ ] ;

$l_w$  = hauteur du centre de gravité de la surface latérale  $A'$  au-dessus de l'eau par rapport au plan d'eau [ $m$ ] ;

$T'$  = tirant d'eau moyen du bateau chargé [ $m$ ].

e) Le bras de levier d'inclinaison résultant des surfaces libres exposées à l'eau de pluie et aux eaux résiduaires à l'intérieur de la cale ou du double fond doit être déterminé selon la formule :

$$h_{KfO} = \frac{c_{KfO}}{D'} \cdot \sum (b \cdot l \cdot (b - 0,55 \sqrt{b})) \quad [m]$$

Dans cette formule

$c_{KfO}$  = paramètre ( $c_{KfO} = 0,015$ ) [ $t/m^2$ ] ;

$b$  = largeur de la cale ou de la section de cale considérée [ $m$ ] ;\*

$l$  = longueur de la cale ou de la section de cale considérée [ $m$ ] ;\*

$D'$  = déplacement du bateau chargé [ $t$ ].

f) Pour chaque cas de chargement il faut prendre en compte la moitié de l'approvisionnement en carburant et en eau douce.

2. La stabilité d'un bateau chargé de conteneurs non fixés est considérée comme suffisante lorsque la  $KG$  effective est inférieure ou égale à la  $KG_{zul}$  résultant de la formule. La  $KG_{zul}$  doit être calculée pour différents déplacements couvrant l'ensemble des enfoncements possibles :

---

\*Les sections de cale donnant des surfaces libres exposées à l'eau proviennent du compartimentage longitudinal ou transversal étanche à l'eau formant des sections indépendantes.

$$a) \overline{KG_{zul}} = \frac{\overline{KM} + \frac{B_F}{2F} \cdot (Z \cdot \frac{T_m}{2} - h_{KW} - h_{KfO})}{\frac{B_F}{2F} \cdot Z + 1} \quad [m].$$

Pour  $\frac{B_F}{2F}$  il ne sera pas pris de valeur inférieure à 11,5 ( $11,5 = 1/\tan 5^\circ$ ).

$$b) \overline{KG_{zul}} = \overline{KM} - 1,00 \quad [m].$$

La plus petite valeur de  $\overline{KG_{zul}}$  selon la formule a) ou la formule b) est déterminante.

Dans les formules

$\overline{KG_{zul}}$  = hauteur maximum admissible du centre de gravité du bateau chargé au-dessus de la base [m] ;

$\overline{KM}$  = hauteur du métacentre\* au-dessus de la base [m] selon la formule approchée du chiffre 3 ;

F = franc-bord effectif à 1/2 L [m] ;

Z = paramètre pour la force centrifuge résultant de la giration ;

$$Z = \frac{(0,7 \cdot v)^2}{9,81 \cdot 1,25 \cdot L_F} = 0,04 \cdot \frac{v^2}{L_F} \quad [-]$$

v = vitesse maximale du bateau par rapport à l'eau [m/s] ;

$T_m$  = tirant d'eau moyen [m] ;

$h_{KW}$  = bras de levier d'inclinaison résultant de la pression de vent latéral (cf. chiffre 1, lettred) [m] ;

$h_{KfO}$  = somme des bras de levier d'inclinaison résultant des surfaces libres occupées par de l'eau (selon chiffre 1, lettre e) [m].

### 3. Formule d'approximation pour KM

Lorsqu'un plan des courbes n'est pas disponible, la valeur KM pour le calcul selon le chiffre 2 et l'article 22.03, chiffre 2, peut être déterminée par exemple à partir des formules d'approximation suivantes :

\* Terme figurant au glossaire

a) bateaux en forme de ponton

$$\overline{KM} = \frac{B_F^2}{(12,5 - \frac{T_m}{H}) \cdot T_m} + \frac{T_m}{2} \text{ [m]};$$

b) autres bateaux

$$\overline{KM} = \frac{B_F^2}{(12,7 - 1,2 \cdot \frac{T_m}{H}) \cdot T_m} + \frac{T_m}{2} \text{ [m]}.$$

### Article 22.03

*Conditions limites et mode de calcul pour la justification de la stabilité des bateaux transportant des conteneurs fixés*

1. Dans le cas de conteneurs fixés tout mode de calcul appliqué pour déterminer la stabilité du bateau doit être conforme aux conditions limites suivantes :

- La hauteur métacentrique MG ne doit pas être inférieure à 0,50 m.
- Sous l'action conjuguée de la force centrifuge résultant de la giration du bateau, de la poussée du vent et des surfaces libres occupées par de l'eau, aucune ouverture de la coque ne doit être immergée.
- Les bras de levier d'inclinaison résultant de la force centrifuge due à la giration du bateau, de la poussée du vent et des surfaces libres exposées à l'eau doivent être déterminés selon les formules visées à l'article 22.02, chiffre 1, lettres c) à e).
- Pour chaque cas de chargement, il faut prendre en compte la moitié de l'approvisionnement en carburant et en eau douce.

2. La stabilité d'un bateau chargé de conteneurs fixés est considérée comme suffisante lorsque la KG effective est inférieure ou égale à la KG<sub>zul</sub> résultant de la formule, KG<sub>zul</sub> étant calculée pour les différents déplacements résultant de la variation possible de hauteur.

a)

$$\overline{KG}_{zul} = \frac{\overline{KM} - \frac{I - i}{2V} (1 - 1,5 \frac{F}{F'}) + 0,75 \frac{B_F}{F'} (Z \cdot \frac{T_m}{2} - h_{KW} - h_{K\alpha})}{0,75 \cdot \frac{B_F}{F'} \cdot Z + 1} \text{ (m)}$$

Pour  $\frac{B_F}{F'}$  il ne sera pas pris de valeur inférieure à 6,6 et

pour  $\frac{I - i}{2\forall} \cdot (1 - 1,5 \frac{F}{F'})$  pas de valeur inférieure à 0.

b)  $\overline{KG}_{zul} = \overline{KM} - 0,50$  (m)

La plus petite valeur de  $\overline{KG}_{zul}$  selon a) et b) est déterminante.

Outre les termes définis antérieurement, dans ces formules :

I = moment d'inertie transversal de la ligne de flottaison  $T_m$  [m<sup>4</sup>], (pour la formule d'approximation voir chiffre 3) ;

i = moment d'inertie transversal de la ligne de flottaison parallèle à la base, à la hauteur

$$\frac{I - i}{2\forall} \cdot (1 - 1,5 \frac{F}{F'})$$

$\forall$  = déplacement du bateau à  $T_m$  [m<sup>3</sup>] ;

$F'$  = franc-bord idéal  $F' = H' - T_m$  [m] ou  $F' = \frac{a \cdot B_F}{2 \cdot b}$  [m] la plus petite valeur est déterminante ;

a = distance verticale entre l'arête inférieure de l'ouverture immergée en premier lieu en cas d'inclinaison et la ligne de flottaison en position normale du bateau [m] ;

b = distance de cette même ouverture à partir du milieu du bateau [m] ;

$H'$  = creux idéal  $H' = H + \frac{q}{0,9 \cdot L \cdot B_F}$  [m];

q = somme des volumes des roufs, écoutilles, trunks et autres superstructures jusqu'à une hauteur de 1,0 m au-dessus de H ou jusqu'à l'ouverture la plus basse du volume considéré, la plus petite valeur étant déterminante. Des parties de volumes situées dans un secteur de 0,05 L à partir des extrémités du bateau ne sont pas prises en considération [m<sup>3</sup>].

### 3. Formule d'approximation pour I

Lorsqu'il n'y a pas de plan des courbes, la valeur nécessaire au calcul, visé au chiffre 2, du moment I d'inertie latéral de la ligne de flottaison ci-dessus peut être obtenue à partir des formules d'approximation suivantes :

a) bateaux en forme de ponton

$$I = \frac{B_F^2 \cdot \forall}{T_m} [m^4];$$

$$(12,5 - \frac{T_m}{H}) \cdot T_m$$

b) autres bateaux

$$I = \frac{B_F^2 \cdot \nabla}{(12,7 - 1,2 \cdot \frac{T_m}{H}) \cdot T_m} \quad [m^4].$$

**Article 22.04**

*Procédure relative à l'appréciation de la stabilité à bord*

La procédure relative à l'appréciation de la stabilité peut être déterminée à partir des documents visés à l'article 22.01, chiffre 2.

## **Annexe 3-2 : règlement de police du Rhin (extrait)**

### **Article 1.07**

*Exigences relatives au chargement et à la visibilité ; nombre maximal de passagers*

4. En outre, la stabilité des bâtiments transportant des conteneurs doit être vérifiée avant le départ pour les cas suivants :

a) pour les bâtiments d'une largeur inférieure à 9,50 m lorsque les conteneurs sont chargés en plus d'une seule couche ;

b) pour les bâtiments d'une largeur égale ou supérieure à 9,50 m et inférieure à 11,00 m lorsque les conteneurs sont chargés en plus de deux couches ;

c) pour les bâtiments d'une largeur égale ou supérieure à 11,00 m

- lorsque les conteneurs sont chargés en plus de trois largeurs et plus de deux couches

ou

- lorsque les conteneurs sont chargés en plus de trois couches.

....

**Annexe 3-3 : Arrêté préfectoral du 13 janvier 1930 modifié par les arrêtés préfectoraux des 12 décembre 1935, 17 août 1965 et 14 septembre 2004 formant règlement particulier pour l'application du décret du 17 janvier 1928 (extrait)**

**Article 6bis - chargement en comble** (modifié par l'arrêté préfectoral de la Seine Maritime du 14 septembre 2004)

Le chargement des bateaux en comble devra être effectué de telle façon que, de son poste de pilotage, le conducteur puisse avoir devant lui une zone de visibilité qui ne soit pas masquée sur plus d'une fois et demie (1,5) la longueur du bateau .

**Des documents relatifs à la stabilité doivent être à bord de tout bateau ou de toute barge poussée ou remorquée transportant des conteneurs sur plusieurs hauteurs. Les conditions limites et modes de calcul pour la justification de la stabilité des bateaux transportant des conteneurs sont définies au chapitre 22 du règlement de visite des bateaux du Rhin publié par décret n° 95-535 du 5 mai 1995 en prenant en référence le mode de calcul pour conteneurs non fixés. Les tableaux des coefficients de stabilité admissibles, des valeurs des KG admissibles ou des hauteurs admissibles du centre de gravité de la cargaison devront être à bord des automoteurs ou des pousseurs dans le cas des convois. Ces documents devront être approuvés par un expert agréé par le ministère chargé des transports ou par une Société de classification.**

**Annexe 4 : Les plans de chargement de l'Arc en Ciel**  
**Annexe 4-1 : Plan de chargement remis à Paris Terminal (poids en tonnes)**

	Repérage	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Tonnage chargé par couche
Couche N°4	P	22,820		22,440		22,420		23,140		26,920		29,500		147,240
	O	22,240		21,440		22,300		25,060		21,820		25,640		138,500
	N	22,280		20,200		26,480		27,020		24,080		24,060		144,120
	M	22,360		22,500		21,740		24,000		24,500		24,500		139,600
														569,460
Couche N°3	L	24,360		22,340		22,220		26,740		25,570		26,000		147,230
	K	26,000		22,220		27,000		22,820		29,500		27,000		154,540
	J	24,480		20,120		25,420		23,920		28,240		27,000		149,180
	I	24,360		21,280		24,360		25,570		24,000		25,180		144,750
	<b>ARRIERE</b>													<b>AVANT</b>
Couche N°2	H	12,000		4,000		21,957		27,000		27,000		24,560		116,517
	G	12,000		23,860		29,500		25,000		24,000		12,000		126,360
	F	22,500		24,940		23,220		25,000		23,496		12,000		131,156
	E	12,000		4,000		23,899		21,220		27,000		26,000		114,119
														488,152
Couche N°1	D	12,000		27,000		23 794		23,940		23,420		20,000	20,000	150,154
	C	20,000	2,000	27,640		18,980	21,220	20,560	22,440	12,000	20,000	20,000	20,000	184,840
	B	20,000	2,000	22,300	12,000	7,000	25,000	21,800	22,000	12,000	20,000	20,000	20,000	184,100
	A	12,000		23,880		23 284		23,160		23,340		20,000	20,000	145,664
														664,758
I		315,400	342,160		409,794		430,390		376,886		443,440		2318,070	

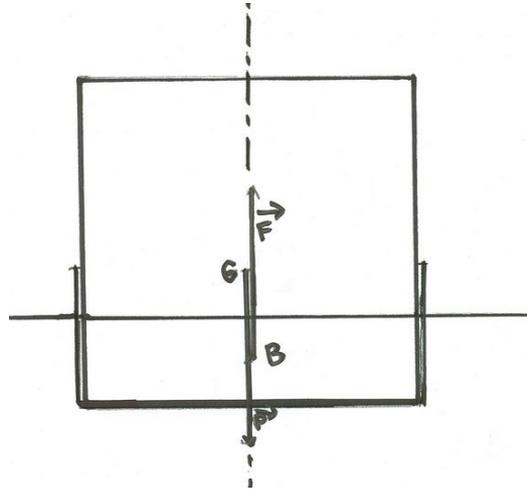
**Annexe 4-2 : Plan relevé par le conducteur de l'Arc en Ciel d'après les indications de poids figurant dans la lettre de voiture**

	Repérage	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Tonnage chargé par couche
Couche N°4	P	24,080		25,000		25,570		24,940		25,180		27,640		152,410
	0	29,500		27,000		21,280		27,000		24,500		26,000		155,280
	N	22,300		22,220		20,200		29,500		22,500		22,820		139,540
	M	22,360		23,920		21,820		24,360		22,500		25,640		140,600
														587,830
Couche N°3	L	24,560		22,240		26,480		22,220		20,120		25,420		141,040
	K	22,280		24,000		24,360		22,420		24,360		22,340		139,760
	J	24,500		27,500		21,740		26,920		24,060		24,480		149,200
	I	29,500		24,000		25,080		26,000		27,020		22,440		154,040
	<b>ARRIERE</b>													<b>584,040</b>
Couche N°2	H	12,000		23,880		21,957		23,940		27,000		23,220		131,997
	G	12,000		21,440		25,570		26,000		28,240		12,000		125,250
	F	26,740		24,000		22,820		20,560   25,000		23,496		12,000		154,616
	E	12,000		27,000		23,899		27,000		23,420		4,000		117,319
														529,182
Couche N°1	D	12,000		4,000		23,794		27,000		23,160		20,000   20,000		129,954
	C	20,000   2,000		23,860		23,140		20,560   20,440		12,000		20,000   20,000		162,000
	B	20,000   2,000		22,300   12,000		7,000   21,220		21,800   22,000		12,000		20,000   20,000		180,320
	A	12,000		25,000		23,284		23,340		21,220		20,000   20,000		144,844
														617,118
		329,820		379,360		379,214		461,000		360,776		408,000		2318,170



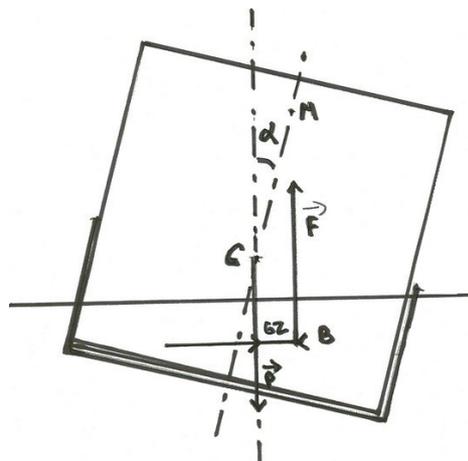
## Annexe 5 : Rappel des méthodes de calcul de la stabilité d'un bateau et application au cas de l'Arc en Ciel

### 1-Rappel des principales notions sur la stabilité des bateaux



La figure ci-dessus présente un bateau à l'équilibre sous l'effet de son poids  $P$  appliqué au centre de gravité  $G$  de l'ensemble constitué par le bateau et sa cargaison, et de la poussée d'Archimède  $F$ , appliquée au centre de carène  $B$  (centre de gravité du volume du bateau située sous la ligne de flottaison).

La figure suivante montre le même bateau qui a été écarté de l'équilibre avec une gîte d'angle  $\alpha$ . Le centre de carène  $B$  s'est déplacé et les deux forces  $P$  et  $F$ , dont les lignes d'action sont écartées d'une valeur  $GZ$ , exercent un couple tendant à redresser le bateau égal à  $P \times GZ$ .  $GZ$  est le bras de levier de ce couple de redressement.



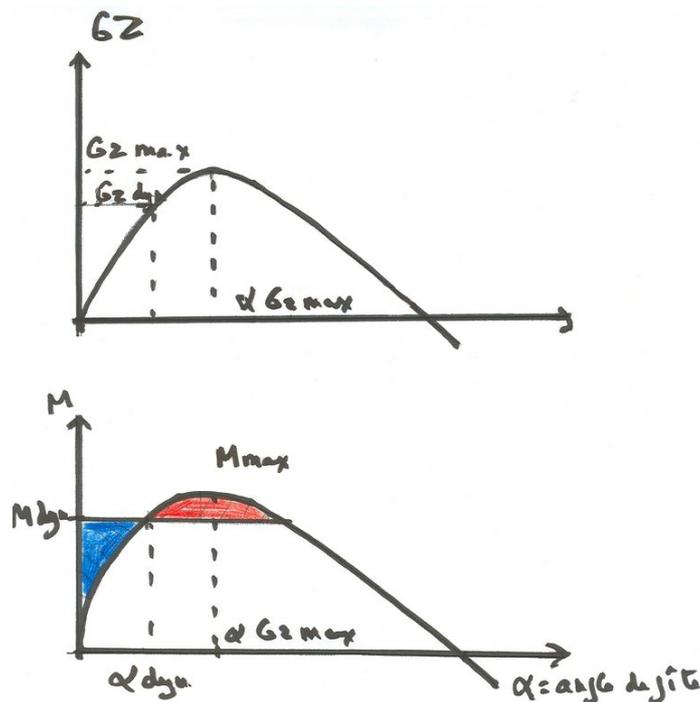
Le point de concours  $M$  entre la verticale du point  $B$ , ligne d'application de la poussée d'Archimède, et l'axe du bateau (ligne liée au bateau passant par le centre de gravité du bateau et verticale à l'équilibre), est appelé métacentre. La distance  $GM$  est appelée hauteur métacentrique.

Pour les petites valeurs de  $\alpha$ , la position du point M et la hauteur métacentrique sont sensiblement constantes. Si GM est la hauteur métacentrique pour les petites valeurs de  $\alpha$ , GZ et le moment de redressement M s'obtiennent par les formules suivantes :

$$GZ = GM \cdot \sin\alpha \quad (1)$$

$$M = P \cdot GM \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

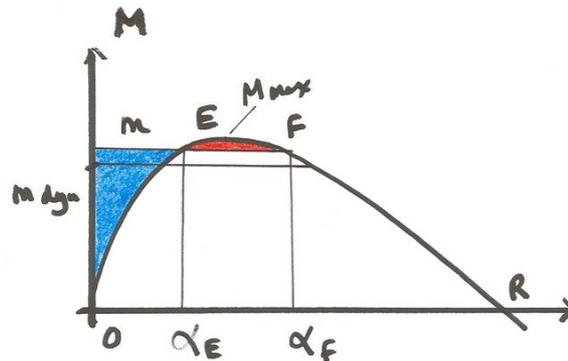
Pour les valeurs plus grandes de  $\alpha$ , la hauteur métacentrique diminue et la valeur de GZ et du moment de redressement passent par un maximum  $GZ_{max}$  et  $M_{max}$ , comme il apparaît sur les schémas suivants:



Sur le second de ces schémas apparaît un angle de stabilité dynamique,  $\alpha_{dyn}$ , correspondant à un moment dynamique de renversement  $M_{dyn}$  et à un bras de levier dynamique,  $GZ_{dyn}$ . La valeur de cet angle de stabilité dynamique est telle que les deux aires colorées en bleu et en rouge sur le deuxième schéma sont égales.

Supposons que l'on applique au bateau, partant de sa position d'équilibre à gîte nulle (point 0, sur la figure ci-après), un moment de renversement M légèrement supérieur à  $M_{dyn}$ , mais inférieur au moment  $M_{max}$  qui en statique est nécessaire pour compenser le moment maximum de redressement et donc conduire au chavirement du bateau (ce moment peut être causé par la force centrifuge au cours d'un virage, ou par un déséquilibre dû à un brusque déplacement du chargement). Le point représentant le mouvement du bateau sur le graphe représentant le moment de redressement du bateau en fonction de sa gîte va suivre le parcours O E F R. Pendant la première partie du mouvement (trajet OE sur le graphe) le moment de renversement est supérieur au moment de redressement et la différence donne au bateau une énergie cinétique de rotation proportionnelle à

l'aire de la surface coloriée en bleu. Pendant la seconde partie du mouvement (trajet EF sur le graphe), le moment de redressement est supérieur au moment de renversement mais l'énergie cinétique acquise est disponible pour compléter  $M_{dyn}$  et poursuivre le mouvement. Cette énergie cinétique se déduit à proportion de l'aire coloriée en rouge sur le graphe ci après. Cette aire coloriée en rouge étant inférieure à l'aire coloriée en bleu, l'énergie cinétique ne s'annule pas et la vitesse de basculement du bateau passe par un minimum lorsque la gîte atteint la valeur  $\alpha_F$  (point F) puis recommence à augmenter quand le moment de renversement devient supérieur au moment de redressement.



## 2-Application au bateau Arc en Ciel

Les calculs qui ont été effectués par le Bureau Veritas ont été conduits pour le cas de chargement « réel et pesé », le plus proche de la réalité. :

angle de gîte à l'équilibre :  $2,55^\circ$  sur tribord

Hauteur métacentrique  $GM$  (à l'équilibre,  $\alpha=2,55^\circ$ ) : 36,9 cm

Angle  $Gz_{max}$   $\alpha_{max}$  :  $7,412^\circ$

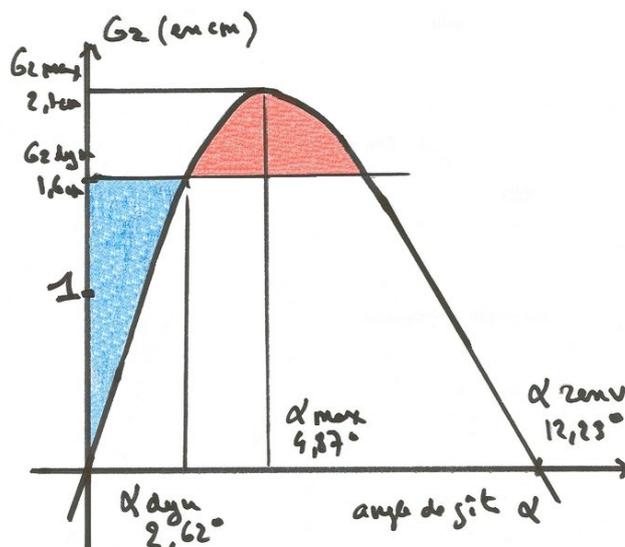
$GZ_{max}$  : 2,1 cm

Angle de stabilité dynamique ( $\alpha_{dyn}$ ) :  $5,162^\circ$

Angle de renversement ( $\alpha_{renv}$ , pour  $GZ=0$ ) :  $14,776^\circ$

A noter que la position d'équilibre correspond à un angle de gîte de  $2,55^\circ$  qui n'a pas été observé (des différences de tirant d'eau entre bâbord et tribord de l'ordre de 20 à 30 cm ont été notées au cours du voyage, soit 1 à  $1,5^\circ$ , la gîte étant d'abord observée sur bâbord). Cela peut s'expliquer par des incertitudes sur les poids des conteneurs (la pesée des conteneurs qui ont été immergées ne renseigne pas sur leur poids avant leur chute et ces poids ont dû être estimés) ainsi que par l'incertitude sur la position exacte des centres de gravité de chaque conteneurs.

Ces incertitudes sur les poids des conteneurs, ainsi que celles qui résultent de l'ignorance, pour chaque conteneur, de la position exacte du centre de gravité, font que ce calcul ne peut donner qu'un ordre de grandeur des paramètres de stabilité du bateau. Les développements ci-après n'ont pour objet que d'expliquer qualitativement les phénomènes sans prétendre évaluer de manière précise les forces qui ont entraîné la perte des 30 conteneurs.



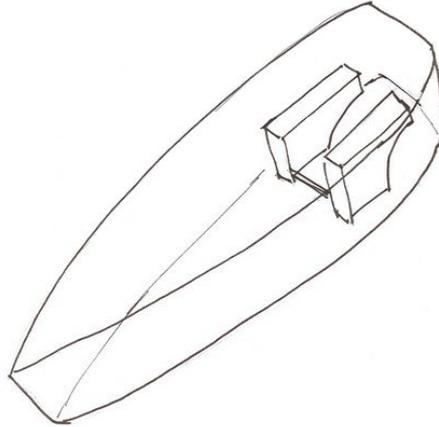
Les paramètres disponibles permettent de tracer le graphique angle de gîte, GZ ( Le graphique ci-dessus reprend les paramètres calculés, compte non tenu de l'angle de gîte à l'équilibre, qui n'a pas été observé):

#### 2-1 Effet des mouvements de combustible entre les deux réservoirs

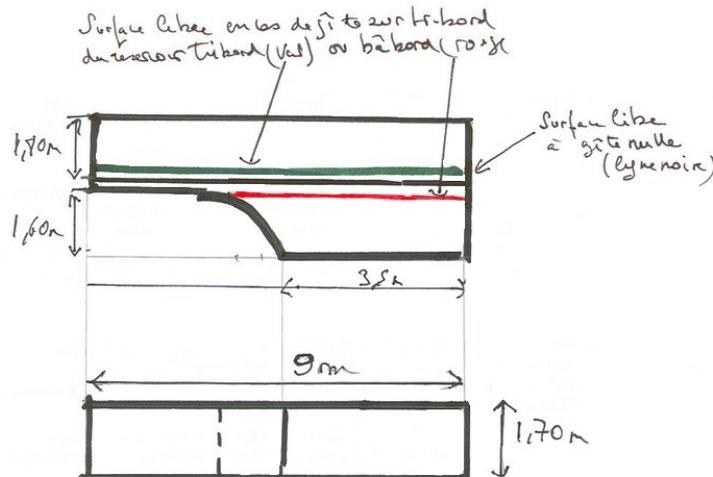
Rappel des faits (voir témoignage du conducteur de l'Arc en Ciel, en §2.1.1 ) : après son chargement, la gîte du bateau devait être faible, puisqu'elle n'a pas été remarquée. A cours de son premier trajet de Gennevilliers vers l'écluse d'Andrésey (de 6h à 10h30), l'Arc en ciel a pris une gîte de 20cm sur bâbord. A l'arrivée à l'écluse d'Andrésey, vers 10h30 il redresse son bateau pour prendre une légère gîte sur tribord. A 16h, il a pris sur tribord une gîte à peu près équivalente à celle qu'il avait précédemment sur bâbord. Après une nouvelle manoeuvre de ballast, le bateau est de nouveau redressé en conservant une gîte plus modérée sur tribord. A partir de Notre Dame de la garenne, cette gîte commence à diminuer. La gîte devient stable quand la communication entre les deux réservoirs de combustible, bâbord et tribord, est fermée.

#### Explications

La réserve de combustible est constituée de deux réservoirs situés de part et d'autre du bateau, à une distance d'environ 9,5m. Un tuyau, muni d'une vanne de fermeture, permet la communication entre ces deux réservoirs, il était ouvert pendant la plus grande partie du voyage qui a précédé l'accident. La disposition des réservoirs par rapport au bateau est schématisée dans le dessin suivant :



La forme et les dimensions de chacun des réservoir sont présentées sur le plan suivant. Il a été relevé après l'accident qu'il y avait  $20 \text{ m}^3$  dans les cuves soit  $10 \text{ m}^3$  dans chaque réservoir quand la gîte du bateau est nulle, ce qui correspond à une position de la surface libre telle que présentée sur le plan (trait noir pour la surface libre à gîte nulle, trait vert ou rouge, pour la surface libre des réservoirs tribord et bâbord en cas de gîte sur tribord)



Sur la partie supérieure, la section des réservoirs est de  $9 \text{ m} \times 1,70 \text{ m}$ , sur la partie inférieure, la longueur des réservoir est comprise entre  $4,5 \text{ m}$  et  $3,5 \text{ m}$  (voir plans).

Si, en supposant que la surface libre se trouve dans les deux réservoirs dans la partie à section constante, le bateau, ayant une gîte donnée, prend une gîte entraînant une différence supplémentaire de niveau entre les deux caisses à combustible égale à  $1 \text{ cm}$ , un volume égal à  $0,01 \times 9 \times 1,7 = 0,153 \text{ m}^3$ , soit environ  $0,14 \text{ t}$  de fuel, passe d'un réservoir à un autre entraînant un couple tendant à augmenter le basculement du bateau égal à  $0,14 \times 9,5 = 1,33 \text{ tm}$ , soit, pour un déplacement du bateau de  $3360 \text{ t}$ , un bras de levier de  $0,037 \text{ cm}$ . Ce moment de renversement induit, pour une valeur du GM de  $36 \text{ cm}$ , un basculement d'angle  $\alpha$ ,  $\sin \alpha = 0,037/36 = 0,0011$ , ce qui pour une largeur de  $9,50 \text{ m}$  correspond à un déplacement supplémentaire de  $1,01 \text{ cm}$ . On voit que le mouvement s'entretient et qu'il se poursuit jusqu'à ce que la section plus petite du réservoir supérieurs soit atteinte par la surface libre du fuel. On vérifie aisément que quand cette section est

atteinte, le mouvement ne s'entretient plus.

A gîte donnée, la consommation de fuel fait baisser simultanément les niveaux des deux réservoirs. Dans l'hypothèse d'une gîte sur tribord, si l'angle de gîte ne variait pas, la baisse serait la même dans les deux réservoirs et donc la quantité de carburant diminuerait plus dans le réservoir tribord (trait vert sur la figure ci-dessus) que dans le réservoir bâbord (trait rouge), ce qui aurait pour effet de diminuer la gîte. La diminution de la gîte constatée par le conducteur de l'Arc en Ciel après le passage de l'écluse de Notre Dame de la Garenne s'explique de cette manière.

## 2-2 Effet de la force centrifuge au cours de l'accident

Rappel des faits : Le 22 avril, vers 10h30, peu après avoir passé le pont de Saint-Pierre-du-Vauvray, entre les PK 192 et 193, dans le début du virage au niveau de l'île du Moulin, le bateau s'incline très fortement sur bâbord. Le conducteur ralentit le bateau puis le stoppe. Alors que la vitesse du bateau est devenue nulle, le mouvement de basculement du bateau ralentit puis semble s'arrêter mais il reprend ensuite jusqu'à ce qu'une partie des conteneurs en pontée à bâbord tombent à l'eau. Le bateau, délesté, se redresse et s'incline sur tribord entraînant la chute d'autres conteneurs. Il se stabilise ensuite.

### Explications

Ce basculement a été causé par la force centrifuge, qui s'exerce au niveau du centre de gravité du bateau et de sa cargaison, s'oppose à la résistance de la carène, qui s'exerce à un niveau situé à une profondeur égale à la moitié du tirant d'eau moyen, ces deux forces constituant un couple de renversement

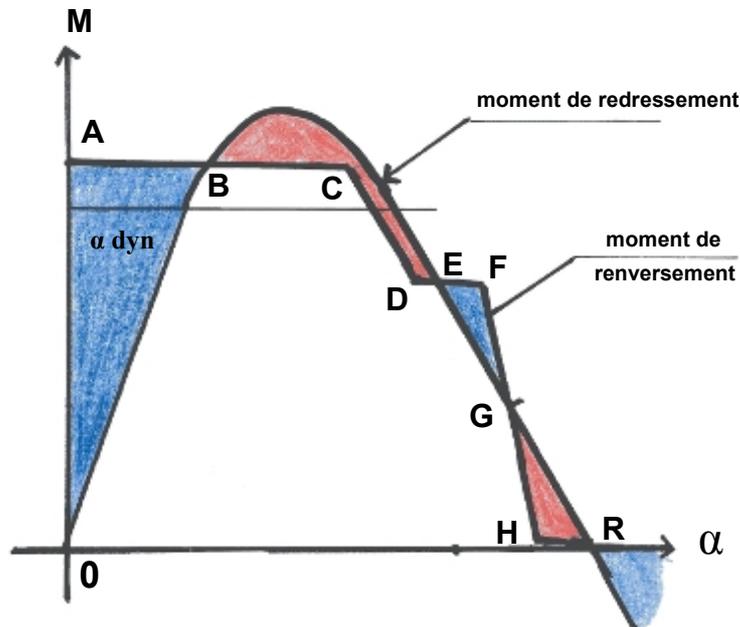
La formule qui figure dans le règlement de visite de la Commission du Rhin pour déterminer le bras de levier du couple de renversement dû à la force centrifuge (cf annexe 4) donne pour l'Arc en Ciel, en utilisant la vitesse du bateau au moment de l'accident (13,5km/h, soit 3,75 m/s) non sa vitesse maximum :

$$h_{kz} = c_{kz} \cdot (V^2 / L_F) \cdot (KG - T' / 2) = 0,04 \times (3,75^2 / 109) \cdot (4,9 - 3,06 / 2) = 0,017m$$

Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur du bras de levier associé à l'angle de stabilité dynamique (0,016m). On peut donc expliquer l'accident de la manière suivante : les différentes étapes du mouvement de l'Arc en Ciel étant représentées dans la figure ci après où apparaissent simultanément, en fonction de l'angle de gîte  $\alpha$ , le moment de renversement dû à la force centrifuge et le moment de redressement correspondant à l'angle de gîte. La ligne brisée ABCDEFGHR, représentant l'évolution du moment de renversement, est très simplifiée, les transitions entre les parties horizontales (ABC, DEF, HR), correspondant à une force centrifuge donc à une vitesse constante, et les parties obliques correspondant à une phase de ralentissement (CD) ou à un arrêt brutal (FG) devraient être plus progressives, compte tenue de l'inertie du bateau chargé : il s'agit d'illustrer le phénomène par un scénario plausible sans qu'il soit possible d'établir la position des points correspondant à ces différentes étapes, compte tenu des incertitudes sur les paramètres de stabilité du bateau.

Dans un premier temps (trajet AB), le couple de renversement dû à la force centrifuge était supérieur au couple de redressement du bateau compte tenu de l'angle de gîte, ce qui a permis au bateau d'acquérir une énergie cinétique qui lui a permis de poursuivre son mouvement quand le couple de redressement a dépassé le couple dû à la force centrifuge (trajet BC).

Le conducteur ralentit le bateau, ce qui retarde l'instant où le moment de redressement devient inférieur au moment de basculement (point E).



La poursuite du mouvement de basculement conduit le conducteur à stopper (segment FGH), le moment de redressement devient de nouveau supérieur au moment de basculement (point G) mais l'énergie cinétique acquise (ensemble des aires coloriées en bleu) est trop importante pour être compensée par les effets dus au moment de redressement (aires coloriées en rouge) et le basculement reprend jusqu'à la chute d'une partie de la cargaison.

Le mouvement s'est ralenti jusqu'à presque s'arrêter après que le conducteur a stoppé le bateau (point R). Ce ralentissement jusqu'à un arrêt presque complet montre que la somme des aires stabilisantes (en rouge) devait être presque égale à la somme des aires déstabilisantes (en bleu).

## Annexe 6 : Étude de la stabilité du porte-conteneurs Arc en Ciel pour différents cas de chargement. Résultats du calcul du bureau Veritas

Les cas de chargement suivants ont été étudiés :

Cas de chargement A : répartition des poids à partir du relevé du conducteur,

Cas de chargement B : répartition des poids à partir du plan de chargement simplifié,

Cas de chargement C : répartition des poids à partir du plan de chargement prévisionnel envoyé à l'opérateur (lecture 1),

Cas de chargement D : répartition des poids à partir du plan de chargement prévisionnel envoyé à l'opérateur (lecture 2),

Cas de chargement « réels et pesés » : répartition des poids à partir des mesures effectuées après accident.

Pour chacun des cas de chargements, le déplacement total, le centre de gravité, l'effet de carène liquide, les tirants d'eau, la gîte et certaines caractéristiques de stabilité sont calculées.

### Cas de chargement A :

D	= 3 203,66 t	T milieu	= 2,925 m
KG/base	= 4,771 m	T avant	= 3,206 m
LCG/PPAR	= 56,791 m	T arrière	= 2,644 m
YG/CL	= 0,021 m	assiette	= 0,562 m (avant)
FSM	= 9,98 t.m	gîte	= 1,989° (tribord)
GMt	= 0,574 m	GZmax	= 0,081 m

### Cas de chargement B :

D	= 3235,49 t	T milieu	= 2,953 m
KG/base	= 4,667 m	T avant	= 3,267 m
LCG/PPAR	= 56,954 m	T arrière	= 2,640 m
YG/CL	= 0,001 m	assiette	= 0,627 m (avant)
FSM	= 9,98 t.m	gîte	= 0,054° (tribord)
GMt	= 0,651 m	GZmax	= 0,118 m

### Cas de chargement C :

D	= 3203,55 t	T milieu	= 2,926 m
KG/base	= 4,711 m	T avant	= 3,321 m
LCG/PPAR	= 57,486 m	T arrière	= 2,531 m
YG/CL	= - 0,014 m	assiette	= 0,790 m (avant)
FSM	= 9,98 t.m	gîte	= 1,185° (bâbord)
GMt	= 0,631 m	GZmax	= 0,101 m

### Cas de chargement D :

D	= 3184,39 t	T milieu	= 2,910 m
KG/base	= 4,684 m	T avant	= 3,234 m
LCG/PPAR	= 57,077 m	T arrière	= 2,586 m
YG/CL	= 0,010 m	assiette	= 0,648 m (avant)
FSM	= 9,98 t.m	gîte	= 0,784° (tribord)
GMt	= 0,663 m	GZmax	= 0,120 m

### Cas de chargement « réels et pesés »:

D	= 3362,88 t	T milieu	= 3,060 m
KG/base	= 4,909 m	T avant	= 3,429 m
LCG/PPAR	= 57,149 m	T arrière	= 2,691 m
YG/CL	= 0,016 m	assiette	= 0,738 m (avant)
FSM	= 9,98 t.m	gîte	= 2,571° (tribord)
GMt	= 0,370 m	GZmax	= 0,020 m

On notera :

➤ que pour tous les cas de chargement la gîte est obtenue sur tribord à l'exception du cas C pour lequel la gîte de 1,185° est obtenue sur bâbord ;

➤ les valeurs de tirants d'eau indiqués par le marinier sont :

T milieu = 3,16 m (supérieur au tirant d'eau maximum de 3,00 m ),

T avant = 3,23 m,

T arrière = 3,02 m.

➤ que le cas « réels et pesés » a un déplacement plus important que les cas estimés (le navire est enfoncé de l'ordre de 10 à 15 cm de plus que dans les autres configurations). La hauteur verticale du centre de gravité est également réduite par rapport aux autres configurations (GMt de 0,37 m au lieu de 0,60m environ),

➤ les critères de stabilité appliqués au bateau sont les critères de la réglementation du Rhin pour les conteneurs non fixés (chapitre 22, article 22.02). Ces critères requièrent une valeur minimale de GM de 1.00 m ainsi qu'un angle de gîte provoqué par l'action

combinée de la giration du bateau, de la poussée du vent, et des effets de surface libre exposées à l'eau de pluie et aux eaux résiduaires à l'intérieur des cales ou du double fond, inférieur à 5°. Pour tous les cas de chargement A, B, C, D et « réels et pesés », les critères ne sont pas satisfaits : les GMt sont inférieurs à 1.00 m, le bras de levier inclinant conduit ou bien à un angle de gîte supérieur à 5° (9° environ) ou bien il n'y a pas d'intersection avec la courbe GZ, le bras de levier inclinant étant supérieur au bras de levier de redressement.

Sur la base du cas « réels et pesés », plusieurs cas de chargement ont été étudiés :

A) caisses à combustible :

- configuration avec les caisses de combustible bâbord et tribord en communication ;
- configuration avec les caisses de combustible bâbord et tribord séparées (pas de communication)

B) remplissage du ballast arrière bâbord (le volume total du ballast arrière bâbord est égal à 30,48 m<sup>3</sup> pour une hauteur de 2,52 m) :

- pas de remplissage ;
- 40 cm de remplissage ;
- 80 cm de remplissage (ullage relevé après accident) ;
- ballast complètement rempli.

Pour les cas de chargement tenant compte du ballastage, la consommation de combustible a également été considérée (100 litres/heure : le temps passé dans les écluses de Chatou et d'Andrésy n'a pas été considéré pour la consommation de combustible).

Al-B1 : Cas de chargement « réels et pesés » avec communication des caisses FO, ballast bâbord vide :

D	= 3362,88 t	T milieu	= 3,060 m
KG/base	= 4,909 m	T avant	= 3,429 m
LCG/PPAR	= 57,149 m	T arrière	= 2,691 m
YG/CL	= 0,016 m	assiette	= 0,738 m (avant)
FSM	= 590,20 t.m	gîte	= 4,987° (tribord)
GMt	= 0,110 m	GZmax	= 0,000 m

On notera la différence de FSM (effet de carène liquide) due à la communication entre les deux caisses, et l'effet sur la valeur de GM qui diminue de 0,37 m à 0,11 m (la carène liquide augmente fictivement la hauteur du centre de gravité de 4,909 m à 5,08 m). De même la valeur du GZ maximum, diminue de :  $((590,2 - 9,98)/3362,88) \times \sin(5^\circ)$  où 5° est la position approximative de la valeur du GZ maximum.

Si les caisses à combustible sont en communication, la gîte qui est due au chargement et qui dépend également de la hauteur du centre de gravité pourra être aggravée par le transfert de combustible de la caisse bâbord à la caisse tribord.

AI-B2 : Cas de chargement « réels et pesés » avec communication des caisses combustible, ballast bâbord rempli avec une hauteur de 40 cm :

D	= 3364,17 t	T milieu	= 3,060 m
KG/base	= 4,908 m	T avant	= 3,429 m
LCG/PPAR	= 57,134 m	T arrière	= 2,691 m
YG/CL	= 0,015 m	assiette	= 0,738 m (avant)
FSM	= 593,55 t.m	gîte	= 4,284° (tribord)
GMt	= 0,163 m	GZmax	= 0,002 m

L'amélioration de la stabilité est faible. Le poids additionnel dû au remplissage de 40 cm est égal à : 1,83 m<sup>3</sup>.

AI-B3 : Cas de chargement « réels et pesés » avec communication des caisses combustible, ballast bâbord rempli avec une hauteur de 80 cm :

D	= 3369,39 t	T milieu	= 3,065 m
KG/base	= 4,903 m	T avant	= 3,419 m
LCG/PPAR	= 57,053 m	T arrière	= 2,71 m
YG/CL	= 0,010 m	assiette	= 0,739 m (avant)
FSM	= 599,57 t.m	gîte	= 3,161° (tribord)
GMt	= 0,204 m	GZmax	= 0,006 m

Compte tenu de la faible modification du poids dans le ballast, l'effet sur la stabilité reste négligeable. Le poids additionnel dû au remplissage de 80 cm est égal à : 7,05 m<sup>3</sup>.

AI-B4 : Cas de chargement « réels et pesés » avec communication des caisses FO, ballast bâbord entièrement rempli :

D	= 3392,82 t	T milieu	= 3,083 m
KG/base	= 4,889 m	T avant	= 3,381 m
LCG/PPAR	= 56,69 m	T arrière	= 2,786 m
YG/CL	= - 0,013 m	assiette	= 0,595 m (avant)
FSM	= 599,57 t.m	gîte	= 3,604° (tribord)
GMt	= 0,219 m	GZmax	= 0,005 m

Le remplissage total du ballast crée une gîte située sur bâbord. Un poids de 19 tonnes suffirait à repositionner le navire en position droite.

Cas de chargement « réels et pesés » avec communication des caisses combustible, ballast bâbord rempli à 19 tonnes :

D	= 3381,34 t	T milieu	= 3,076 m
KG/base	= 4,895 m	T avant	= 3,401 m
LCG/PPAR	= 56,868 m	T arrière	= 2,751 m
YG/CL	= 0,000 m	assiette	= 0,650 m (avant)
FSM	= 607,19 t.m	gîte	= 0°
GMt	= 0,183 m	GZmax	= 0,018 m

Le cas A2-B1 est identique au cas de chargement « réels et pesés ».

A2-B2 : Cas de chargement « réels et pesés », ballast bâbord rempli avec une hauteur de 40 cm :

D	= 3364,17 t	T milieu	= 3,061 m
KG/base	= 4,908 m	T avant	= 3,428 m
LCG/PPAR	= 57,134 m	T arrière	= 2,694 m
YG/CL	= 0,015 m	assiette	= 0,734 m (avant)
FSM	= 15,18 t.m	gîte	= 2,326° (tribord)
GMt	= 0,367 m	GZmax	= 0,021 m

A2-B3 : Cas de chargement « réels et pesés », ballast bâbord rempli avec une hauteur de 80 cm :

D	= 3369,39 t	T milieu	= 3,066 m
KG/base	= 4,903 m	T avant	= 3,420 m
LCG/PPAR	= 57,053 m	T arrière	= 2,712 m
YG/CL	= 0,010 m	assiette	= 0,708 m (avant)
FSM	= 21,19 t.m	gîte	= 1,681° (tribord)
GMt	= 0,361 m	GZmax	= 0,025 m

A2-B4 : Cas de chargement « réels et pesés », ballast bâbord entièrement rempli :

D	= 3392,82 t	T milieu	= 3,085 m
KG/base	= 4,889 m	T avant	= 3,382 m
LCG/PPAR	= 56,69 m	T arrière	= 2,788 m
YG/CL	= - 0,013 m	assiette	= 0,594 m (avant)
FSM	= 9,95 t.m	gîte	= 1,975° (tribord)
GMt	= 0,370 m	GZmax	= 0,024 m

Bien que les cas où les caisses combustible ne sont pas en communication conduisent à de meilleurs résultats, la marge sur la stabilité reste faible (GZ de l'ordre de 0,020m).

Conclusion :

Les cas de chargement A, B, C, D et « réel et pesés » ne satisfont pas aux critères de la réglementation du Rhin.

Le chargement réel du navire (cas « réel et pesés ») conduit à un centre de gravité vertical supérieur de 15 à 20 cm par rapport aux cas estimés.

La mise en communication des caisses combustible bâbord et tribord, dégrade de façon significative la stabilité du navire.

Lorsque les caisses combustible sont considérées séparées (pas de communication), l'effet du ballastage conduit à diminuer la gîte, mais n'améliore pas de façon significative la stabilité du navire.

\* Abréviations utilisées :

D : déplacements

KG/base : position verticale du centre de gravité par rapport à la ligne de base du navire

LCG/base : position horizontale du centre de gravité par rapport à la verticale arrière

YG/CL : position transversale du centre de gravité par rapport à la ligne milieu du navire

FSM : effet de carène liquide

GMT : hauteur métacentrique

GZmax : valeur maximale du bras de levier de redressement

## Annexe 7 : Photos



Déformation hiloire de cale



Cale de l'Arc en Ciel



Arc en Ciel en cale sèche, vue de l'étrave



Arc en Ciel en cale sèche, vue de l'arrière



Timonerie – Poste de conduite



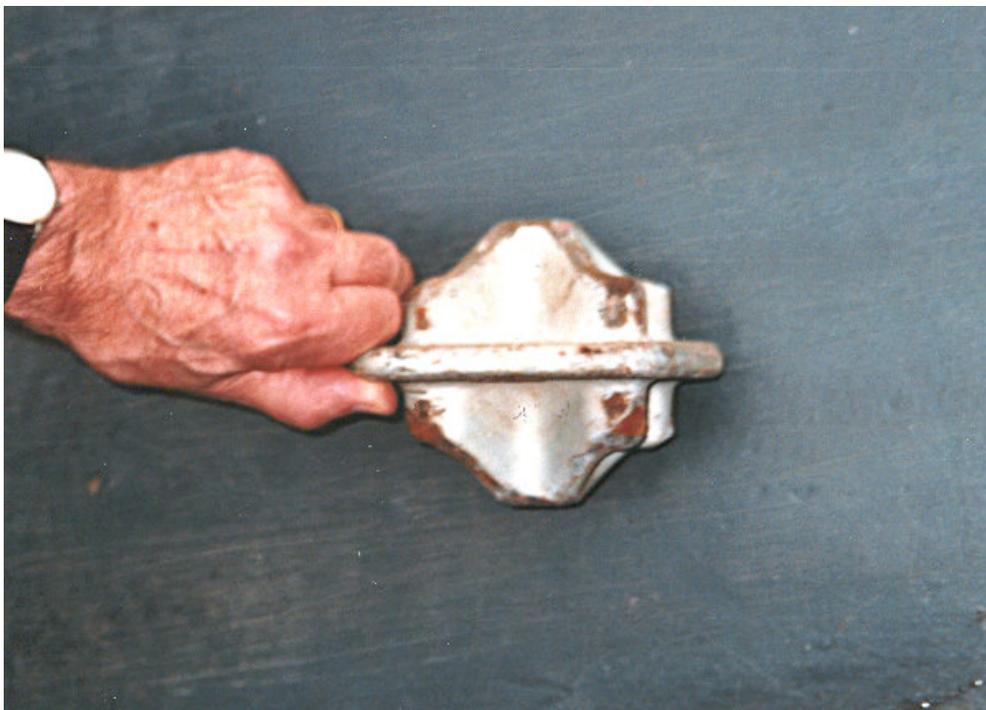
Conteneurs à bâbord après l'accident



Conteneurs à tribord après l'accident



Gerbage des conteneurs  
à bord de l'Arc en Ciel



Cône de gerbage de conteneurs



Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

---

**BEA-TT - Bureau d'enquêtes sur les Accidents de transport terrestre**

Tour Pascal B - 92055 LA DEFENSE CEDEX  
Tél. + 33 (0) 1 40 81 21 83 - Fax. + 33 (0) 1 40 81 21 50  
cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr  
www.bea-tt.equipement.gouv.fr