



Rapport d'enquête technique

**RUPTURE D'AMARRAGE
À BORD DU NAVIRE ROULIER À PASSAGERS *PAGLIA ORBA*
LE 20 NOVEMBRE 2015, DANS LE PORT DE MARSEILLE**

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

Rapport publié : mai 2017

Rapport d'enquête technique

RUPTURE D'AMARRAGE

à bord du navire roulier à passagers

PAGLIA ORBA

LE 20 NOVEMBRE 2015

Dans le port de Marseille

Avertissement

Le présent rapport a été établi conformément aux dispositions du Code des transports, notamment ses articles L.1621-1 à L.1622-2 et R.1621-1 à R.1621-38 relatifs aux enquêtes techniques et aux enquêtes de sécurité après un événement de mer, un accident ou un incident de transport terrestre et portant les mesures de transposition de la directive 2009/18/CE établissant les principes fondamentaux régissant les enquêtes sur les accidents dans le secteur des transports maritimes ainsi qu'à celles du « Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents » de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), résolution MSC 255(84) publié par décret n° 2010-1577 du 16 décembre 2010.

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

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

Pour information, la version officielle du rapport est la version française. La traduction en anglais lorsqu'elle est proposée se veut faciliter la lecture aux non-francophones.

PLAN DU RAPPORT

1	RÉSUMÉ	Page	5
2	INFORMATIONS FACTUELLES		
2.1	Description du navire	Page	6
2.2	Renseignements sur le voyage et l'équipage	Page	8
2.3	L'Intervention	Page	10
3	EXPOSÉ	Page	10
4	ANALYSE	Page	15
4.1	Les facteurs naturels	Page	15
4.2	Les facteurs matériels	Page	17
4.3	Les facteurs humains	Page	25
4.4	Le précédent du <i>NAPOLÉON BONAPARTE</i>	Page	27
5	CONCLUSIONS	Page	28
6	MESURES PRISES PAR L'ARMEMENT	Page	28
7	ENSEIGNEMENTS	Page	29
8	RECOMMANDATIONS	Page	29
9	ANNEXES		
A.	Liste des abréviations	Page	31
B.	Décision d'enquête	Page	32
C.	Amarrage	Page	33
D.	Météorologie	Page	35
E.	Calcul des coefficients aérodynamiques	Page	37

1 RÉSUMÉ

(voir page 14 la carte de la partie du port concernée).

Le vendredi 20 Novembre 2015, le transbordeur *PAGLIA ORBA* est amarré, bâbord à quai, cap au 328°, au poste 119 de la digue du large dans le port de Marseille. La rampe arrière-bâbord est sur le quai (119 A). L'équipage du navire a déposé un préavis de grève pour le lendemain. La météo prévoit pour la soirée un vent de secteur Ouest force 7 à 8 Beaufort fraîchissant 8 à 9 en milieu de nuit (Météo France). Le capitaine consigne l'équipage de conduite à bord et les moteurs sont à 10 minutes d'appareillage.

Vers 23h05, par vent Nord-Ouest de force 7 à 8, le lieutenant de garde fait une ronde d'amarrage et constate que les amarres sont « tendues et équilibrées », mais qu'elles ne « souffrent » pas.

Peu après 23h15, le capitaine entend successivement le claquement de plusieurs amarres ainsi que le dévirage de deux treuils d'amarrage. L'avant du navire s'écarte du quai. L'assistance de remorqueurs est demandée au port. L'équipage est mis aux postes de manœuvre. L'avant du navire poursuit son abattée sur tribord tandis que la rampe arrière-bâbord rague sur le quai. L'arrière tribord du navire heurte le quai 119 A. Deux amarres de l'arrière se rompent. Au moment de la remise à poste de la rampe, un « sifflet¹ » se détache et tombe sur la plage arrière à proximité de l'équipage sans faire de blessé.

Deux remorqueurs du port, le *MISTRAL 8* et le *MISTRAL 9* aident à la manœuvre et un pilote est à bord.

A 00h42, le 21 novembre le navire est amarré à un autre poste à quai plus abrité : le poste 7 du Cap Janet.

Outre, la chute d'un « sifflet » de rampe, le choc sur le quai a légèrement enfoncé la coque au-dessus de la flottaison, mais aucune avarie n'est relevée sur les œuvres vives.

Les réparations de la coque, prescrites par la société de classification, seront effectuées pendant les jours suivants.

Cet accident a occasionné des conséquences matérielles de moindre gravité sur le navire. La décision du capitaine de consigner l'équipage à bord a très significativement limité les

¹ « sifflet » : À l'extrémité de la rampe (épaisse de plusieurs dizaines de cm), des plans inclinés (articulés avec celle-ci au moyens de charnières et positionnés par des vérins) permettent aux véhicules de passer du sol du quai à la surface de la rampe sans discontinuité.

conséquences de la rupture d'amarrage. En outre, les services du port ont réagi rapidement et avec efficacité.

Il apparaît que les amarres rompues avaient subi, ce jour-là, des contraintes supérieures aux forces qu'elles pouvaient supporter.

Trois ans après l'accident du *NAPOLÉON BONAPARTE*, qui était à un poste voisin, et dans un contexte météorologique analogue, l'analyse de cet événement a mis en évidence une nouvelle fois l'importance du bon état des amarres.

Version finale du rapport

La version provisoire du rapport a suscité de nombreux commentaires des parties intéressées. Après analyse, le *BEA*mer a considéré plusieurs d'entre eux. Toutefois, les commentaires visant à mettre en exergue l'engagement des responsabilités de l'armateur, de l'équipage ou du port ont été écartés.

2 INFORMATIONS FACTUELLES

2.1 Description du navire

Construit à partir de fin 1992 aux Ateliers et Chantiers du Havre pour la Société Navale Corse Méditerranée, le *PAGLIA ORBA*, mis en service en avril 1994, immatriculé à Bastia est un navire roulier à passagers autorisé à naviguer pour des voyages internationaux courts.

Son permis de navigation et son certificat de franc bord sont en cours de validité. La capacité commerciale du navire de nuit est de 544 passagers.



Crédit photo : CORSICA linea / Andy Humbert.

Principales caractéristiques :

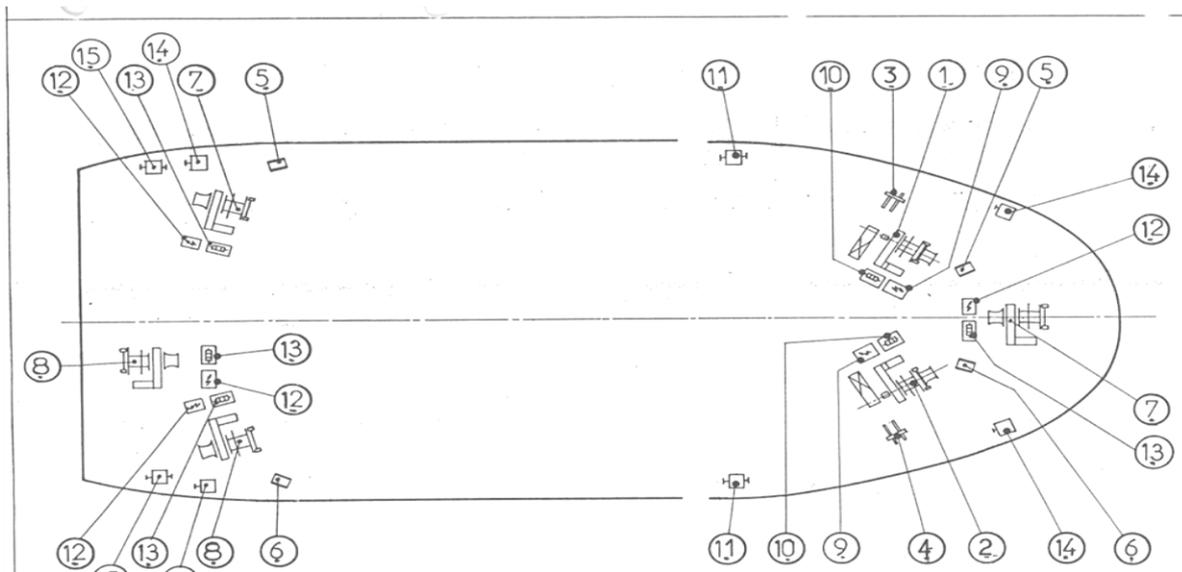
- N° OMI : 9050826 ;
- Longueur hors-tout : 165,80 m ;
- Largeur : 29,0 m ;
- Jauge : 30 269 UMS ;
- Déplacement lège : 17 209 t ;
- Déplacement en charge : 21 375 t ;
- Propulsion : 4 WARTSILA 16 V 32 D (4 x 3 900 = 15 600 kW) ;
- Nombre d'hélices : 2 ;
- Génératrices : 3 WARTSILA- VASA 4 R 32 A (3 x 1 184 kW)
2 alternateurs attelés (2x 1 600 kW) ;
- Propulseurs d'étrave : 2 x1 400 kW ;
- Vitesse : 19 nœuds ;
- Equipage de conduite : 29 personnes.

Le moteur principal 1, en cours de visite programmée, n'est pas disponible au moment des événements.

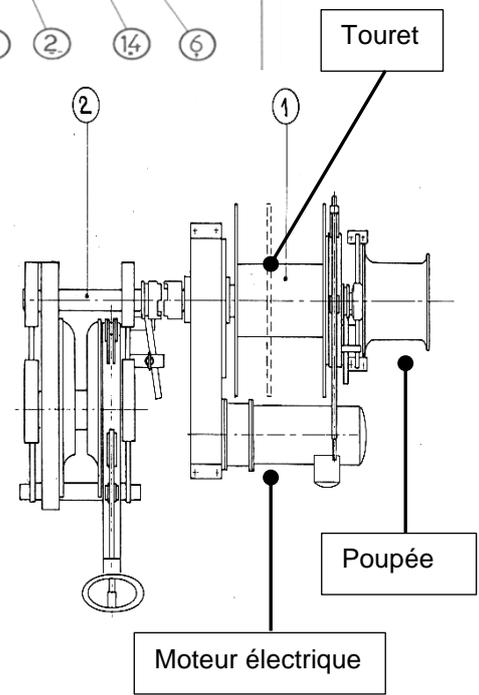
Les treuils électriques d'amarrage :

- Plage avant : 1 treuil d'amarrage : Brissonneau & Lotz Marine, TAA 180 E
2 combinés guindeau : Brissonneau & Lotz Marine, PG 73 ARGT
- Plage arrière : 3 treuils d'amarrage : Brissonneau & Lotz Marine, TAA 180 E

Tous les treuils ont les mêmes performances sur tambour : EN 175KN et ES sur frein 565 KN.



VESSEL EQUIPMENT		BRISBONNEAU & LOTZ MARINE S. A.		DATE
EQUIPEMENT NAVIRE		44477 CAEN/EPDO/GESEK (Montreuil) FRANCE		30-03-
DATE	MODIFICATION	DES/AMR/APP	DES/AMR	APP



Repère	Equipement	Type
1	Combiné guindeau	PG 73 ARG T A
2	Combiné guindeau	PG 73 ARG T B
3	Stoppeur à rouleau	CH 68/73 U3
4	Stoppeur à rouleau	CH 68/73 U3
5	Stoppeur à linguet	CH 54/60
6	Stoppeur à linguet	CH 54/60
7	Treuil d'amarrage	TAA 180 E
8	Treuil d'amarrage	TAA 180 E
9	Appareil guindeau	TAA 70 Kw
10	Résistance rotorique	TAA 70/85 Kw
11	Poste de commande double	TAA
12	Appareil	TAA 70 Kw
13	Résistance rotorique	TAA 70/85 Kw
14	Poste de commande simple	TAA
15	Poste de commande simple	TAA

2.2 Renseignements sur le voyage et l'équipage

Le contexte

Météo du 20 novembre 2015 (extrait sources Météo France) :

« Avis de Coup de Vent à localement force Ouragan N° 521 pour, notamment, la zone Provence :

Situation générale vendredi 20 novembre 2015 à 12H00 UTC et évolution :

Prévisions pour la nuit du vendredi 20 novembre au samedi 21 novembre

Vent : - De Port Camargue à Marseille : Ouest 4 ou 5, fraichissant 7 ou 8 en soirée. - De Marseille à St Raphaël : Ouest 7 ou 8, fraichissant 8 ou 9 en milieu de nuit. Fortes rafales. »

Le *PAGLIA ORBA* dessert les ports de Porto Vecchio, l'Île Rousse, Ajaccio et Marseille en alternance avec d'autres navires de la compagnie. Le 20 novembre au matin, il arrivait de Porto Vecchio dont il était parti la veille au soir.

L'équipage

L'équipage compte 48 personnes dont 9 officiers, 9 membres d'équipage pont et 7 membres d'équipage machine.

Le capitaine a 53 ans et est breveté capitaine de 1^{ère} classe. Il a fait l'essentiel de sa carrière dans la compagnie SNCM. Son premier commandement date de 2008 (*MONTE CINTO*). Il commande régulièrement le *PAGLIA ORBA*. Il est embarqué depuis deux semaines.

Le second capitaine-commissaire a 45 ans et est breveté capitaine de 1^{ère} classe. Il navigue à la compagnie SNCM depuis 2003. Il est second capitaine depuis 2008 et navigue à bord du *PAGLIA ORBA* depuis 2013.

Le lieutenant (de garde lors de la rupture de l'amarrage et en charge de la manœuvre à l'arrière) a 34 ans et est breveté capitaine 3000 depuis 2011. Il navigue à la compagnie SNCM depuis 2008 et à bord du *PAGLIA ORBA* depuis 2009. Il effectue des remplacements comme second capitaine.

Le chef mécanicien a 50 ans est breveté capitaine de 1^{ère} classe. Il a fait une grande partie de sa carrière dans la compagnie SNCM. Son premier embarquement comme chef mécanicien date de 1996. Il navigue à bord du *PAGLIA ORBA* depuis 2012.

Le maître d'équipage a 53 ans. Il navigue comme maître d'équipage depuis 2003. Il est embarqué exclusivement à bord du *PAGLIA ORBA* depuis 2010, soit dans cette fonction soit dans celle d'assistant officier pont.

Tous les membres de l'équipage de conduite présents à bord sont à jour de leur visite médicale d'aptitude.

2.3 Les interventions

Heures TU+1

Le vendredi 20 novembre 2015,

À **23h19** soit 2 minutes après la rupture de la première amarre, le capitaine a prévenu la capitainerie sur VHF Canal 12. Il a notamment sollicité l'aide du remorquage et du lamanage pour la remise à quai du navire.

À **23h20**, l'équipage, appelé par la diffusion générale, se rend aux postes de manœuvre.

Les remorqueurs À **23h37** et **23h44**, deux remorqueurs se sont présentés sur place. Ils sont parvenus à stopper la dérive du *PAGLIA ORBA* puis l'ont accompagné jusqu'au poste 7.

Le lamanage À **23h32**, l'équipe de lamanage du port était présente sur le quai. L'équipage du *PASCAL PAOLI* (de la même compagnie et qui se trouvait au poste 116 sur l'arrière du *PAGLIA ORBA*) a aidé aux opérations de largage des amarres de l'arrière du navire.

Le pilotage À **23h40**, le pilote, est arrivé sur le quai, il a embarqué par tribord avec la pilotine à **23h58** et a débarqué après la fin de la manœuvre d'amarrage du navire au poste 7.

3 EXPOSÉ

Heures TU+1

Le vendredi 20 novembre 2015

Le **20 novembre** au matin, le navire arrive en provenance de Porto Vecchio.

À **09h01** le *PAGLIA ORBA* est amarré (6 amarres à l'avant et 6 amarres à l'arrière), bâbord à quai à Marseille à la digue du large, au poste 119, cap au 328°.

Vers **23h05**, le lieutenant de garde effectue une ronde d'amarrage. Il constate que les amarres sont tendues et équilibrées et qu'elles ne semblent pas souffrir.

À **23h17**, le capitaine perçoit la première rupture d'amarre sur la plage avant. Elle est suivie, quelques secondes après, de deux autres ruptures d'amarres.

À **23h18**, le capitaine monte à la passerelle. Il entend le dévirage des deux guindeaux de l'avant. Quatrième rupture d'amarre, le cap du navire passe du 328 au 335. Une cinquième rupture d'amarre survient à l'avant.

À **23h19**, le capitaine contacte Marseille Port sur VHF Canal 12. Il demande des remorqueurs en urgence. Diffusion générale à bord faite par le lieutenant, l'équipage est appelé aux postes de manœuvre.

À **23h20**, Marseille Port accuse réception de la demande de remorqueurs.

À **23h21**, le navire poursuit son abattée. Cap au nord. L'ordre de fermeture depuis la passerelle des portes étanches est donné.

À **23h23**, le port annonce que les remorqueurs sont en route. Le bord appelle le pilotage.

À **23h24**, le premier propulseur est disposé (alimenté par deux diesels alternateurs).

À **23h25**, les moteurs principaux 2, 3 et 4 sont lancés et embrayés.

À **23h26**, un choc survient à l'arrière sur tribord, contre le quai (poste 119 A). Les commandes de la machine sont disposées sur les ailerons de la passerelle et le second propulseur est prêt. Le lamanage est demandé.

À **23h29**, le levage de la rampe arrière-bâbord (qui rague sur le quai) débute. Les remorqueurs *MISTRAL 8* et *MISTRAL 9* appareillent.

À **23h31**, la manœuvre de l'avant annonce que le quai (poste 27 A, môle de La Madrague) est à 10 mètres de l'étrave du navire. Le levage de la rampe se poursuit et un « sifflet » de rampe chute sur la plage arrière du navire.

À **23h32**, l'équipe de lamanage arrive sur le quai et toutes les amarres de l'avant sont larguées.

À **23h34**, le remorqueur *MISTRAL 8* demande de capeler une remorque par l'arrière-bâbord. Le remorqueur *MISTRAL 9* demande de capeler une autre remorque par l'avant-bâbord.

À **23h37**, le *MISTRAL 8* arrive le long du bord du *PAGLIA ORBA*.

À **23h38**, la rampe arrière est fermée et verrouillée.

À **23h40**, le pilote arrive sur le quai.

À **23h42**, le *MISTRAL 9* arrive le long du bord du *PAGLIA ORBA*.

À **23h44**, la remorque du *MISTRAL 8* est tournée à l'arrière et il lui est demandé de tirer vers l'arrière.

À **23h48**, la remorque du *MISTRAL 9* est capelée à l'avant.

À **23h52**, le navire commence un évitage sur bâbord.

À **23h53**, toutes les amarres sont larguées et la pilotine embarque le pilote qui se trouve sur le quai. À ce moment Marseille Port propose d'accoster le navire au poste 26 situé en face. Le commandant refuse, estimant que la manœuvre est trop délicate.

À **23h54**, le navire achève l'évitement sur bâbord avec l'aide du *MISTRAL 9*

À **23h58**, le pilote est à bord.

Le samedi 21 novembre 2015

À **00h02**, Marseille Port propose d'accoster le navire au Poste 7.

Entre **00h22** et **00h24**, les remorqueurs sont largués.

À **00h27**, le *PAGLIA ORBA* est mis à quai poste 7.

À **00h31**, les remorqueurs sont libérés.

À **00h42**, l'amarrage du navire est terminé (6 amarres à l'avant et 6 amarres à l'arrière, rampes posées).

Les conséquences

Il n'y a pas eu d'autres conséquences que les avaries de moindre gravité subies par le navire (enfouissement de bordé au-dessus de la ligne de flottaison).

Lors du relevage de la rampe arrière-bâbord, le « sifflet » de rampe situé à l'extrémité bâbord, s'est détaché et est tombé, sur la plage arrière, 5 mètres plus bas, où se trouvaient plusieurs membres de l'équipage. Personne n'a été blessé.

Lors de la dernière inspection des vérins des « sifflets », aucune anomalie n'avait été détectée. Il est probable que la charnière a été endommagée du fait de l'abattée sur tribord et du choc contre un bollard du quai.

Une ronde machine, vers 23h45 a confirmé la constatation, faite plus tôt depuis le quai par l'officier de port, d'un enfouissement subi par la coque sur tribord au niveau du local de barre à environ 10 m de l'arrière et 1 m au-dessus de la ligne de flottaison.

Après la mise à quai du navire au poste 7, le capitaine et le chef mécanicien ont embarqué sur la pilotine pour inspecter la coque. Ils ont constaté une déchirure d'environ 30 cm sur 30 cm au niveau du ballast eau de mer n°15 ainsi que des traces de ragage et des enfouissements de coque plus ou moins importants.

L'inspection sous-marine n'a révélé aucune avarie sur les œuvres vives. La coque sous la flottaison, ainsi que le safran et les hélices, n'ont subi aucun dommage.

Le samedi 21 novembre, la société de classification a prescrit la réparation de la tôle de fond entre les couples C10, C14 et C17, C19.

Les réparations ont été effectuées et contrôlées les jours suivants.



4 ANALYSE

La méthode retenue pour cette analyse est une de celles qui sont utilisées par le *BEA*mer pour ses enquêtes. Elle est inspirée de la Résolution A28 / Res1075 de l'OMI « directives destinées à aider les enquêteurs à appliquer le code pour les enquêtes sur les accidents (Résolution MSC 285 (84)) » ainsi que de la Directive 2009/18/CE du Parlement Européen et du Conseil « établissant les principes fondamentaux régissant les enquêtes sur les accidents dans le secteur des transports maritimes ».

Le *BEA*mer a, en premier lieu, établi la séquence des événements qui ont entraîné la rupture de l'amarrage du *PAGLIA ORBA* puis ceux qui ont immédiatement suivi jusqu'à la mise en sécurité du navire.

Dans cette séquence, les événements dits perturbateurs (événements déterminants ayant entraîné les accidents et jugés significatifs et inappropriés) ont été identifiés. Ceux-ci ont été analysés en considérant les éléments naturels, matériels, humains et procéduraux afin d'identifier les facteurs ayant contribué à leur apparition ou ayant contribué à en aggraver les conséquences. Parmi ces facteurs, ceux qui faisaient apparaître des problèmes de sécurité présentant des risques pour lesquels les défenses existantes étaient jugées inadéquates ou manquantes ont été mis en évidence comme facteurs contributifs. Les facteurs sans influence sur le cours des événements ont été écartés. Seuls ceux qui pourraient, avec un degré appréciable, avoir pesé sur le déroulement des faits ont été retenus.

Le *BEA*mer a bénéficié, pour cette analyse, d'une étude effectuée par un professeur de manœuvre de l'ENSM, ainsi que d'une étude produite par les services de la Météorologie Nationale.

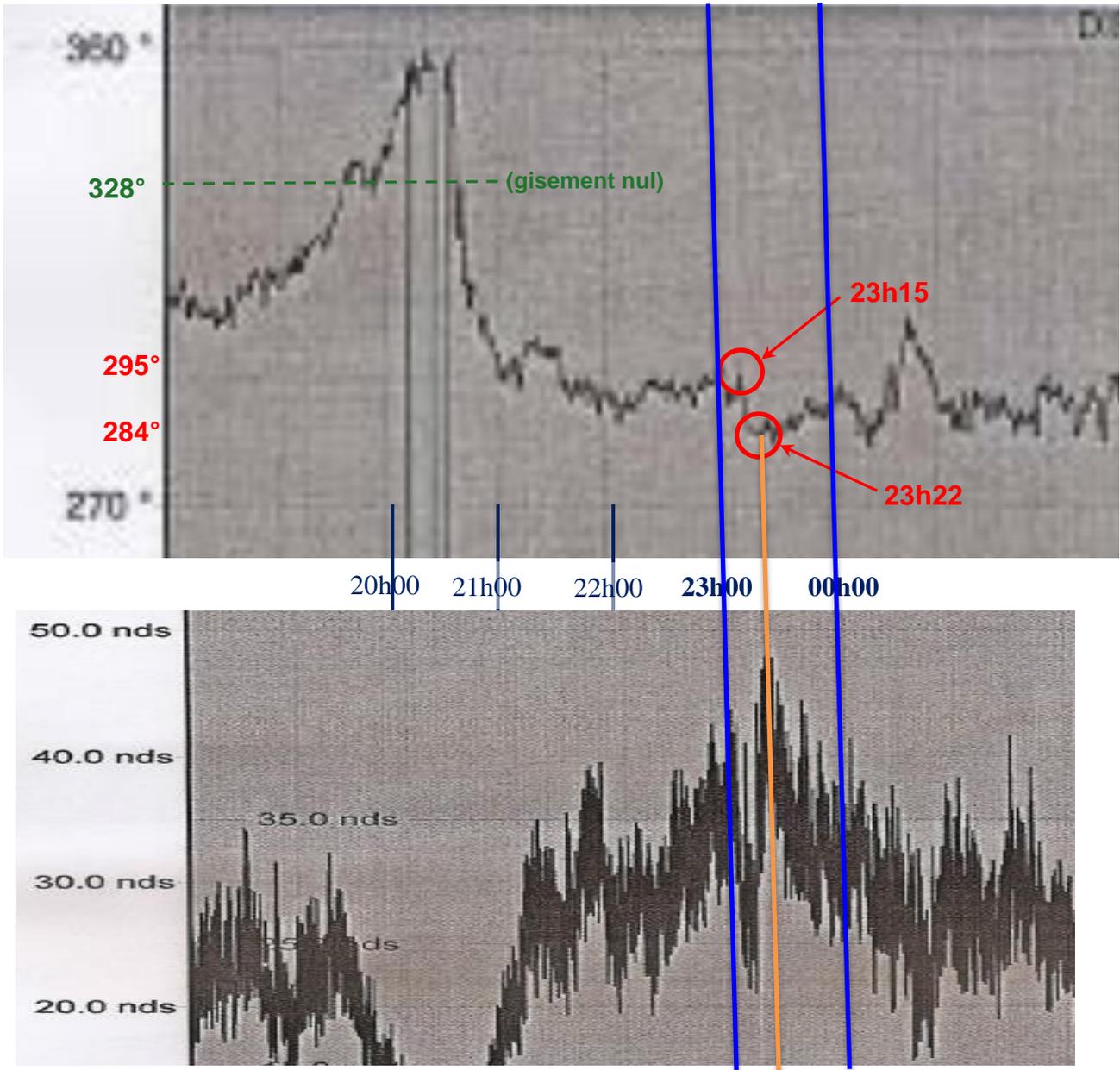
L'exploitation des données du VDR n'a pu être aussi complète qu'escomptée. En effet, si les enregistrements sonores ont pu être exploités, les données relatives au fonctionnement de la machine se sont avérées indisponibles.

4.1 Les facteurs naturels

Les conditions météorologiques (voir les annexes D)

Le 20 novembre 2015, les prévisions météorologiques maritimes publient pour la zone Provence un « avis de coup de vent à localement force ouragan ».

Variations de la direction du vent entre 18h00 et 03h00 (relevé vigie passe Nord).



Variation de la vitesse du vent instantané entre 18h00 et 03h00 (relevé vigie passe Nord)

Ces relevés font apparaître que :

- Entre 20h30 et 22h00, le vent a tourné d'abord en incidence, car son gisement est passé, de 32° tribord environ (accostant) à 33° bâbord (débordant) et sa vitesse a augmenté significativement, de 10 nœuds à 35 nœuds.

- Vers 23h05, au moment où le lieutenant de garde a fait une ronde d'amarrage, le vent était relativement stable depuis près d'une heure en gisement autour de 33° bâbord, avec une vitesse, pendant cette période, située en moyenne entre 25 et 35 nœuds (27 nœuds environ à 23h05).
- Vers 23h18, lors de la rupture des amarres et du dévirage des guindeaux, les relevés montrent une concomitance entre une augmentation brusque du gisement du vent (de 33° bâbord à 44° bâbord) et une rafale qui atteint la vitesse de 50 nœuds (25 m/s).

Il est à noter que les capitaines considèrent que le vent enregistré dans la passe Nord est généralement plus faible que celui du milieu de la jetée (en effet, au moment de la rupture des amarres, l'anémomètre du bord indique un vent de 54 nœuds).

Le gisement maximum du vent atteint donc 44° bâbord avec une vitesse maximale de 50 nœuds (25 m/s). Ces valeurs seront retenues pour les calculs.

Ces conditions de force de vent sont inhabituelles à cette période de l'année. Selon l'étude demandée à Météo France, sur une période comprise entre 2001 et 2011, les vents relevés entre une direction de 280° et 300° ne dépassent les 28 nœuds sur une journée que dans 0,1% des cas, le vent maximum instantané ne dépasse, lui, les 40 nœuds que dans moins de 0,4 % des cas.

Les conditions météorologiques, inhabituelles, sont le premier **facteur contributif** de cet accident.

4.2 Les facteurs matériels

4.2.1 Le poste à quai

Le poste à quai habituel du navire pour les opérations commerciales est situé dans le bassin de La Joliette, côté Est du port, dans une zone où les navires sont moins exposés aux vents d'Ouest (vent « accostant »).

Compte tenu de la date prévue (le 20 novembre), pour la décision d'attribution de la compagnie SNCM à son nouveau propriétaire, du préavis de grève déposé pour le lendemain par les syndicats de navigants et d'une manifestation commerciale organisée à proximité, les autorités,

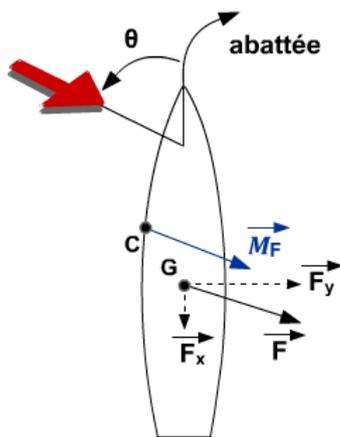
craignant un trouble à l'ordre public, avaient demandé à positionner les navires de la compagnie sur les postes de la digue du large.

Il est notoire que le poste 119 est mal défendu contre les vents de secteur Ouest. Le capitaine du *PAGLIA ORBA* ne l'ignorait pas.

4.2.2 Les forces dues au vent sur le navire

Soit F la force exercée par le vent, dont la formule est la suivante : $F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot SI \cdot V^2 \cdot C$

Il convient de considérer tout particulièrement sa composante transversale F_y à effet « décostant ». Sa composante longitudinale F_x , bien plus faible, n'a pas eu d'incidence dans l'événement étudié parce que la rampe arrière était posée sur le quai. Elle sera néanmoins évaluée elle aussi.



La force exercée par le vent sur les œuvres mortes du navire est décrite par le schéma ci-contre :
 Θ : gisement du vent par rapport au navire.
 F : force du vent exercée sur le navire
 F_x : composante longitudinale de cette force
 F_y : composante transversale de cette force
 M_f : moment de lacet dû au vent

La composante F_y (transversale), est donnée par la formule :

$$F_y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot SI \cdot V^2 \cdot C_y,$$

- ρ : masse volumique de l'air, qui dépend de la température (6°C ce jour) soit 1,28 kg / m³.
- SI : surface latérale des œuvres mortes soit 4 145 m².
- V : vitesse du vent apparent en m/s à 10 mètres de hauteur.
- C_y : coefficient aérodynamique transversal lié au sinus de l'angle d'incidence θ (0,71).

Le calcul des coefficients aérodynamiques est effectué en annexe E.

Calcul de la force transversale F_y pour les valeurs retenues :

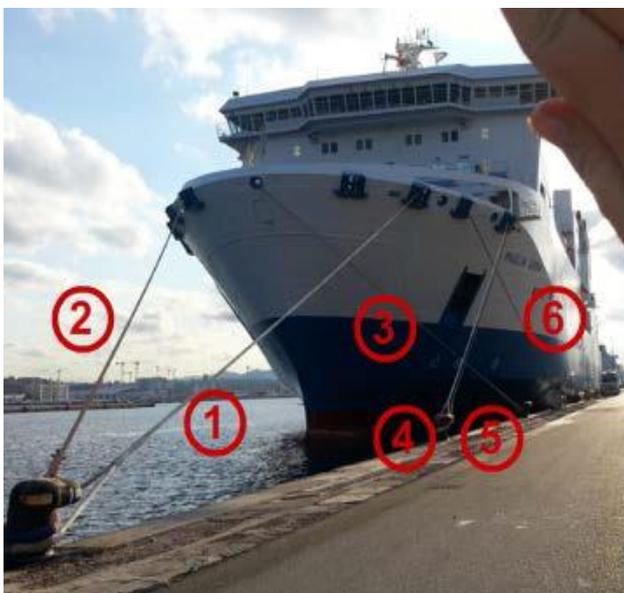
Masse volumique de l'air	ρ	1,28	Kg / m ³
Surface latérale des œuvres mortes	SI	4 145	m ²
Vitesse du vent	V	25	m/s
Coefficient aérodynamique transversal	C_y	0,71	
Force de pression transversale due au vent sur les œuvres mortes : $F_y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot SI \cdot V^2 \cdot C_y$	F_y	1 180 000	newton
	soit F_y	120	tonnes

La force de pression transversale F_y due au vent est de l'ordre de **120 tonnes**

Selon les valeurs retenues, pour une surface frontale de 850m² et un coefficient aérodynamique transversal de 0,11, la force de pression longitudinale F_x due au vent est de l'ordre de **4 tonnes**.

4.2.3 L'amarrage

4.2.3.1 Le plan d'amarrage (voir aussi en annexe C)



Reconstitution de l'amarrage par le bord au même poste à quai (photo du bord)

Le capitaine qui craignait des conditions météorologiques plus défavorables que celles annoncées avait renforcé l'amarrage et avait maintenu à bord l'équipage de conduite.

L'amarrage comportait :

- À l'avant, 3 amarres sur touret (1,4,6) et 3 autres tournées sur les poupées (2,3,5), toutes les amarres étaient en polyamide
- À l'arrière 3 amarres sur touret (1,2,3) et 3 autres tournées sur les poupées (4,5,6)

L'équilibrage de cet amarrage avait été vérifié et constaté par l'officier de garde moins de 15 minutes avant la rupture des amarres de l'avant et le dévirement des treuils.

4.2.3.2 Les forces de traction exercées par les amarres

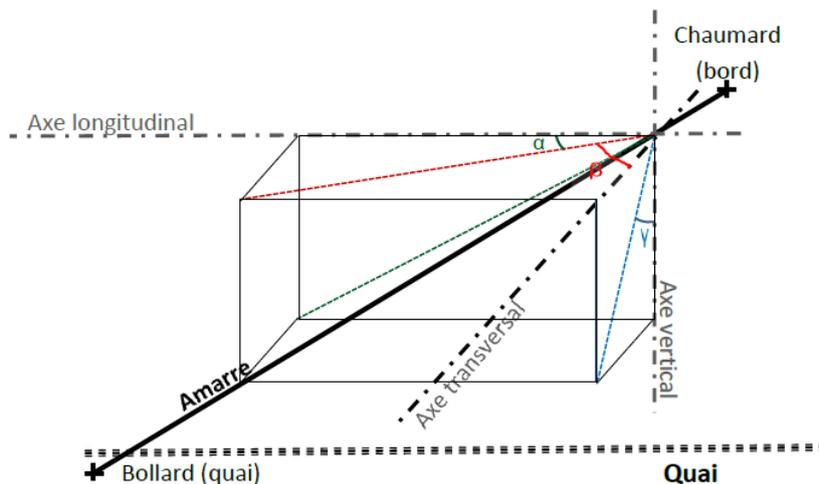
L'effort de traction n'est pas exercé directement dans la direction opposée aux contraintes exercées par le vent sur le navire.

Pour prendre en compte les efforts de chaque amarre, on doit intégrer leur orientation par rapport aux trois axes du navire :

L'angle α , mesuré par rapport à l'axe longitudinal (composante parallèle à F_x)

L'angle β mesuré par rapport à l'axe transversal (composante parallèle à F_y)

L'angle γ mesuré par rapport à l'axe vertical



Lorsque le navire a été placé au poste 119, le capitaine a ordonné, afin de renforcer l'amarrage, de poser la rampe arrière sur le quai. Cette mesure permet une amélioration de la tenue à quai de l'arrière du navire. Son effet ne peut pas être quantifié.

Dans le cas d'amarres en polyamide neuves, dont la RAR (Résistance À la Rupture) est de 120 tonnes, le tableau ci-après permet de déterminer les composantes longitudinales et transversales des efforts que les amarres étaient capables de supporter avant leur rupture, en considérant les angles du plan d'amarrage ce jour-là.

Forces de traction sur les amarres F _y et F _x à l'AR						Forces de traction sur les amarres F _y et F _x à l'AV					
$F_y = 120 \times \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \gamma$ et $F_x = 120 \times \cos \alpha \times \cos \beta \times \cos \gamma$											
Aussière	α	β	γ	Force F _y	Force F _x	Aussière	α	β	γ	Force F _y	Force F _x
1	45	60	45	59	-60	1	15	15	30	27	-115
2	45	15	45	18	-93	2	15	40	30	53	91
3	45	60	45	59	-48	3	45	110	45	64	-33
4	45	165	60	15	115	4	40	45	50	44	68
5	30	170	60	10	117	5	40	45	50	44	68
6	45	15	45	22	-93	6	45	135	60	42	-84
F totales				183 t	-62 t	F totales				274 t	-5 t

De ce tableau on peut déduire que l'amarrage du navire pouvait résister :

- sur l'arrière jusqu'à une force de l'ordre de 183 tonnes,
- sur l'avant jusqu'à une force de l'ordre de 274 tonnes.

En rapprochant ces valeurs de la valeur de la composante transversale de la poussée exercée par le vent sur le navire, soit 120 tonnes, on peut conclure que le plan d'amarrage, dans l'hypothèse d'amarres en polyamide récentes était adapté aux conditions de vent violent rencontrées.

Il est à noter que, dans le sens vertical, l'angle γ intervient par son cosinus. Une simulation effectuée avec une amarre plus proche de l'horizontale ($\gamma = 80^\circ$) induit une amélioration supérieure à 20% de la force de traction, ce qui peut être déterminant dans des circonstances comme celles-ci où des amarres se sont rompues.

4.2.3.3 La problématique de la dégradation des amarres

Plusieurs amarres se sont rompues suite au dépassement de leur charge maximale de rupture.

Au cours de la « vie » d'une amarre, plusieurs paramètres contribuent à altérer sa résistance à la rupture :

1. Épissures à chaque extrémité

La force de résistance maximale des amarres, avant rupture, donnée par le constructeur est valable pour une traction rectiligne sans épissure. Lorsque l'amarre porte une épissure (ce qui était le cas de la totalité des amarres disponibles à l'AV et à l'AR), la perte de résistance est de l'ordre de 10%.

2. L'humidité

La résistance à la rupture d'une amarre mouillée est réduite de 15%.

3. Amarres tournées sur les bollards du navire

Cette action diminue la résistance à la rupture de manière sensible. Ce n'était pas le cas pour le *PAGLIA ORBA*.

4. Usure sur les retours au niveau des chaumards à rouleaux

C'est le cas en particulier si ces derniers sont grippés

5. Exposition aux Ultra-Violet (UV)

L'exposition aux UV provoque pour les amarres en nylon (polyamide, copropylène, copolymère) la dépolymérisation des chaînes cristallines qui constituent leur structure.

6. L'élasticité des amarres et les étirements subis

L'analyse statique des amarres doit être complétée par une analyse dynamique. D'une part l'étirement des amarres, effet de leur élasticité, entraîne une diminution significative de leur résistance à la rupture. D'autre part l'élasticité d'une amarre est proportionnelle à la longueur filée.

7. La dégradation à l'usage et dans le temps

Les étirements successifs subis par les amarres en nylon provoquent une dégradation de leur structure chimique. Les chaînes cristallines composées de cristaux de polymères, une fois étirées, sont déformées de manière irréversible ce qui, dégrade leur force de traction et leur RAR.

4.2.3.4 La situation et l'état des amarres du *PAGLIA ORBA* le 20 novembre 2015

Toutes les amarres sur treuil, à l'avant et à l'arrière du navire sont en polyamide. C'est aussi le cas pour trois autres amarres de l'avant. Les autres amarres sont des amarres sorties de la réserve utilisées le 20 novembre pour renforcer l'amarrage, en conséquence, la nature de certaines d'entre elles n'a pas pu être précisée au cours de l'enquête.

Le tableau ci-après récapitule la situation des amarres utilisées le 20 novembre.

Arrière / N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Matériau	Copol.	Polyam	Copol	Polyp	Polyam	Polyam	Polyam	
Numéro	126	119	128	121	118	124	120	106
Diamètre (mm)	72	72	72	72	72	72	72	80
RAR	96,6	119	96,6	96,6	119	119	119	98,9
MES	août-15	juil-14	juil-14	oct-13	nov-12	sept-13	févr-13	mars-10
Service (en mois)	3	16	16	25	36	24	33	67
Avant / N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Matériau	Polyam	Polyam	Copol	Polyam	Polyam		Polyam	Polyam
Numéro	131	127	125	123	122	112	93	114
Diamètre (mm)	72	72	72	72	72	72	80	72
RAR	113	119	96,6	119	119	98	119	120
MES	juil-14	mai-14	mai-14	août-13	mars-13	déc-10	déc-08	févr-13
Service (en mois)	16	18	18	27	31	59	83	33

Tableau des amarres disponibles sur le PAGLIA ORBA.

Avec :	<i>RAR : Résistance à la rupture</i>	/	<i>MES : Mise en service</i>
	<i>Copol : Copolymère</i>	/	<i>Polyam : Polyamide</i> / <i>Polyp : Polypropylène</i>

Faute d'informations suffisantes le *BEA*mer n'a pas été en mesure d'établir une correspondance certaine entre le tableau ci-dessus du plan d'amarrage effectif et la chronologie des ruptures. L'analyse de la rupture des amarres n'a donc pas pu être individualisée.

Les amarres utilisées ont des caractéristiques théoriques de charge à la rupture élevée, de 120 tonnes (polyamides) à 96 tonnes (autres et amarres de réserve). Les certificats d'amarres mentionnent que certaines ont été «chavirées», c'est-à-dire qu'elles ont été retournées après un certain temps d'utilisation : le dormant devenant courant et vice versa. Il s'agit d'une pratique courante et habituelle à bord des navires.

Le TLL permet de connaître la résistance résiduelle à la rupture après un millier d'utilisations. Cette donnée est disponible chez le fabricant. Pour une amarre en polyamide, la réduction de résistance est de l'ordre de 50% après 1 000 « cycles » d'utilisation.

L'âge moyen des amarres est de 2 ans et 4 mois pour l'arrière et de près de 3 ans pour l'avant. Le *PAGLIA ORBA* effectue environ 650 à 700 manœuvres par an. Néanmoins, de nombreux amarrages, en particulier dans les ports de Corse ne sont effectués qu'avec 3 amarres.

La plupart des amarres en service le 20 novembre auraient effectué plus de 1 000 cycles d'utilisation.

Cette réduction de résistance auraient été aggravée par une exposition prolongée au UV. En effet, la plupart des transits du *PAGLIA ORBA* s'effectuent de nuit et les escales ont lieu pendant la journée. Par conséquent les amarres subissent une exposition continue au soleil pendant les nombreuses escales du navire (quelques centaines par an).

D'autres facteurs ont pu contribuer à la réduction de la résistance des amarres :

- La longueur des amarres : Dans le plan d'amarrage du 20 novembre, plusieurs amarres sont tournées courtes avec pour conséquence de réduire la résistance de l'amarrage.
- L'humidité : Il ne pleuvait pas ce jour-là, mais la présence d'embruns dus au vent est hautement probable.
- L'étirement des amarres : On ne peut pas écarter l'hypothèse que certaines amarres auraient subi dans le passé des efforts importants qui en auraient dégradé leur état structurel de manière non visible, au point de réduire plus encore leur résistance à la rupture.

4.2.3.5 Conclusion sur l'amarrage

Considérant la situation des amarres le 20 novembre telle que décrite précédemment, le *BEA*mer estime que la résistance initiale à la rupture de l'amarrage pouvait se trouver réduite jusqu'à 50%. Il en résulterait que les forces de résistance de l'amarrage à savoir, en particulier sur l'avant : 137 tonnes (274 t x 50%) n'auraient été au mieux que légèrement supérieures aux forces dues à un vent « décostant » de 50 nœuds soient 120 tonnes.

Lorsque la première amarre à l'avant s'est rompue, la tension supplémentaire subie par les autres amarres a dépassé leur résistance résiduelle à la rupture, entraînant leur rupture à intervalle resserré ainsi que le dévirage des treuils

Le plan d'amarrage était pertinent, toutefois la situation des amarres, compte tenu de leur service, notamment de la fréquence de leur utilisation, ainsi que des étirements évoqués plus haut, a contribué dans le contexte d'un vent exceptionnel ce jour-là, à la rupture de sept d'entre-elles. Il s'agit du **second facteur contributif** de cet accident.

4.2.4 Les treuils d'amarrage

À l'issue de l'événement du 20 novembre, l'état des treuils de l'avant a été altéré :

- sur le treuil-guinneau de bâbord, un morceau de la garniture de frein est cassé,
- sur le treuil central, qui a déviré, la garniture du frein a subi une usure prononcée,
- sur le treuil-guinneau de tribord, qui a déviré, la garniture du frein est également plus usée que la normale.

Il convient de noter que les garnitures de freins des treuils-guinneaux avaient été visitées et contrôlées une semaine auparavant (13 novembre), celles du treuil de l'avant l'avaient été six mois auparavant (19 mai).

Les amarres sur treuil étaient freinées. Leur tension était donc limitée à la capacité de tenue des freins mécaniques des treuils, de l'ordre de 56,5 tonnes. Lorsque, à la suite de la saute de vent, les forces dues au vent qui s'appliquaient sur le bordé du navire ont dépassé cette tension, les treuils ont déviré et les amarres sur treuil se sont distendues. Les efforts se sont alors reportés sur les seules amarres tournées sur les poupées des treuils. Leur CMR a été atteinte et elles se sont rompues. Les amarres sur treuil ont alors repris en continu la totalité des efforts qui dépassaient la capacité de freinage des treuils. Le système de commande automatique des treuils a alors actionné un dévirage à grande vitesse pour éviter la rupture de ces amarres.

La rupture des premières amarres a accru significativement les efforts et les contraintes qui s'appliquaient sur les freins des treuils ainsi que sur les autres amarres. Toutefois, si les freins avaient supporté la surcharge, les autres amarres se seraient vraisemblablement rompues.

4.3 Facteurs humains

4.3.1 La reprise de l'amarrage et le changement de poste

Compte tenu des prévisions météorologiques, du poste à quai attribué et du fardage du navire, le capitaine du *PAGLIA ORBA* a décidé de consigner à bord l'équipage de conduite pont et machine pour la nuit du 20 au 21 novembre. La machine était « parée à 10 minutes d'appareillage ».

Lorsque les amarres ont commencé à se rompre (à partir de 23h18), le capitaine a appelé l'équipage aux postes de manœuvre pour, dans un premier temps, envoyer de nouvelles

amarres. La manutention des amarres sur le quai a été assurée par le service du lamanage avec le renfort de membres de l'équipage d'un autre navire de la compagnie, le *PASCAL PAOLI* amarré à proximité.

Devant le risque de pénurie d'amarres en état, le capitaine a envisagé de quitter le port pour se rendre au mouillage à l'extérieur. Cependant, le port lui a proposé d'aller accoster au poste 7.

L'amarrage à ce poste a été rendu possible par la remise en état et le chavirage rapide des amarres par l'équipage (renforcé par une dizaine de membres du service AD SG) entre 23h45 et 00h15, ce qui a permis au capitaine, malgré la rupture de 7 amarres, de disposer dans un court délai des douze amarres nécessaires au ré-amarrage au poste 7.

4.3.2 Observation sur la disponibilité des propulseurs

Comme rapporté précédemment, le capitaine avait placé son navire et en particulier les machines à 10 minutes d'appareillage. Cette disposition incluait également la disponibilité des propulseurs. Dans l'exposé des événements on peut noter que le premier propulseur était prêt à fonctionner 5 minutes après l'appel par le capitaine de l'équipage aux postes de manœuvre, tandis que le second propulseur était quant à lui disposé 7 minutes plus tard.

Il est permis de s'interroger sur la pertinence qu'il y aurait eu à disposer préventivement les propulseurs en service, afin de soulager la tension sur l'amarrage dès que le vent avait commencé à tourner et à forcer aux environs de 23h00.

A posteriori on ne peut pas douter que cela aurait été utile compte tenu de l'enchaînement des ruptures d'amarres et de leurs conséquences.

Toutefois la fourniture de l'énergie électrique aux deux propulseurs, impose dans la conception et le bilan électrique du navire la mise en fonction d'au moins un alternateur attelé sur l'une des lignes d'arbre et donc la mise en service d'au moins un, voire deux moteurs de propulsion. Cette disposition n'est pas d'usage lorsque le navire n'est pas en manœuvre de départ ou d'arrivée. Elle ne pouvait être mise en œuvre que dans des situations jugées exceptionnelles. Or, vers les 23h05 au moment où le lieutenant effectue sa ronde d'amarrage, il constate que « bien que tendues, les amarres ne souffrent pas ». Toutefois à titre préventif un propulseur, plus probablement celui de l'avant aurait pu être laissé en service alimenté par les seuls groupes électrogènes du navire. Il n'est pas avéré que cette disposition, même si elle permettait de « soulager » la tension sur les amarres aurait été suffisante.

Compte tenu des constatations résultant de la ronde d'amarrage et des dispositions prises de renforcement de l'amarrage et de consigne des machines à 10 minutes le capitaine n'avait pas jugé nécessaire et utile, à ce stade, de mettre en service à titre préventif ni un propulseur alimenté par les seuls groupes électrogènes, ni les deux propulseurs auquel cas il aurait fallu démarrer les moteurs de propulsion. Le capitaine avait pris les dispositions de renforcement de l'amarrage et de consigne de l'équipage et de la machine qu'il avait jugées, adaptées et suffisantes aux conditions météorologiques annoncées dans le bulletin prévisionnel, c'est-à-dire jusqu'à force 9.

4.3.3 Conclusion sur le facteur humain

Le capitaine a pris les décisions initiales adaptées aux prévisions météorologiques dont il avait eu connaissance tant pour le plan d'amarrage, que pour la consignation de l'équipage et la disponibilité des machines du navire. La disponibilité immédiate du propulseur d'étrave disposé en préventif aurait probablement atténué la criticité de la situation sans écarter la nécessité d'une manœuvre rendue délicate pour regagner un poste à quai moins exposé.

L'intervention très rapide de l'équipage du navire, du lamanage, des remorqueurs portuaires et du pilote, ainsi que l'appui de l'équipage du *PASCAL PAOLI* ont évité une aggravation de la situation.

Aucun facteur humain n'a contribué à cet événement. L'efficacité des réactions des acteurs impliqués a permis d'éviter des conséquences plus dommageables.

4.4 Rappel du précédent du Napoléon Bonaparte

Dans la nuit du 27 au 28 octobre 2012, le *NAPOLÉON BONAPARTE* amarré bâbord à quai au poste 116 de la digue du large du port de Marseille subissant un vent de force 9 venant du secteur Ouest quart Sud-Ouest, avait rompu ses amarres et heurté le quai. L'avarie aux œuvres vives avait entraîné une voie d'eau, puis un envahissement du navire. Le *NAPOLÉON BONAPARTE* a été renfloué par la suite, mais l'importance des coûts de réparation du navire a conduit les assurances à déclarer le navire en perte totale.

Le rapport publié en octobre 2013 par le *BEA mer* avait établi que la cause principale de l'accident était due "aux écarts de tension entre les différentes amarres" (insuffisance de leur équilibrage).

En outre, « le navire était à un poste trop exposé, compte tenu du fardage du *NAPOLÉON BONAPARTE* et de l'orientation inhabituelle du vent. Enfin, si la propulsion avait été disponible, le navire aurait eu plus de facilité pour se maintenir en sécurité à quai » et, « s'il n'a finalement pas chaviré, c'est uniquement en raison de la faible hauteur d'eau du bassin ».

5 CONCLUSIONS

Lors d'un coup de vent particulièrement fort, le *PAGLIA ORBA*, amarré au poste 119 de la digue du large à Marseille a rompu plusieurs amarres. L'équipage, maintenu consigné à bord, assisté des services portuaires du lamanage du remorquage et du pilotage ont permis de stopper la dérive du navire, puis de le déhaler et de l'amarrer à un autre poste à quai moins exposé.

Malgré un plan d'amarrage optimal, les conditions de vent ont conduit à un dépassement de la résistance à la rupture des amarres, du fait de leur usure naturelle et des efforts importants subis ce jour-là.

Cette rupture d'amarrage a provoqué une avarie sur la coque au-dessus de la flottaison et la chute d'un « sifflet » de la rampe dont les conséquences auraient pu s'avérer très graves.

6 MESURES PRISES PAR L'ARMEMENT

Après l'événement du *PAGLIA ORBA*, l'armement a exclu du catalogue de commande d'amarres neuves les amarres qui ne sont pas de type coaxial en polyamide.

7 ENSEIGNEMENTS

1. **2017-E-11** : le port de Marseille connaît des épisodes de vent violent de secteur ouest qui peuvent affecter la sécurité des navires amarrés à la digue du large. Il doit en être tenu compte pour la sécurité des navires ainsi que des infrastructures.
2. **2017-E-12** : la dégradation de la résistance à la rupture des amarres, certes difficile à appréhender est généralement sous-estimée, en particulier dans le contexte du transport à courte distance.

8 RECOMMANDATIONS

Le **BEA**mer recommande :

À l'armateur **CORSICA Linea**

1. **2017-R-14** : d'intégrer dans le dispositif de suivi des amarres de ses navires les facteurs de dégradation des amarres, sans écarter la possibilité suivant leur service d'un remplacement systématique selon une périodicité à définir.
2. **2017-R-15** : de revoir ou prévoir dans le système de management de la qualité des navires une procédure d'amarrage et des dispositions adaptées à certains postes à quai pour prévenir les conséquences des situations météorologiques extrêmes parfois rencontrées dans le port de Marseille.

LISTE DES ANNEXES

- A. Liste des abréviations**
- B. Décision d'enquête**
- C. Amarrage**
- D. Météorologie**
- E. Calcul des coefficients aérodynamiques**

Liste des abréviations

ADSG	:	Agent Du Service Général	(personnel dit « hôtelier » et « restaurant »)
BEAmer	:	Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer	
EN	:	Effort Nominal	
ENSM	:	Ecole Nationale Supérieure Maritime	
ES	:	Effort Statique	
GPMM	:	Grand Port Maritime de Marseille	
MES	:	Mise En Service	
MSC	:	<i>Maritime Safety Comitee</i>	(Comité chargé de la sécurité maritime - OMI)
OMI	:	Organisation Maritime Internationale	
RAR	:	Résistance À la Rupture	
SNCM	:	Société Nationale Corse Méditerranée	
TU	:	Temps Universel	
TCLL	:	<i>Thousand Cycles Load Level</i>	
TPLM	:	Terminé Pour La Machine	(Fin de la manœuvre d'accostage)
UMS	:	Unité Métrique Système	
UV	:	Ultra-violet (rayonnement)	
VDR	:	<i>Voyage Data Recorder</i>	(Enregistreur de données de voyage)
VHF	:	<i>Very High Frequency</i>	(Très Hautes Fréquences)

Décision d'enquête



Bureau d'enquêtes sur
les événements de mer



Paris, le 30 DEC. 2015

N/Réf. : BEAmer

000010

D é c i s i o n

Le Directeur du Bureau d'enquêtes sur les événements de mer (BEAmer) ;

- Vu** le Code des transports, notamment ses articles L1621-1 à L1622-2 et R1621-1 à R1621-38 relatifs aux enquêtes techniques et aux enquêtes de sécurité après un événement de mer ;
- Vu** le rapport de l'Officier du Grand Port Maritime de Marseille concernant la journée du 20 novembre 2015 ;
- Vu** le rapport de mer du Commandant du transbordeur *PAGLIA ORBA* concernant la journée du 20 novembre 2015 ;

D É C I D E

Article 1 : En application des articles L1621-1 à L1622-2 et R1621-1 à R1621-38 du Code des transports, une enquête technique est ouverte concernant la rupture d'amarrage du transbordeur *PAGLIA ORBA*, le 20 novembre 2015 dans le port de Marseille.

Article 2 : Elle aura pour but de rechercher les causes et de tirer les enseignements que cet événement comporte pour la sécurité maritime, et sera menée dans le respect des textes applicables, notamment les articles du Code des transports susvisé et la résolution MSC 255 (84) de l'Organisation Maritime Internationale.

L'Administrateur en Chef de 1^{ère} Classe
des Affaires Maritimes
Philippe LAINE
Directeur du BEAmer

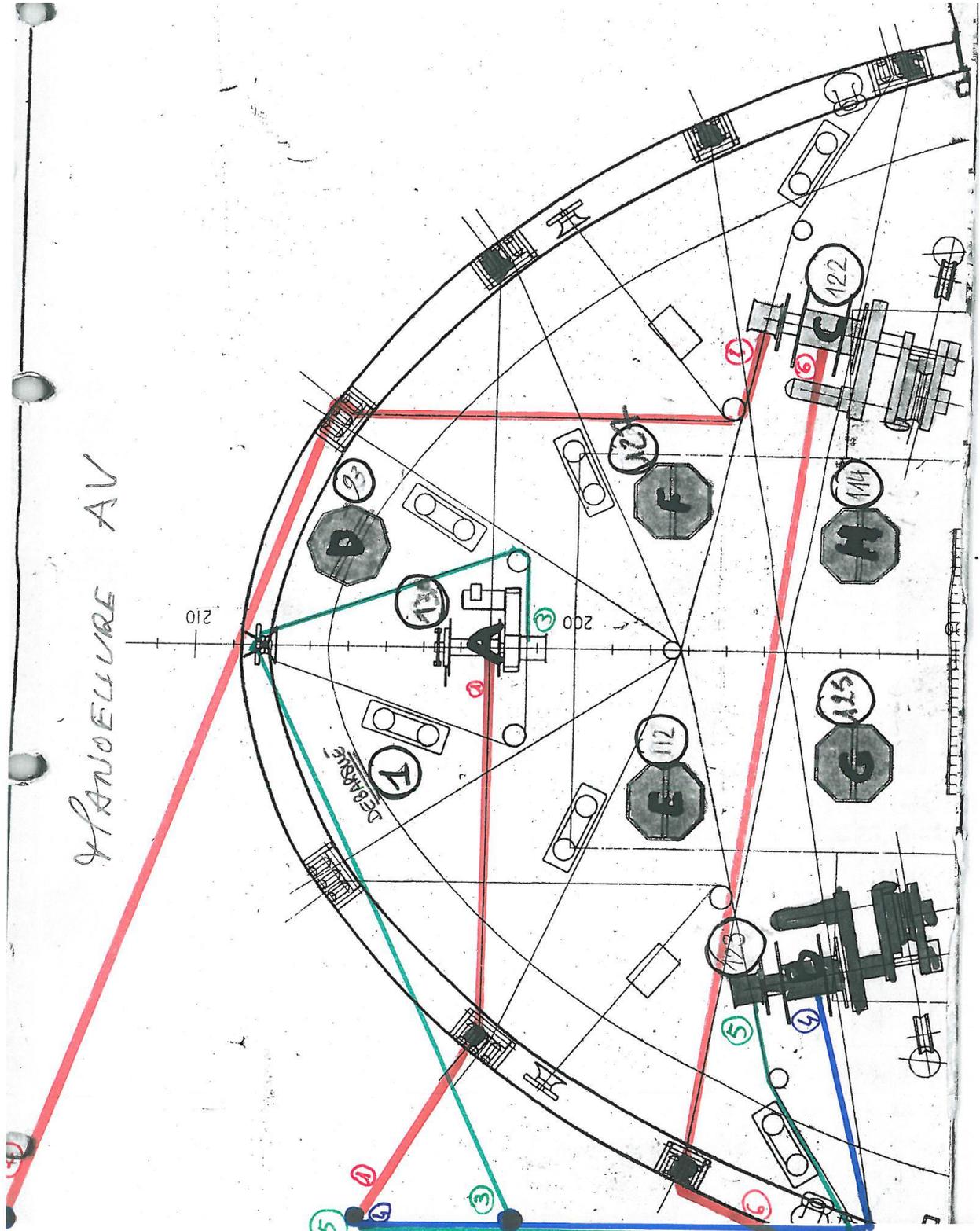
Ministère de l'Écologie,
du Développement durable
et de l'Énergie

BEAmer

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



Amarrage de l'avant



Bulletin météo

Le 20 novembre 2015 en soirée, les prévisions météorologiques dans la zone sont les suivantes (source Météorologie Nationale) :

Avis de Coup de Vent à localement force Ouragan N° 521 pour :

Languedoc-Roussillon, Provence, Côte d'Azur et Corse.

Situation générale vendredi 20 novembre 2015 à 12H00 UTC et évolution.

Anticyclone 1035 hPa sur l'Espagne, se décalant vers l'ouest sur l'Atlantique en soirée. Dépression 1013 hPa en mer Ligure, se creusant 996 hPa sur le Golfe de Gênes la nuit prochaine, puis prévue 986 hPa le 21 à 12 H UTC. Thalweg associé balayant le bassin par l'ouest.

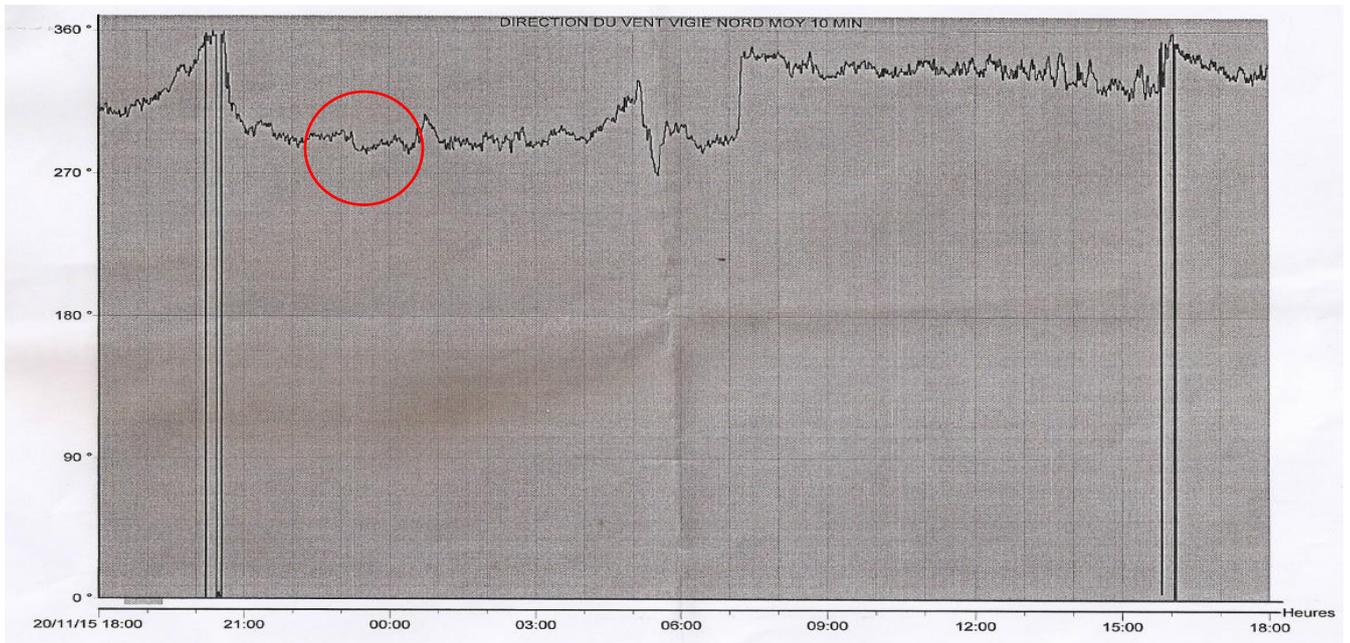
Prévisions pour la nuit du vendredi 20 novembre au samedi 21 novembre

Vent : - De Port Camargue à Marseille : Ouest 4 ou 5, fraichissant 7 ou 8 en soirée. - De Marseille à Saint-Raphaël : Ouest 7 ou 8, fraichissant 8 ou 9 en milieu de nuit. Fortes rafales.

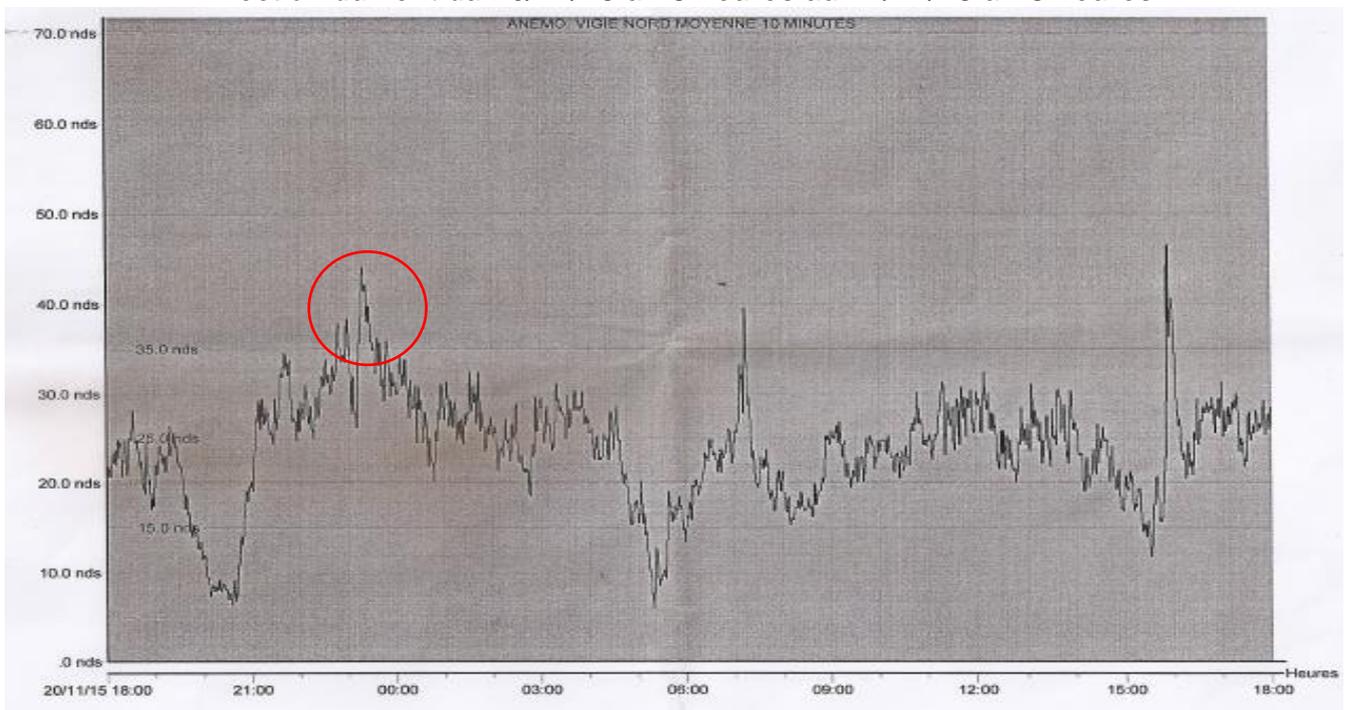


Extrait de la carte d'analyse de surface de Météo France émise le 21/11/2015 à 00h TU.

Météo, relevés de vent vigie nord



Direction du vent du 20/11/15 à 18 heures au 21/11/15 à 18 heures



Vent moyenné sur 10 mn du 20/11/15 à 18 heures au 21/11/15 à 18 heures

Le calcul des coefficients aérodynamiques

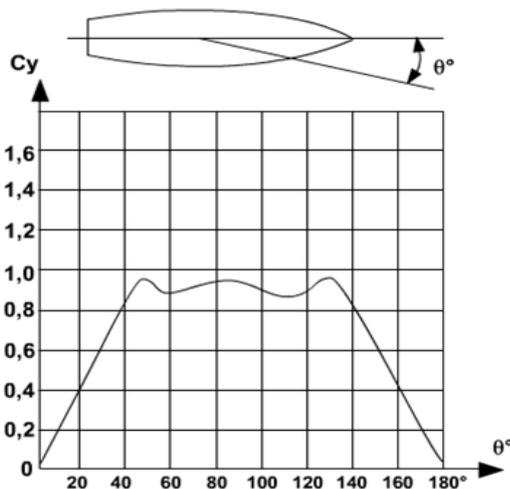
Les coefficients aérodynamiques

Bien qu'aucun essai en soufflerie n'ait été réalisé spécifiquement pour le *PAGLIA ORBA*, grâce aux expériences réalisées en laboratoire sur des formes de référence, on peut estimer le coefficient aérodynamique transversal C_y du navire, en divisant la surface latérale du navire en plusieurs zones élémentaires,



Répartition zones en surface	% surface latérale totale	forme	Coef C_y
Zone 1 (cheminée, passerelle)	15%	cylindre	0,5
Zone 2 (emménagements)	35%	Alvéolé (terrasses)	1,4
Zone 3 (coque)	50%	Plane (muraille)	1,1
Surface totale	100%	/	1,1

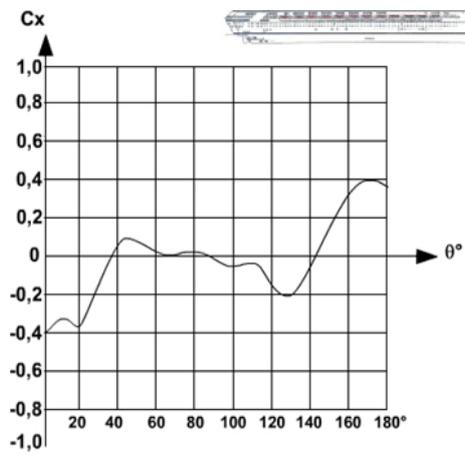
Le coefficient moyen par surface élémentaire est de l'ordre de 1,1.



Coefficient transversal total C_y

Ce coefficient est variable en fonction de l'incidence et il est maximal à partir de 50° . L'essentiel des efforts ayant été exercés ce jour-là pour des incidences comprises entre 30° et 44° , on retiendra un C égal à 1, qui donne, pour une incidence (gisement du vent) de 44° un coefficient transversal $C_y = C * \sin 44^\circ$ soit 0,7.

Le coefficient aérodynamique longitudinal, C_x ,



Coefficient longitudinal C_x

On estime le C_x à sa valeur maximale qui selon la courbe ci-contre est de l'ordre de 0,15 pour une incidence de 45°. Ceci correspond, pour une incidence (gisement du vent) de 44°, à un coefficient transversal $C_x = C \times \cos 44^\circ$ soit 0,11.



Ministère de la Transition écologique et solidaire

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

Arche sud - 92055 La Défense cedex
téléphone : +33 (0) 1 40 81 38 24
bea-mer@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr

