

**ESTIMATION DU RISQUE DE CHAVIREMENT SUR
FREGATE**

***ESTIMATION OF CAPSIZING RISK FOR FRENCH
FRIGATES***

J-Y. BILLARD*, P. VONNIER, E. MOGICATO**,
J-F. LEGUEN**, R. DITTA****

* Institut de Recherche de l'Ecole navale,
CC600, 29240 BREST ARMEES
jean-yves.billard@ecole-navale.fr

** DGA Techniques hydrodynamiques

Résumé

La prédiction des performances des voiliers nécessite la connaissance des efforts auxquels il est soumis. L'objet de l'étude présentée dans cet article est de substituer aux formules empiriques utilisées jusqu'à présent un calcul plus précis des efforts hydrodynamiques. Les résultats d'essais en bassin en traction droite, puis en gîte et dérive, sont comparés aux résultats obtenus par le code de résistance de vagues en fluide parfait REVA, avec condition de surface libre linéarisée. Nous décrivons ensuite le montage expérimental utilisé pour les essais, avec ses limites d'utilisation. Un autre montage devant permettre d'effectuer les essais avec plus de facilité est ensuite présenté.

Summary

The velocity performance prediction on sailing yachts needs to know the forces acting on the boat. The aim of this paper is to present another way of determination of hydrodynamic forces than the usual empirical expressions. We use therefore the perfect fluid code REVA adapted to sailing yachts with linearised free surface conditions to compare the results to the towing tank tests first for zero leeway and then with heel and leeway. We present here the measurement apparatus used to obtain hydrodynamic forces exerted on the yacht in heel and leeway, and its limitations. Another apparatus is then described, which is supposed to avoid the previous difficulties.

I – Introduction

La stabilité et la sécurité des navires sont deux domaines qui intéressent de longue date les architectes navals. Les critères retenus pour garantir la sécurité minimale acceptable pour les navires sont définis par l'OMI. Ils ont été élaborés tout au long du XXème siècle à partir de l'analyse de la stabilité des navires qui disparaissaient ou qui survivaient à différents évènements de mer [1,2].

Les connaissances scientifiques mises en œuvre dans ces études relevaient de la statique du solide alors même que les conditions dans lesquelles les accidents de mer conduisent à des chavirements relèvent de la dynamique en présence d'une excitation de nature stochastique. Les progrès réalisés en mécanique ces dernières décennies permettent aujourd'hui d'aborder ce problème difficile et d'affiner la définition des critères de stabilité qui devront être appliqués aux navires dans les prochaines années.

Un travail mené par le comité stabilité de l'OMI porte sur la stabilité à l'état intact du navire et doit conduire à la mise en place de critères de seconde génération [3–6]. Ces critères seront appliqués à partir du schéma présenté en figure 1.

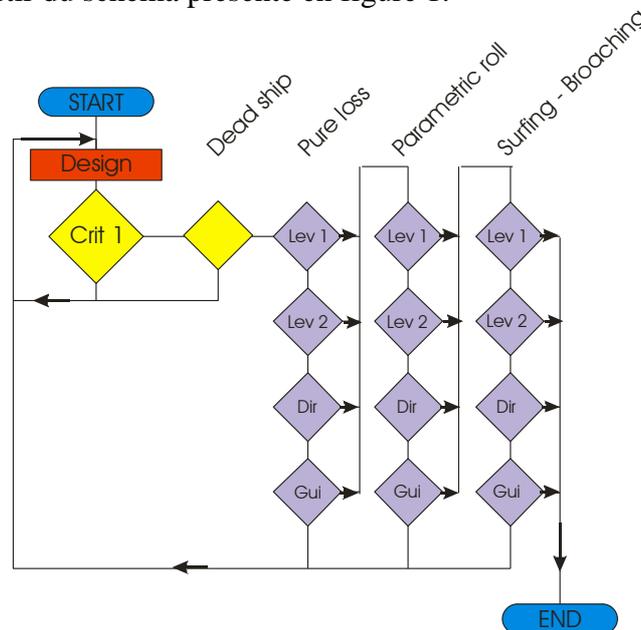


Figure 1 : Schéma d'organisation des critères de seconde génération.

En suivant le cheminement proposé par le schéma on remarque que la première étape consiste à vérifier les critères tels qu'ils sont définis actuellement et qui, pour la grande majorité des navires donnent entière satisfaction en procurant un niveau de sécurité accepté par toutes les parties en présence. Certains navires, dits non conventionnels, peuvent présenter des risques dynamiques mal identifiés alors même que les critères de première génération sont satisfaits. On peut citer par exemple le comportement des porte-conteneurs qui sont particulièrement sensibles au phénomène de roulis paramétrique. C'est pour améliorer la sécurité de ces navires non conventionnels que cette seconde génération de critères est en cours d'élaboration. Ils seront constitués, partie mauve de la figure 1, de plusieurs niveaux d'évaluation dont la complexité ira de façon croissante. Le premier niveau mettant en œuvre essentiellement des éléments de géométrie de la carène devra évaluer la vulnérabilité de la géométrie proposée vis-à-vis du risque considéré. Si le navire n'est pas vulnérable au premier type de risque sa vulnérabilité au second puis au troisième est évaluée et le navire est déclaré apte à la navigation. Lorsqu'une vulnérabilité est décelée par le critère de premier niveau vis-à-vis d'un risque de chavirement le critère de second niveau est appliqué pour quantifier l'amplitude du mouvement correspondant. Si cette amplitude reste modérée (inférieure au

maximum proposé par les standards que l'OMI devra préciser) le navire est déclaré conforme vis-à-vis de ce risque et le processus se poursuit. Dans le cas contraire une analyse directe de la probabilité de chavirement du navire devra être réalisée. Cette analyse pourra être complétée par des consignes de mise en œuvre (notées Gui pour « Guidance » sur le schéma) devant être appliquées par les équipes de passerelle du navire. Si le risque reste trop important la géométrie du navire doit être modifiée, dans le cas contraire le processus d'évaluation se poursuit jusqu'à l'acceptation de la géométrie proposée.

De nombreux travaux sont réalisés aujourd'hui pour proposer les critères de niveau un et deux qui seront adoptés par l'OMI. On citera en particulier les travaux récents de Belenky

En ce qui concerne l'analyse directe de la probabilité de chavirement des travaux sont également menés [7–9]. C'est dans ce domaine que le centre de Val de Reuil de DGA Techniques hydrodynamiques s'est impliqué et propose une méthode d'analyse de l'opérabilité des frégates. Afin de vérifier que la méthode proposée conduit des valeurs cohérentes de l'opérabilité la méthode est appliquée, dans le travail présenté ici, à des bateaux ayant, dans la deuxième moitié du XXème, présenté des risques avérés ou, au contraire, ayant été jugés comme très fiables par les marins qui les ont mis en œuvre.

II – Navires retenus

Les navires dont l'opérabilité a été évaluée sont au nombre de huit. Leurs caractéristiques principales sont présentées dans le tableau 1. Comme il peut être constaté ces navires ont navigués pendant de longues années, la plupart sans connaître de problème majeur de stabilité. Le seul qui a été reconnu de stabilité défaillante a été le Branlebas, torpilleur utilisé pendant la deuxième guerre mondiale.

Tableau 1 : Caractéristiques des navires de l'étude.

Navire	LPP (m)	Δ_{DCC} (t)	Année d'admission en service actif
Aconit	118	3 901	1965
Jeanne D'Arc	172	13 269	1961
Victor Schœlcher	98	2 133	1958
Colbert	175	11 165	1956
Surcouf	123	3 710	1956
Le Corse	95	1 701	1952
Branlebas	76	942	1937
La Galissonnière	172	9 218	1933

Les bâtiments sont tous antérieurs aux années 1970. Les données les concernant (plan de forme, devis de masse, appendices, compartimentage...) ont été recueillies aux Service Historique de la Défense de Châtelleraut dans des documents d'origine.

III – Opérabilité et conditions de calcul

III.1 Conditions et outils de calcul

L'opérabilité d'un navire est la probabilité qu'a ce navire de naviguer sans connaître de problème pendant toute sa durée de vie. L'opérabilité est donc définie par la formule :

$$P_{Op} = 1 - P_{Cap}$$

Où PCap est la probabilité de chavirement du navire. L'opérabilité est fonction des états de mer que le navire rencontrera et de la route qu'il prendra sur cet état de mer. Les hypothèses suivantes ont donc été faites :

- Le navire opère en atlantique et a une probabilité identique de se trouver en tout point de l'océan ;
- L'état de mer est monodirectionnel et répond à un spectre de Pierson-Moskovitz ;
- Le cap du navire par rapport à la direction de propagation de la houle est réparti de façon uniforme entre 0 et 360° ;
- La vitesse du navire est répartie de façon uniforme entre 5 kts et sa vitesse maximum. Pour chaque simulation la vitesse est évaluée en présence de la houle et maintenue constante par adaptation de la vitesse de rotation des propulseurs ;
- Chaque simulation est réalisée sur une durée d'une heure ;
- L'angle limite de roulis définissant le chavirement est fixé à 45° ;
- Le lacet a été bloqué pour éviter le chavirement par broaching.

Pour définir le chavirement du navire une condition de dépassement de seuil en roulis doit être imposée. Cette condition est fonction des caractéristiques statiques du navire (angle de disparition de la stabilité du navire considéré). Dans la présente étude cette limite a été fixée arbitrairement à la valeur la plus faible de l'angle de chavirement observé expérimentalement sur le navire le moins sûr de la série, le CMT. Lors des essais de ce navire il a été observé qu'il n'était jamais revenu en position droite après avoir subi un roulis supérieur ou égal à 45°. C'est donc cette valeur qui a été retenue comme critère de chavirement même si un navire comme la Jeanne d'Arc a subi des coups de roulis à 50° sans chavirer. C'est également cette valeur d'angle de chavirement qui permet une bonne corrélation entre les essais en bassin et les calculs numériques. Des travaux sont en cours pour adapter cette valeur à chaque navire.

L'ensemble des calculs a été réalisé à l'aide du logiciel FREDYN (V9.8) développé dans le cadre du CRNAV par MARIN et validé par l'ensemble des membres du CRNAV (UK, CANADA, EU, AUSTRALIE et FRANCE) [10].

III.2 Définition de l'opérabilité

Pour un état de mer donné l'opérabilité se définit à partir de la détermination de la polaire d'opérabilité du navire. Pour cela les probabilités de chavirement sont déterminées pour tous les couples (vitesse – cap) à partir de la probabilité de dépassement de seuil en roulis. Cette détermination est réalisée à partir de la méthode élaborée par Derbanne [11]. La courbe de réponse en roulis du navire est relevée sur une simulation d'une heure et les amplitudes successives, au nombre de N, de l'angle de roulis sont relevées et classées de la plus petite à la plus grande. Une probabilité expérimentale de dépassement est associée à chaque angle, n, de roulis :

$$P(R > R_n) = \frac{N - (n - 1)}{N}$$

Pour une simulation d'une heure sur un état de mer défini par Hs = 4,5 m et Tp = 8 s, cap au 90°, vitesse 15 kts les angles de roulis sont reportés sur la figure 2.

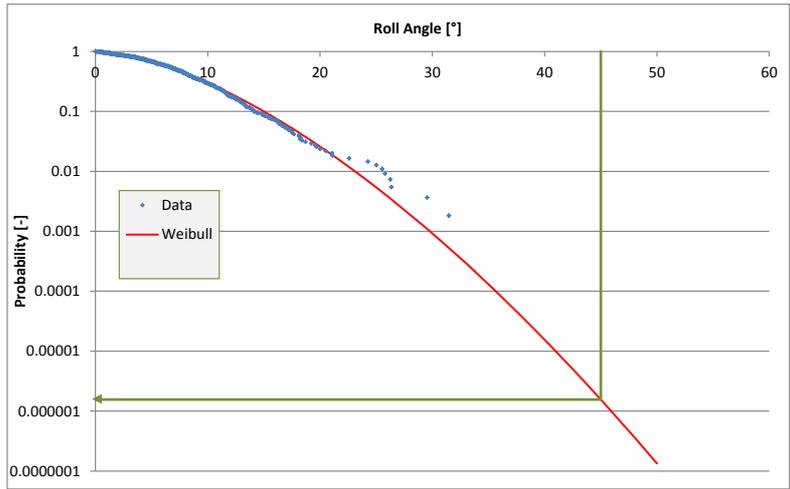


Figure 2 : Angles de roulis observés et loi de Weibull déterminée à partir des données.

A partir de cette courbe expérimentale la valeur de la probabilité de dépassement du seuil à 45°, p_i , est déterminée en supposant que les amplitudes du roulis suivent une loi de Weibull. Cette hypothèse faite par Derbanne [11] a été reprise ici mais une étude est en cours pour reprendre les travaux de Galtier [12] en les adaptant au roulis et voir si d'autres méthodes apporterait une amélioration à cette estimation de la probabilité de dépassement de seuil.

La prise en compte des différents caps et vitesses du bateau se fait en déterminant une valeur moyenne, $P_i(X)$, des probabilités p_i reportées sur la polaire de la figure 3.

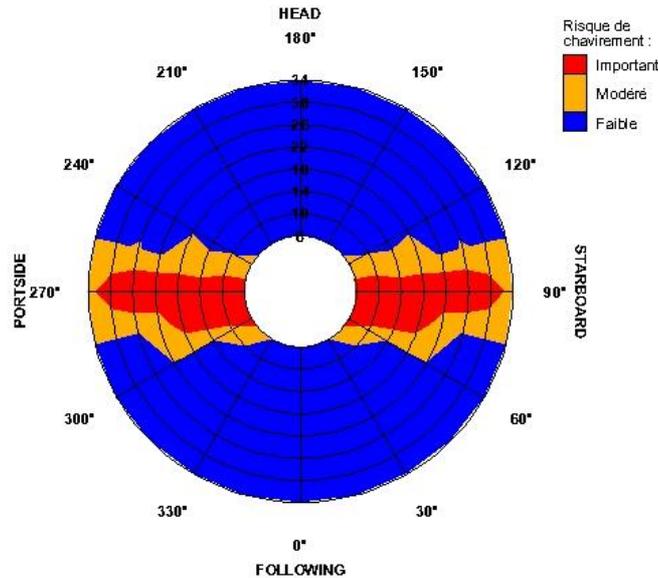


Figure 3 : Polaire de la probabilité de chavirement.

La probabilité à long terme est évaluée à l'aide d'un atlas de vagues décrivant la relation H_s-T_p pour l'atlantique (Atlas US Coast Guards). Cette probabilité est évaluée par :

$$P_{\text{cap}}(X, T) = \left(\sum_i \alpha_i P_i(X) \frac{T_{\text{ss}}}{T_{Z_i}} \right)^{\frac{T}{T_{\text{ss}}}}$$

Où α_i est la probabilité d'occurrence de la condition i (issue de l'atlas de vague), T_{Z_i} est la période de passage par zéro du mouvement de roulis sur cet état de mer, T_{ss} est la durée de l'état de mer (4 heures dans notre cas) et T est la durée totale pour l'estimation de la probabilité, 30 ans dans cette étude.

IV Résultats

Les valeurs de l'opérabilité ont été déterminées pour les n navires et sont reportées dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Opérabilité des différents navires de l'étude.

Navire	Opérabilité (%)	GMT (m)	Θ_s (°)
Aconit	96.15	1.577	93.01
Jeanne D'Arc	99.11	1.861	96.04
Victor Schœlcher	94.70	1.111	69.29
Colbert	95.43	1.089	80.66
Surcouf	85.36	1.252	65.71
Le Corse	95.51	0.947	70.88
Branlebas	86.37	0.652	84.95
La Galissonnière	99.38	1.510	84.41
Critères militaires		> 0.3 m	> 60 ° ou 55° selon le déplacement

Afin de juger de la pertinence de ce calcul les résultats obtenus ont été corrélés aux principaux critères de stabilité utilisés aujourd'hui. Pour certains de ces paramètres il existe une corrélation acceptable. Par exemple la figure 4 présente le GM transversal des bateaux en fonction de leur opérabilité. On remarquera une corrélation acceptable entre ces deux paramètres, corrélation qui conduit pour la limitée règlementaire de 0,3 m à une opérabilité de 84%. Sur le graphique tous les navires dont les données étaient disponibles ont été affichés.

GM_T en fonction de l'opérabilité

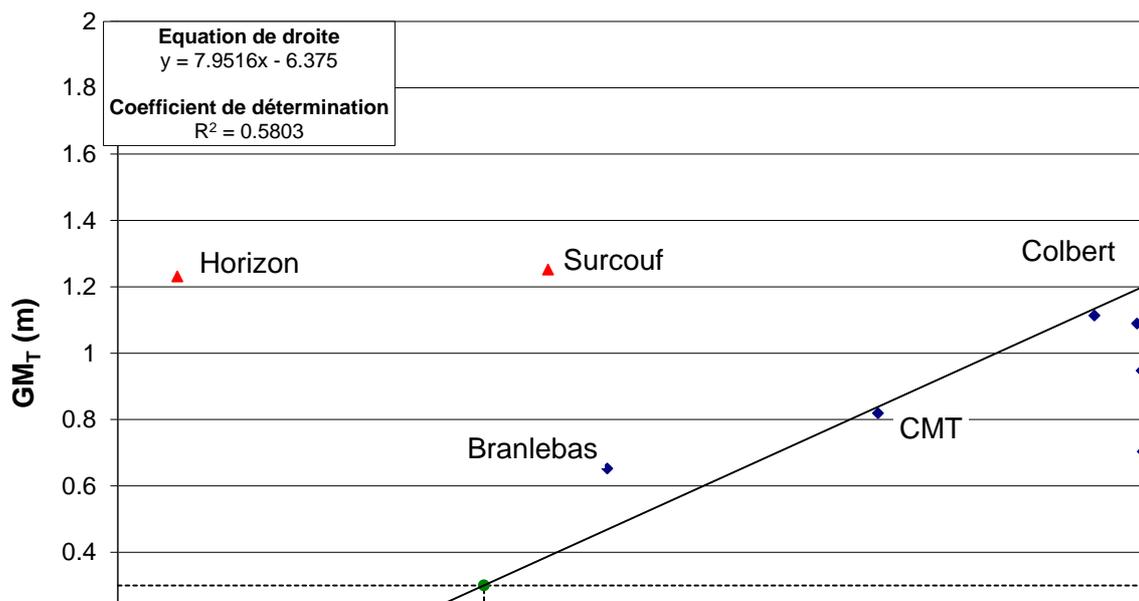


Figure 4 : GM transversal en fonction de l'opérabilité

D'autres paramètres sont par contre très mal corrélés. C'est le cas de la limite de stabilité, présentée sur la figure 5, pour laquelle la régression ne permet pas de définir une opérabilité limite. Ce paramètre n'est donc pas pertinent pour cette étude.

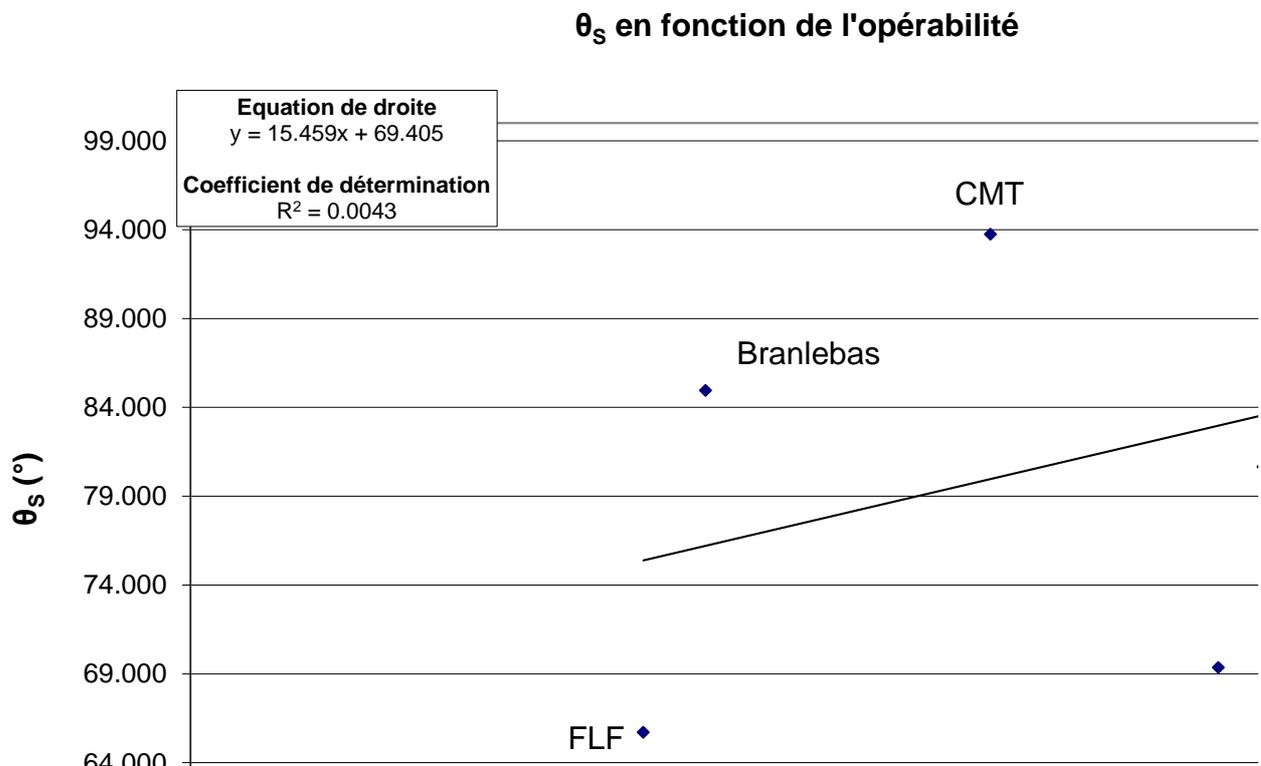


Figure 5 : Angle limite de stabilité en fonction de l'opérabilité.

En revanche, l'aire sous la courbe de stabilité, figure 6, présente une bonne corrélation et permet par comparaison avec la limite réglementaire de définir à nouveau une opérabilité limite pour ce critère.

Aire sous la courbe des GZ (jusqu'à 70° ou chavirement) en fonction de l'opérabilité

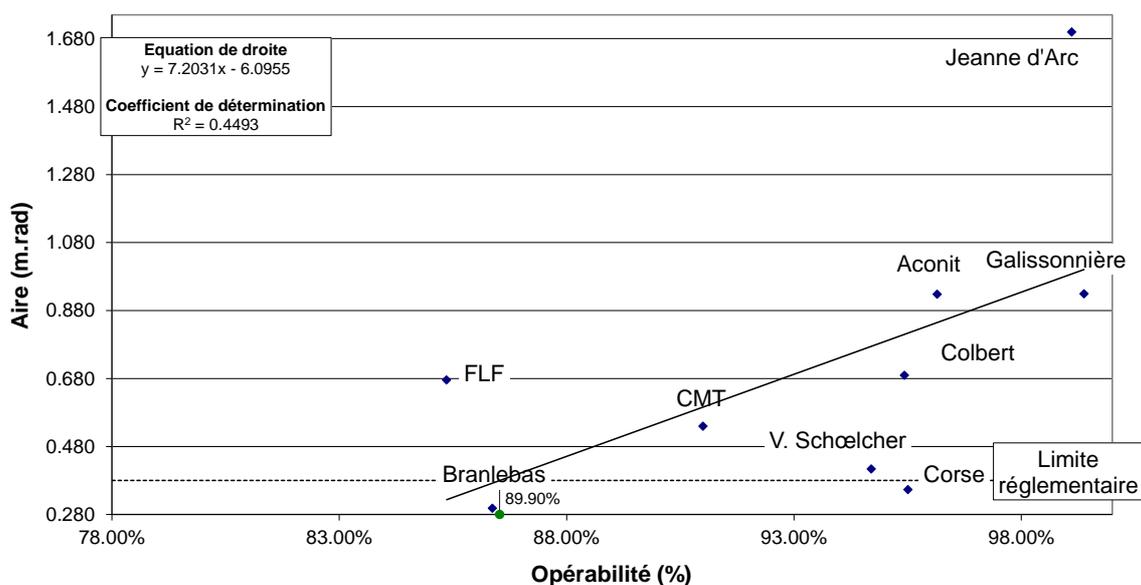


Figure 6 : Aire sous la courbe en fonction de l'opérabilité.

Les calculs sont pour le moment réalisés uniquement sur le DCC excepté dans le cas du Victor Schœlcher, figure 7, pour lequel les calculs ont été réalisés pour des chargements équivalents à 20% des consommables, 30% (DLO), 40% et 100% (DCC). On remarquera la décroissance importante de l'opérabilité qui passe de 95% à 83% pour cette plage de déplacement.

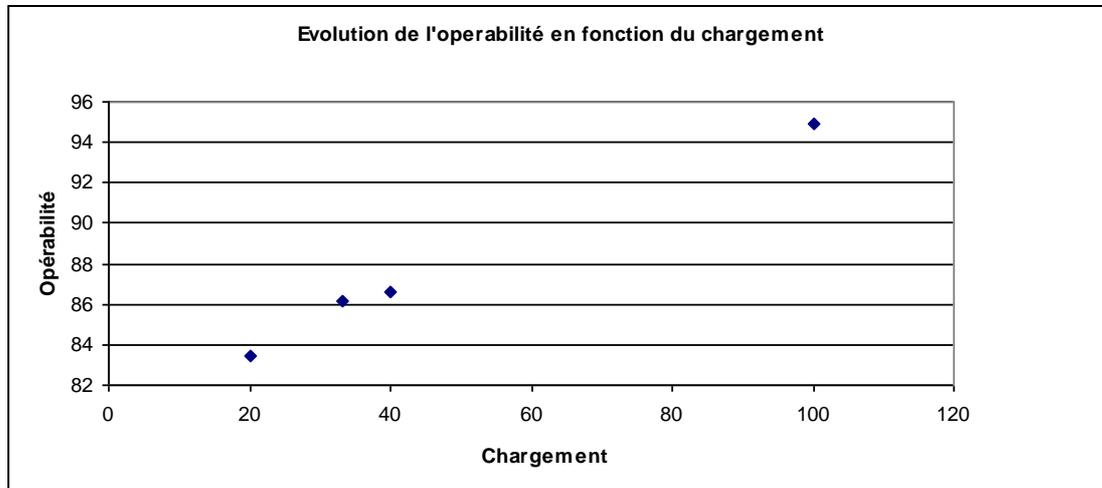


Figure 7 : Evolution de l'opérabilité en fonction du chargement (Victor Schoelcher)

Des calculs de différents déplacements pour l'ensemble des navires est en cours. De nouveaux navires sont également testés, comme le Farragut et le Fletcher, deux destroyers américains qui ont chaviré dans un cyclone en 1944. Ces naufrages ont par ailleurs permis à Sarchin et Goldberg [1] d'établir en 1960 les règlements militaires occidentaux qui sont actuellement utilisés.

V Conclusions

A l'issue de ce travail un critère global basé sur une définition de l'opérabilité d'un navire est proposé. Parmi les navires en service dans les cinquante dernières années, celui qui a connu des situations dangereuses et auquel des limitations d'emploi ont été imposées, a une opérabilité voisine ou inférieure au seuil issu de ce travail. Les navires réputés sûrs ont une opérabilité sensiblement supérieure à ce seuil.

A l'évidence la base de données, sur laquelle s'appuie ce travail, reste encore insuffisamment développée pour pouvoir en tirer des conclusions définitives. Malgré cela ce travail apporte la preuve qu'une approche statistique basée sur le comportement du navire peut fournir des indications plus précises que les critères actuels qui valident un dessin sans préciser le degré de qualité vis-à-vis du risque couru.

Remerciements

Ce travail a été financé par le Ministère de la Défense (DGA / Ecole navale).

Références

- [1] Sarchin T., and Goldberg L., 1960, "Stability and Buoyancy criteria for U.S. naval surface ships," SNAME Transactions, **70**, pp. 418–458.

- [2] Rahola J., 1939, "The judging of the stability of ships," Technical University of Finland.
- [3] Anonymous, 2009, SLF 52/3/3 Development of new generation intact stability criteria.
- [4] Francescutto A., and Umeda N., 2010, "Current status of new generation intact stability criteria," 11th International Ship Stability Workshop, Wageningen, The Netherlands, pp. 1–5.
- [5] Wandji C., and Corrigan P., 2012, "Test application of second generation intact stability criteria on a large sample of ships," 11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Athens, Greece, September 23-28, pp. 129–139.
- [6] Belenky V., de Kat J. O., and Umeda N., 2008, "Toward performance based criteria for intact stability," *Marine Technology*, **45**(2), pp. 102–120.
- [7] Peters W. S., Belenky V., and Reed A. M., 2012, "On regulatory framework of direct stability assessment," 11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Athens, September 23-28, pp. 115–128.
- [8] Falzarano J. M., Su Z., and Jamnongpipatkul A., 2012, "Application of stochastic dynamical system to nonlinear ship rolling problems," 11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Athens, September 23-28, pp. 21–27.
- [9] Blome T., and Krueger S., 2003, "Evaluation of the IMO Weather Criterion for Passenger Ships by Direct Calculation of Capsizing Frequencies," *Passenger Ship Safety*, (March).
- [10] van Walree F., 2012, "Development and validation of a time domain seakeeping code for a destroyer hull form operating in extreme sea states," pp. 583–591.
- [11] Derbanne Q., Leguen J., Dupau T., and Hamel E., 2008, "Long term non-linear bending moment prediction," 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Estoril, Portugal, June 15-20, p. 10.
- [12] Galtier T., Gupta S., and Rychlik I., 2010, "Crossings of Second-Order Response Processes Subjected to LMA Loadings," *Journal of Probability and Statistics*, **2010**, pp. 1–22.