



15^{ÈMES} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

22 - 24 novembre 2016 - Brest

Présentation des Travaux de Stabilité Dynamique des Navires à l'Etat Intact en Discussion à l'OMI

Presentation of Ships Dynamic Stability Works under Discussion at IMO

Clève WANDJI

Cleve.wandji@bureauveritas.com

Bureau Veritas – 8 Boulevard Albert Einstein – CS 32327, 44323 Nantes Cedex 3

Résumé

Des nouveaux critères de stabilité à l'état intact prenant en considération les conditions environnementales (houle et vent) sont en cours de développement au sein l'Organisation Maritime Internationale. Les différents modes de défaillance de stabilité dynamique sont identifiés ; il s'agit du roulis paramétrique, de la perte pure de stabilité, du broaching, des problèmes de stabilité liés au navire privé d'énergie et enfin des problèmes de stabilité liés à une grandeur raideur hydrostatique tels que les accélérations excessives. Ce papier rappelle brièvement le contexte et le but du développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact. Ensuite, une description du phénomène physique conduisant à la perte de stabilité pour les cinq modes de défaillance est présentée. Enfin, une discussion sur les différentes problématiques du calcul direct est faite.

Summary

Dynamic stability criteria are under development in the International Maritime Organisation (IMO). Different dynamic stability failure modes have been identified. They are: phenomena related to righting lever variation such as parametric roll and pure loss of stability, manoeuvring related problem in waves such as broaching, problem related to stability under dead ship condition and excessive acceleration. This paper presents firstly a brief review of the recent history of related IMO development, the context and the objective of the second generation intact stability development. Secondly a physical background of each failure mode is described. Last, the paper discuss about some aspects of the direct stability assessment.

1. Introduction

1.1 Contexte

Disposer d'une stabilité à l'état intact suffisante est l'une des exigences fondamentales pour tout type de navires. Des changements importants dans la conception, le design et l'exploitation des navires marchands ont eu lieu au cours des dernières décennies.

Ces changements et leurs impacts sur la stabilité à l'état intact ont motivé le développement de la seconde génération des critères de stabilité à l'état intact par le sous-comité sur la conception et la construction des navires (SDC anciennement appelé SLF) de l'Organisation Maritime Internationale (OMI).

Bien que différents critères de stabilité aient été développés depuis les années 1930 par les pavillons et les sociétés de classification, la première réglementation internationale en stabilité a été publiée en 2008 dans le code stabilité à l'état intact (IS Code 2008). Ce code est entré en vigueur en Juillet 2010, après adoption de la résolution MSC.267(85) par le comité de la sécurité maritime (MSC) de l'OMI.

L'origine des critères de stabilité de première génération à l'état intact qui sont les fondements de l'IS Code 2008 peut être reliée aux travaux du pionnier Rahola (1939), ainsi qu'aux premières versions du critère météorologique développé dans les années 1950. L'histoire du développement de ces critères et les phénomènes physiques associés, est bien décrite par Kobylinsky and Kastner (2003). Ces critères de stabilité à l'état intact de première génération ont été codifiés à l'OMI dans l'IS Code 2008 et font partie de la SOLAS et de la convention des lignes de charges depuis 2010.

Les critères de la partie A (partie obligatoire) de l'IS Code 2008 sont basés sur une approche empirique à l'exception du critère météorologique. Le critère météorologique est basé sur un modèle mathématique d'un navire en roulis sous l'action combinée d'un vent traversier et d'une houle de travers. Les paramètres du critère météorologique ont été calibrés en utilisant une gamme précise de navires, ce qui limite le champ d'application de ce critère en plus des hypothèses mathématiques utilisées.

L'introduction et l'utilisation de plus en plus fréquente de navires ayant des caractéristiques, des forme et des modes d'opérations différents des navires de références qui ont servis à l'élaboration des critères de première génération, ont révélés les limites des critères de stabilité à l'état intact actuels. Une série d'accidents liée à des problèmes de stabilité sur houle ces 20 dernières années, concernant des navires tels que : *APL China* (porte conteneur), *M/V Aratere* (ferry) ou le *Chicago Express* (porte conteneur) a clairement démontrée que les critères de stabilité actuels devaient être revus afin de prendre en compte les nouveaux phénomènes observés.

Les travaux sur le développement des critères de stabilité dynamique (stabilité sur houle) communément appelé au sein de l'OMI « critères de stabilité à l'état intact de deuxième génération » ont débuté avec l'établissement du groupe de travail sur la stabilité à l'état intact par le sous-comité de la stabilité et des lignes de charge et de la sécurité des navires de pêche (SLF aujourd'hui remplacé par le SDC). Des modes de défaillances de stabilité dynamique ont été identifiés, à savoir :

- Les problèmes de stabilité liés à la variation du moment de redressement tels que le roulis paramétrique et la perte pure de stabilité
- Les problèmes de stabilité liés à la manœuvrabilité sur houle tel que surf-riding et broaching
- Les problèmes de stabilité liés au navire privé d'énergie
- Les problèmes de stabilité liés à un grand rappel hydrostatique (grand GM) des navires tels que les accélérations excessives.

Dès les débuts du développement, un accent particulier a été mis sur la compréhension physique des phénomènes dynamique conduisant à la perte de stabilité et il a été convenu que les critères seraient développés en prenant en compte la physique du phénomène conduisant à la perte de stabilité. Ces considérations ont conduit à l'élaboration du plan de développement des critères de stabilité de seconde génération décrit dans le document SLF 50/4/4 et discuté pendant la 50^{ième} session du SLF. L'un des éléments importants de ce document est la définition des évènements rares et la prise en compte des problèmes de perte de stabilité sur houle comme des évènements rares.

1.2 Objectif des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact

Dans l'IS Code 2008 il est reconnu que la sécurité des navires en mer formé implique des phénomènes hydrodynamiques complexes qui n'ont pas encore été complètement étudiés et traités. Les mouvements du navire en mer formé peuvent être traités comme un système dynamique et les conditions environnementales (houles et vent) considérées comme excitation joueraient un rôle extrêmement important.

La détermination des grands (voir extrêmes) mouvements du navire est nécessaire et ceci inclue des fortes non linéarités. L'état de mer réel est un phénomène aléatoire décrit par un processus stochastique, ainsi une défaillance pour stabilité en mer doit également être considérée comme un phénomène aléatoire ; en plus, l'apparition du phénomène aléatoire est un évènement rare (période de roulis peut être considérée comme étant très faible en comparaison au temps d'apparition de l'évènement considéré (définition du SLF 50/4/4)).

Le phénomène de perte stabilité dynamique étant un évènement rare, rend de fait sa prédiction par les simulations numériques assez difficile. Néanmoins les solutions numériques existantes utilisent des codes hydrodynamiques du type potentiel, CFD ou hybride. Ces outils représentent l'état de l'art, leur utilisation est couteuse et requiert une expertise pour leur prise en main et une justification adéquate de la nécessité de leur utilisation, parce que tous les navires ne sont pas sujets aux différents modes de défaillance de stabilité dynamique.

C'est l'une des raisons pour lesquelles il a été convenu que le développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact se ferait selon une approche à plusieurs niveaux (voir Figure 1), les critères de niveaux 1 et 2 étant appelés critères de vulnérabilité. Si le navire est vulnérable aux critères de ces 2 niveaux, le navire est évalué en utilisant un calcul direct représentant l'état de l'art. Les critères de niveau 1 sont simples et conservatifs. Son but principal c'est d'établir une distinction claire et nette entre les navires non vulnérables à un mode de défaillance donné et ceux qui en principe pourraient l'être. Les critères de niveau 2 sont moins conservatifs que ceux de niveau 1, la physique du phénomène est pris en compte et le code de calcul de simulation numérique doit être rapide et facile d'utilisation.

La Figure 1 décrit la vision actuelle de l'approche multi-niveaux des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact. Dans ce processus, les critères contenus dans la section 2.2 de la partie A de l'IS Code 2008 sont appliqués. Ensuite le navire est testé aux critères de vulnérabilité de niveau 1 (L1) pour différents modes de défaillance (navire privé d'énergie, perte pure de stabilité, roulis paramétrique, broaching et accélération excessive). Si une possible vulnérabilité est détectée, les critères de vulnérabilité de niveau 2 (L2) sont utilisés, suivi par le calcul direct si nécessaire. Si le calcul direct montre un niveau de risque élevé au mode de défaillance considéré, les recommandations opérationnelles (OG) sont développées selon les règles du pavillon.

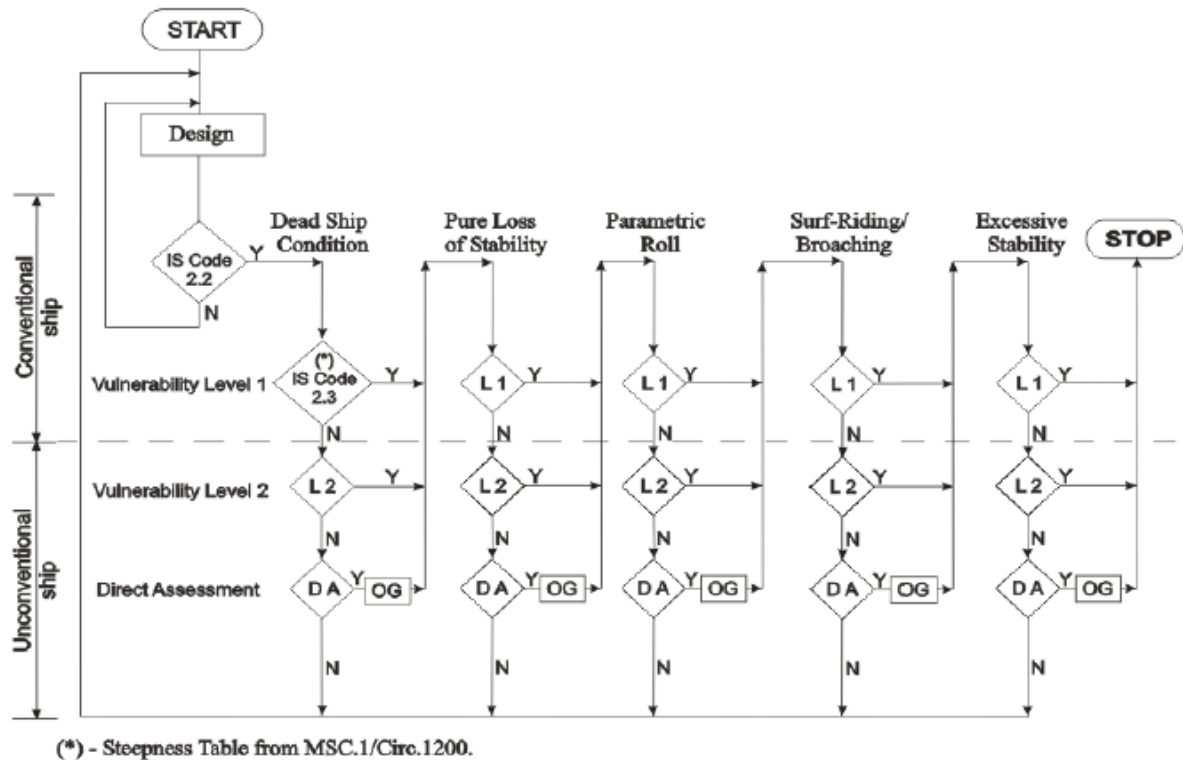


Figure 1 : Schéma du développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact

Ce papier présentera les critères de stabilité de seconde génération à l'état intact en cours de développement à l'OMI. Tout d'abord une description physique des phénomènes conduisant à chaque mode de défaillance sera présentée et ensuite une discussion des problématiques du calcul direct sera faite.

2. Roulis paramétrique

L'évolution des formes de coque a été plus marquante pour certains types de navires. Afin de conserver une vitesse service élevée sans augmenter la consommation, il a fallu donner des formes plus fines aux œuvres vives. Ceci a pour résultat d'entraîner une variation importante de la hauteur métacentrique (GM, qui représente également la valeur du couple de redressement) lorsque le flotteur se trouve alternativement sur une crête ou un creux de vague. Lorsque le navire est sur crête la surface à la flottaison diminue et par conséquent le GM diminue, lorsqu'il est sur un creux, la surface à la flottaison augmente et par conséquent le GM augmente (voir Figure 2).

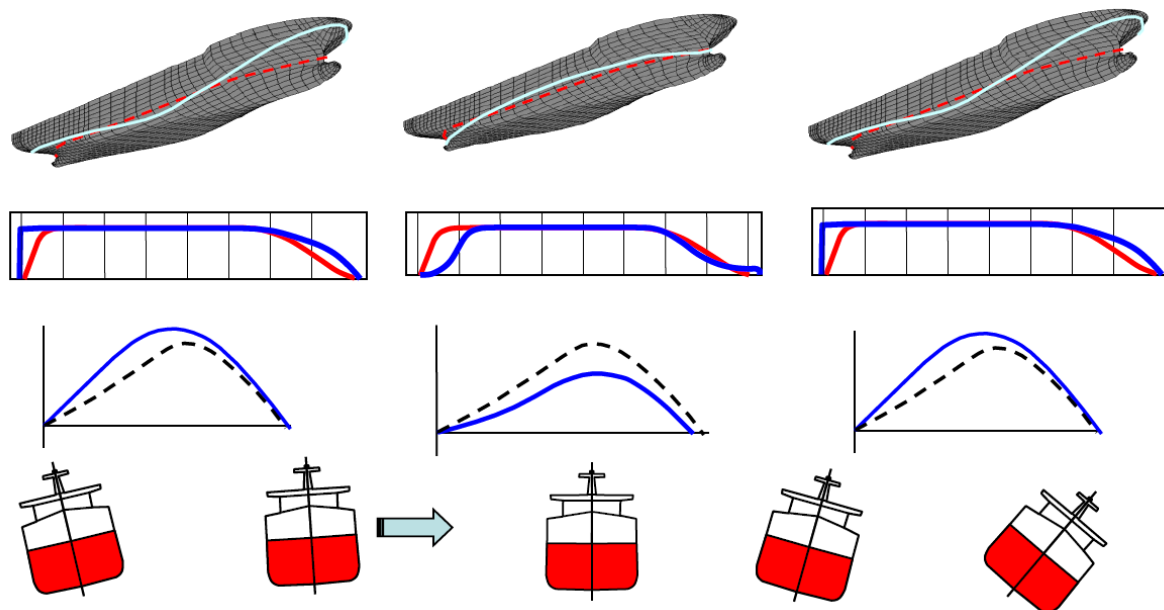


Figure 2 : Développement de la résonance par roulis paramétrique.

Lorsque le navire est écarté de la verticale (1^{er} quart de la période de roulis) et lorsque la stabilité augmente (passage d'un creux au milieu) le moment de redressement est plus important que le moment de redressement en eau calme et le navire a tendance à revenir plus vite à la verticale et à accumuler de l'énergie cinétique. À la fin du premier quart de la période de roulis, le navire repasse par la verticale et continue son mouvement de roulis de l'autre bord du fait de l'inertie. Pendant le 2^{ème} quart de la période de roulis, le navire rencontre une vague (crête au milieu de la coque) et le moment de redressement devient inférieur au moment de redressement en eau calme, le navire va donc continuer son mouvement pour atteindre un angle de roulis plus important. Au cours du 3^{ème} quart de la période de roulis, le navire rencontre une vague (creux au milieu) et le moment de redressement augmente à nouveau, atteignant une valeur supérieure au moment de roulis en eau calme, le navire accélère son mouvement de redressement et lors du passage à la verticale, l'énergie cinétique accumulée (fin du 3^{ème} quart de la période de roulis) et la diminution du moment de redressement (crête au milieu) entraînent un angle de gîte plus important à la période de roulis (voir Figure 3).

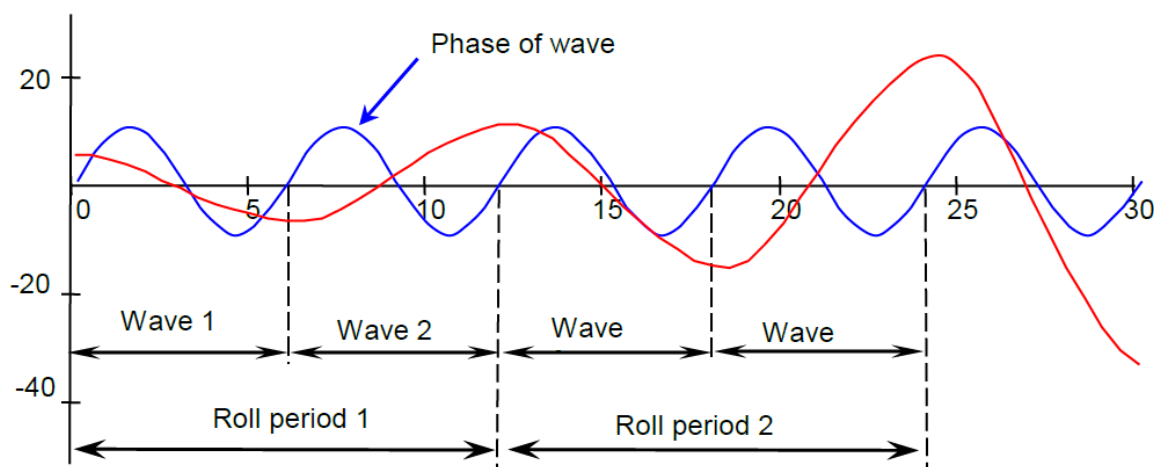


Figure 3 : Série temporelle de l'évolution du roulis paramétrique.

C'est la répétition de ce phénomène qui conduit à des angles de gîte extrêmes. Il est à noter qu'on a un demi-cycle de roulis pour un passage complet d'une vague, c'est-à-dire une période complète de roulis correspond au passage de deux vagues (voir Figure 3).

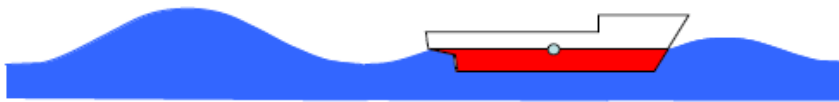
Pour que le roulis paramétrique s'établisse, il faut qu'un certain nombre de conditions soit satisfait : la surface à la flottaison doit varier de manière importante, l'amortissement en roulis doit être faible, la période des vagues rencontrées doit être proche de la demie période naturelle en roulis.

Le critère de vulnérabilité de niveau 1 ne prend en compte que la variation de GM et la taille des quilles anti roulis. Les critères de vulnérabilité de niveau 2 considèrent non seulement les paramètres du niveau 1, mais aussi la vitesse du navire est prise en compte.

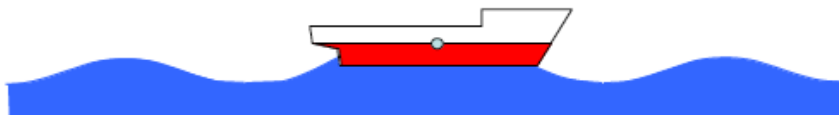
3. Perte pure de stabilité

La variation de la raideur hydrostatique sur houle est également à la base du mode de défaillance de la perte pure de stabilité. La dynamique de la perte pure de stabilité est différente de celle du roulis paramétrique. La perte pure de stabilité est étroitement liée à la diminution du GM sur houle et à la durée de cette diminution. Un possible scénario qui produirait une défaillance de stabilité causée par la perte pure de stabilité est représenté à la Figure 4.

Bateau naviguant avec une vitesse assez élevée, avec une houle de grande amplitude arrivant de l'arrière.



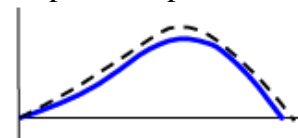
Une perte de stabilité pourrait se produire si le temps que met le navire sur la crête de la vague est assez long (vitesse \approx célérité).



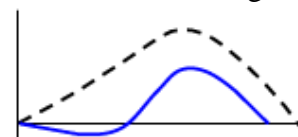
La houle de grande amplitude dépasse le navire, celui regagne de la stabilité



Courbe GZ, sur houle de petite amplitude



Grosse diminution de GZ sur crête de vague



Courbe GZ, sur houle de petite amplitude

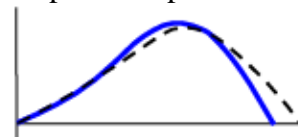


Figure 4 : Possible scénario conduisant à la perte pure de stabilité

La diminution importante du moment de rappel (GZ) sur crête de vague, n'entraîne pas automatiquement une perte de stabilité du navire. Afin que ceci se produise il est nécessaire d'avoir un moment inclinant extérieur. Ainsi sans moment inclinant, le navire resterait dans sa position d'équilibre, excepté le cas où le GM serait négatif. Un moment inclinant extérieur pourrait être le moment d'excitation en roulis causé par une vague oblique (quart arrière par exemple) ou un moment inclinant induit par une force centrifuge causée par la manœuvrabilité du navire.

Les critères de vulnérabilité de deuxième niveau consistent donc d'une part au calcul de l'angle de roulis pour un navire sur crête de vague et soumis à un moment inclinant extérieur. D'autre part dans le cas où la hauteur métacentrique serait négative, un critère est posé sur l'angle de gîte.

Le critère de vulnérabilité de niveau 1 est une version simplifiée des critères de niveau 2. Le calcul du GM sur crête de vague est utilisé pour le critère de niveau 1, alors que pour les critères de vulnérabilité de niveau 2 il est demandé de calculer les courbes de GZ sur houles.

4. Broaching

Ce phénomène apparaît lorsque le navire se trouve sur une pente de houle prononcée par mer de l'arrière ou quart arrière, le navire peut accélérer et partir en surf (planning). Lorsque le navire est dans cette position, il arrive qu'il puisse se trouver houle de travers ce qui lui fait courir le risque de chavirer comme conséquence des changements et prise de gîtes importantes. Ce deuxième phénomène s'appelle broaching. Le broaching est très souvent précédé par le surf.

Lorsqu'un bateau navigue par mer de l'arrière, on peut dire qu'il y a trois grandes forces qui agissent longitudinalement sur le flotteur (voir Figure 5). La poussée délivrée par un propulseur, la résistance qui s'oppose à l'avancée du navire et enfin les efforts d'excitation induits par la houle, plus précisément les efforts de cavement dans ce cas.

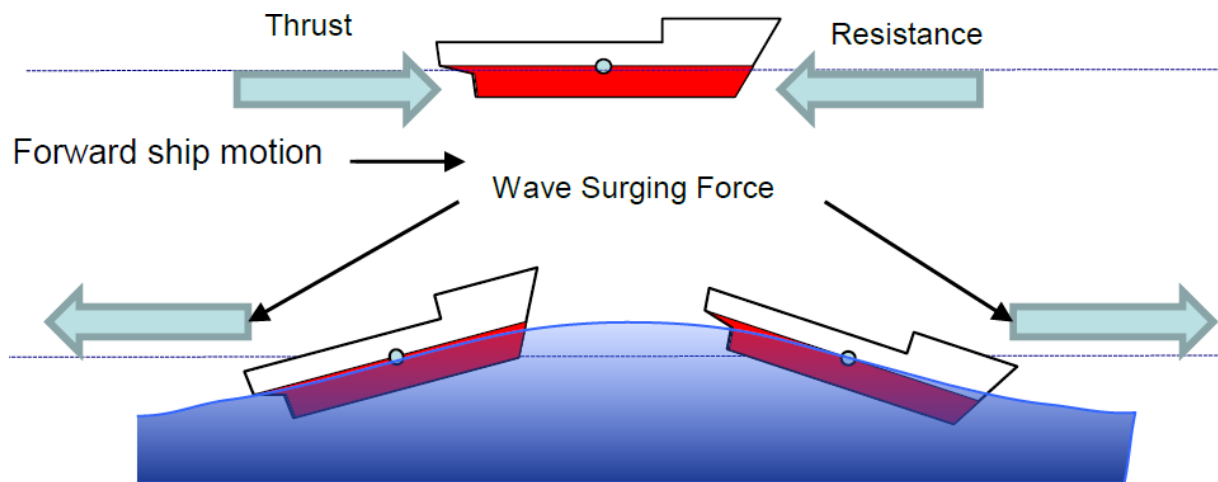


Figure 5 : différents efforts agissant sur le navire dans le cas d'une houle d'arrière

Les efforts de cavement accélèrent ou ralentissent le navire selon les cas. L'intensité de la force de cavement dépend de la position du navire sur la houle, de l'amplitude et de la longueur d'onde. Ainsi si on a une vague de caractéristiques suffisantes c'est-à-dire ayant une hauteur et une longueur pouvant accélérer le navire afin que sa vitesse soit égale à la célérité de la vague (condition essentielle pour que le navire parte en surf), on aura un effort de cavement suffisant pour compenser le manque de poussée qui permettrait au navire d'atteindre la vitesse de la célérité de la vague.

Cette situation crée deux points d'équilibre comme illustré sur la Figure 6, un point d'équilibre instable proche de la crête de vague et un point d'équilibre stable où le navire. Sur la Figure 6, la ligne horizontale noire représente la différence entre poussée délivrée par le propulseur à la vitesse du navire et la résistance à la célérité de la vague, la courbe en rouge représente les efforts induits par la houle et la courbe en bleue étant le profil de vague.

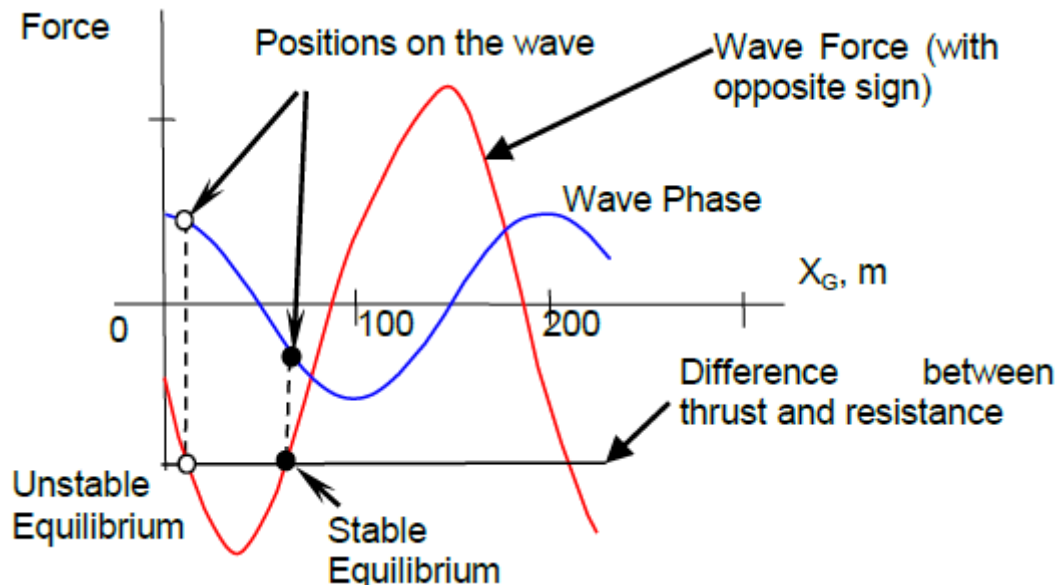


Figure 6 : Evolution des forces agissant sur le navire lors du surf

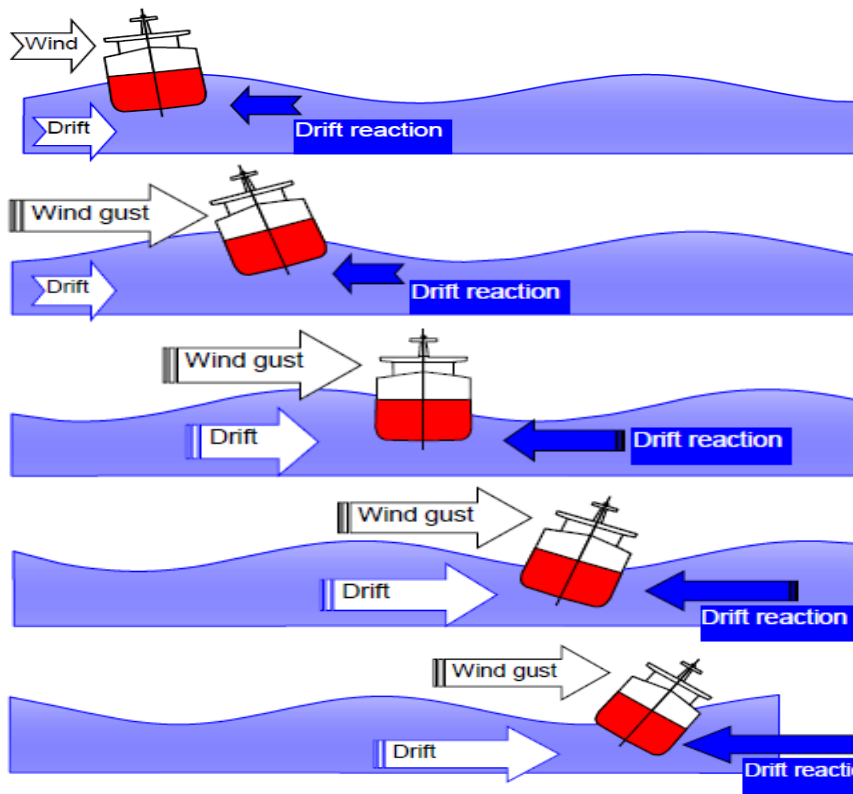
Le broaching étant presque toujours précédé par le surf, les conditions d'apparition de surf sont utilisées pour définir les critères de vulnérabilité du broaching.

Afin qu'un navire parte en surf, il faut que la longueur d'onde soit comprise entre une et trois la longueur du navire, la vague doit être assez cambrée (3 à 15%) pour produire un effort de cavalemt induit par la houle suffisant, et la vitesse de navire doit être proche de la célérité de la vague. Ainsi les grands navires (longueur supérieur à 200 m) ne pourraient pas partir en surf, car les vagues au-dessus de cette longueur ont une célérité très grande et cette vitesse (au-delà de 34 nœuds) est en générale très élevée pour les navires de cette taille. En outre ces navires ont également une très grande inertie, ainsi il ne serait pas facile aux vagues de les accélérer à leur célérité avant qu'ils (les vagues) n'aient le temps de passer le navire.

Les critères de vulnérabilité de niveau 1 sont très simples, ils ne prennent en compte que la taille du navire et sa vitesse. Les critères de vulnérabilité de niveau 2 sont calculés en déterminant la vitesse qui permet au navire de passer d'un mouvement de cavalemt pure au surf.

5. Navire privée d'énergie

Ce mode de défaillance a été le premier à être pris en compte dans les règlements (section 2.3 de l'IS Code 2008, partie A) il est également connu sous le nom de critère météorologique. Pour ce mode de défaillance on suppose que le navire ait perdu sa propulsion et soit sous l'action combinée des vagues et du vent. Un possible de scénario de ce mode de défaillance est décrit par la Figure 7.



Navire houle de travers, qui roule et dérive sous l'action des vagues et du vent

Une grande rafale de vent surgit quand le navire est incliné du côté du vent.

Le navire continue son mouvement de roulis et dérive dans le sens opposé.

Le mouvement de roulis s'accroît, car le moment inclinant est plus grand.

Moment inclinant plus grand parce que, la force de réaction hydro a augmenté

Figure 7 : Possible scénario d'un problème de stabilité lié à la perte de propulsion

Le critère de vulnérabilité de niveau 1 est représenté par le critère météorologique actuel, mais dans laquelle la table des cambrures est remplacée par une autre qui prend en compte des périodes de roulis plus grandes. Le critère de vulnérabilité de niveau 2 donne une probabilité long-terme qui dépend du temps d'exposition du navire sous l'action combinée de la houle et du vent.

5. Accélération excessive

Pendant les mouvements de roulis d'un navire, les objets haut placés par exemple en pontés parcourent une distance plus importante que ceux situés moins haut. La période de roulis étant la même pour tous les points du navire, pour parcourir une distance plus grande pendant la même durée, la vitesse linéaire elle aussi doit être grande. Etant donné que la vitesse change de sens chaque demie période, des grandes vitesses linéaires conduisent également à de grandes accélérations (voir Figure 8).

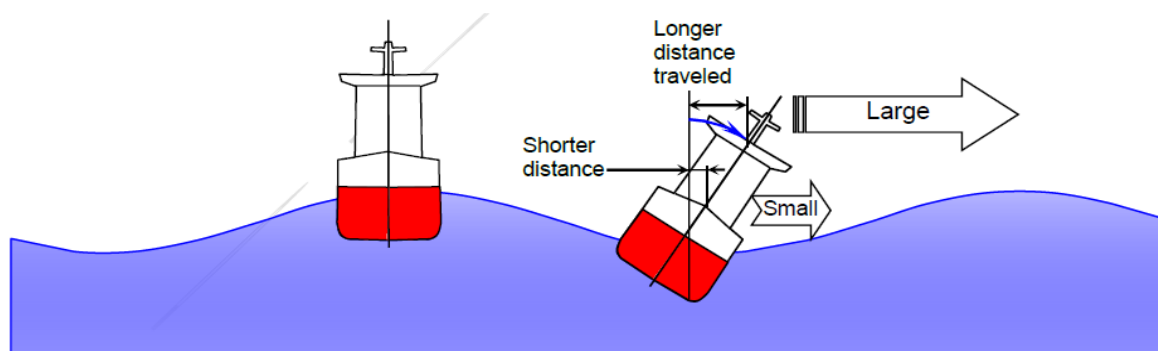


Figure 8 : Possible scénario des problèmes de stabilité lié aux accélérations excessives

Si la valeur de GM est élevée, la période de roulis est petite ; ainsi pour la même amplitude de roulis, la variation de la vitesse linéaire s'opère rapidement entraînant des grandes accélérations. Un grand angle de roulis peut être causé par plusieurs phénomènes. Certains de ces phénomènes sont déjà pris en compte dans les critères de stabilité de seconde génération à l'état intact à l'instar du roulis paramétrique, de la perte pure de stabilité et du broaching. Mais le roulis synchrone n'est pas couvert par les autres phénomènes. Le roulis synchrone est une amplification du mouvement du roulis qui apparaît lorsque la période de roulis naturelle du navire coïncide avec la période des vagues rencontrées.

Les critères de vulnérabilité de ce mode de défaillance ne sont pas encore finalisés et sont en cours d'élaboration.

6. Calcul direct et perspective

Une fois la vulnérabilité d'un navire pour un mode de défaillance donné établie, la prochaine étape serait de procéder à un calcul direct comme défini dans le plan de développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact.

L'objectif du calcul direct est double, d'une part c'est de disposer d'un outil qui permette une analyse détaillée dès la phase de design et d'autre part d'avoir un outil qui permette de définir les conditions opérationnelles spécifiques à un navire. Au cœur du calcul direct, on doit y avoir une méthode capable de reproduire avec fiabilité et fidélité les mouvements de navire dans des états de mer sévères.

L'état de l'art du calcul direct pour les phénomènes de stabilité dynamique est représenté par les essais en bassin ou des simulations numériques. Les simulations numériques utilisent les codes de calcul potentiels ou des codes de calcul CFD (Computational Fluid Dynamic).

Le principal avantage des codes potentiels actuels est que l'hydrostatique et les forces de Froude Krylov sur la surface mouillée déformée (en prenant en compte la déformation de la surface libre) peuvent être calculés de façon précise et très rapidement. Comme conséquence il n'est plus nécessaire de séparer les efforts de raideur aux efforts d'excitation, et ceci étant fait sous l'hypothèse de la linéarité. Le roulis paramétrique et la perte pure de stabilité étant principalement pilotés par les efforts hydrostatiques et de Froude Krylov, les codes potentiels pourraient être utilisés pour la modélisation de ces phénomènes.

Le calcul des forces de radiation et de diffraction dépendent de la technique utilisée pour la résolution du problème aux limites, ce qui créerait des écarts entre les résultats obtenus par différents codes de simulations numériques. La validation de ces outils est donc fondamentale s'ils doivent être utilisés dans un cadre réglementaire.

Les problèmes de stabilité liés à la manœuvrabilité sur houle tel que le broaching peuvent plus difficilement être modélisés à l'aide des codes potentiels, par exemple une estimation assez précise de la résistance à l'avancement et des courbes du propulseur est cruciale pour la modélisation de ce phénomène, ici l'utilisation des codes CFD pourraient être très intéressants. La validation des outils utilisés même dans ce cas est également fondamentale s'ils doivent être utilisés dans un cadre réglementaire.

Ayant en possession un outil de simulation validé et performant ne serait pas suffisant, car il faudrait savoir comment et dans quel cadre l'utiliser. L'utilisation de niveau de sécurité pour le développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact doit être prise en compte dans le développement des critères de stabilité dynamique (SLF 51/4/1 Annexe 2). Le niveau de sécurité pourrait être établi après un calcul probabiliste long terme. Pour effectuer un calcul long terme, il est nécessaire de conduire une série de calculs court terme du mode de défaillance en examen. Un calcul court terme se fait sous des conditions environnementales (houle et vent) bien précises. Les conditions environnementales déclenchant les différents modes de défaillance ne sont pas nécessairement les mêmes, d'où l'importance d'une bonne connaissance et modélisation de celles-ci. En outre, ces différents modes de défaillance sont des événements rares et les phénomènes concernés sont non-linéaires. Leur apparition pendant les simulations numériques demanderait des temps de calcul très long. La résolution des problèmes contenant des événements rares nécessite l'utilisation des techniques statistiques particulières d'extrapolation. Chaque mode de défaillance pourrait utiliser une méthode d'extrapolation spécifique et différente des autres en fonction de la physique du phénomène concerné (Peters et al.)

7. Conclusion

L'objectif principal de ce papier est de présenter les travaux de stabilité dynamique en cours de développement actuellement au sein de l'Organisation Maritime Internationale. A la fin de la rédaction de l'IS Code 2008, le groupe de travail sur la stabilité intact au sein de l'OMI s'est dédié au développement de nouveaux critères de stabilité dynamique non couvert par les règlements tels que la perte pure de stabilité, le roulis paramétrique, le broaching et les accélérations excessives.

Le développement des critères de stabilité de seconde génération à l'état intact se fait suivant un processus multi-niveaux. Etant donné que le calcul direct qui représente l'état de l'art demanderait beaucoup de ressources, des calculs de vulnérabilité (selon deux niveaux de critères) sont effectués afin d'exclure assez rapidement les navires qui ne seraient pas sujets au mode de défaillance considéré. Les critères de niveau 1 sont simples mais conservatif, alors que les critères sont moins conservatifs mais requièrent un peu plus de calculs.

Durant ces dernières années un effort considérable a été fait pour développer les critères de vulnérabilité pour tous les modes de défaillance. Et à ce stade les critères sont entrain d'être implémentés, testés et affinés. Les critères de vulnérabilité concernant les modes de défaillance roulis paramétrique, perte pure de stabilité et broaching sont presque matures (largement testés, affinés et acceptés), ceux concernant les autres deux modes de défaillance à savoir le navire privé d'énergie et les accélérations excessives ne sont pas encore complètement définis. La définition de tous les critères de vulnérabilité (niveaux 1 et 2) et pour tous les cinq modes de défaillance est très bien décrite et présentée dans les documents SDC 3/ WP.5 et SDC 2/ WP.4.

Le prochain objectif du groupe de travail consiste au développement des critères et de procédures nécessaires à la définition du calcul direct. Ce qui s'annonce comme un défi énorme, car non seulement les technologies les plus avancées devraient être utilisées, mais elles devraient également être disponibles et utilisables dans le monde entier.

Références

IMO SDC 2/WP.4, Report of the Working Group, London 2015

IMO SDC 3/WP.5, Report of the Working Group, London 2016

IMO SLF 50/4/4, Framework for the Development of New Generation Criteria for Intact Stability, Submitted by Japan, the Netherlands and United States, London, 2007

IMO SLF 51/4/1, Report of the Intersessional Correspondence group on Intact Stability, Submitted by Germany, London, 2008

Kobilinsky, L. H. and Kastner S. (2003), “Stability and Safety of Ships: Regulation and Operation.” Vol. 9 of Elsevier Engineering Book Series, Elsevier, Amsterdam

Peters W., Belenky V., Bassler C., Spyrou K., Umeda N., Bulian G. and Altmayer B. (2011), “The Second Generation of Intact Stability Criteria: An Overview of Development” SNAME Annual Meeting & Production Symposium, Houston.

Rahola, J. (1939), “The Judging of the Stability of Ships and the Determination of the Minimum Amount of Stability.” Ph.D. Thesis, Helsinki, Finland.