

10^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

Nantes, 7, 8 et 9 mars 2005

ETUDE EXPÉRIMENTALE DU TOSSAGE SUR UN NAVIRE

EXPERIMENTAL STUDY OF SHIP SLAMMING

J.-M. ROUSSET*, N. COUTY, J.L. TOULARASTEL*, B. PETTINOTTI*,
P. FERRANT***

* Equipe Hydrodynamique et Génie Océanique, LMF - UMR 6598 CNRS / Centrale Nantes
1 rue de la Noë, BP 92101, 44321 Nantes Cedex 3

** Principia
1 rue de la Noë, BP 22112, 44321 Nantes Cedex 3

Résumé

Une campagne d'essais sur le tossage d'une carène de navire est réalisée dans le cadre d'un projet national de recherche. L'objectif majeur de ces mesures est de recueillir des données expérimentales afin de valider les codes numériques prenant en compte le phénomène d'impact du fluide sur la structure. La modélisation physique originale et l'instrumentation mise en oeuvre sont détaillées. Une comparaison entre résultats numériques et expérimentaux est effectuée pour le cas d'un impact vertical sur eau calme. Elle montre un bon accord entre les deux approches pour les chargements impulsifs locaux et globaux.

Abstract

Slamming experiments on a ship hull are performed within a national research project. The main goal of these tests is to collect experimental data in order to validate numerical simulations when they are taking into account fluid impacts on structures. The innovative physical model and the instrumentation are described. A comparison between numerical and experimental results is presented for a vertical impact on calm water. A reasonable agreement is found between these two approaches according to local and global loads.

I. INTRODUCTION

Dans un contexte économique exigeant, la durée de vie d'un navire et en particulier l'intégrité de ses structures doivent être estimées de façon réaliste. Afin d'atteindre cet objectif, les chargements induits par la mer sur les navires doivent être préalablement connus, estimés numériquement de manière fiable et validés expérimentalement. Ils seront alors mieux pris en compte dès la conception du navire.

Parmi les chargements s'exerçant sur un bateau, certains sont impulsifs et constituent le tossage (ou "slamming"). Ce phénomène violent peut affecter différents éléments du navire, au niveau de l'étrave ou de la voûte arrière, entraînant des problèmes de vibration nuisibles au confort ou des dommages dont les réparations peuvent s'avérer coûteuses.

Nous présentons ici une étude expérimentale du tossage sur un navire réalisée dans le cadre de CYCLOPE, projet "Performance" du Ministère de l'Industrie réunissant différents partenaires (Principia, Bureau Veritas, Centrale Nantes, Chantiers de l'Atlantique) avec la collaboration du Bassin d'Essais des Carènes.

II. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'étude présentée ici constitue une première étape visant à fournir des données expérimentales nécessaires à la validation des codes numériques prenant en compte des occurrences de tossage et à étudier la sensibilité des chargements aux variations de paramètres cinématiques.

Ce phénomène, engendré par l'impact d'une partie de navire sur la houle, est particulièrement complexe et non-linéaire. Les vitesses relatives et les angles relatifs à l'impact sont déterminants sur le caractère impulsifs de ces chargements. Il reste cependant difficile de prédire l'influence de ces charges sur les efforts internes de la poutre navire, en particulier sur le moment fléchissant [Senjanovic, 2003].

Il apparaît également nécessaire de mieux connaître le phénomène physique de l'impact de l'eau sur des éléments d'un navire. Les voûtes de navires ont par exemple été l'objet d'études expérimentales [Kapsenberg, 2002]. On constate toutefois un manque de données expérimentales concernant des formes tridimensionnelles complexes alors que cette problématique touche tous les concepteurs de navire.

Dans cette phase du projet CYCLOPE, nous procédons à une simplification de l'approche en procédant à des essais en eau calme et en forçant les mouvements du navire. Nous avons alors accès :

- à la cinématique du navire, puisqu'elle est imposée ;
- à la reproductibilité du chargement en une zone déterminée de la carène ;
- à la dynamique de la surface libre dans la zone d'impact ;
- aux efforts locaux et globaux exercés sur le navire.

III. CAMPAGNE DE MESURE EXPÉRIMENTALE

Dans le cadre du programme CYCLOPE, les partenaires ont été confrontés au choix d'une forme de carène qui devait constituer une référence commune aux études expérimentales et numériques. Elle devait en particulier correspondre aux préoccupations actuelles de l'industrie et des chantiers navals. Le navire retenu dans le cadre de cette étude a ainsi été un paquebot présentant des caractéristiques communes à de nombreux navires récents .

La carène référence dans CYCLOPE présente ainsi un bulbe affleurant la surface libre, une étrave relativement fine se prolongeant par des couples carrés. La voûte est relativement plane et au niveau de la ligne de flottaison. La figure suivante donne un aperçu des formes de la carène.

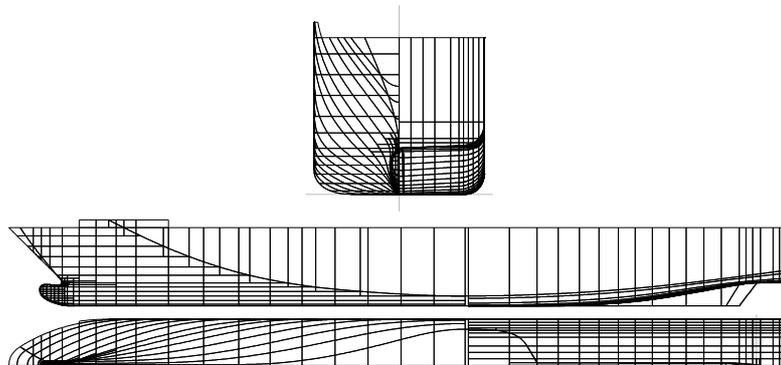


Figure 1: Formes générales du navire retenu pour l'étude

La maquette du navire utilisée dans cette étude a une longueur totale de 3 m pour une largeur maximale de 0,32 m. Afin de s'assurer d'une rigidité longitudinale élevée et d'une masse propre raisonnable, la carène a été construite en matériaux composites. Des couples en contre-plaqué ont été également mis en place pour augmenter la rigidité transversale et reprendre les efforts de torsion.

La campagne de mesures s'est déroulée au printemps 2004 dans le Bassin d'Hydrodynamique et Génie Océanique du LMF (UMR 6598 CNRS - Centrale Nantes). Cette cuve a une longueur de 50 m, une largeur de 30 m et une profondeur constante de 5 m. En plus des essais en mouvements forcés sur eau calme que nous présentons dans les paragraphes suivants, plusieurs essais en maquette captive sur houle régulière unidirectionnelle ont été réalisés.

Le dispositif de génération des mouvements forcés.

L'objectif est de forcer les mouvements de la maquette afin de la mettre dans des conditions prédéterminées d'impact sur la surface libre et d'enregistrer les charges locales et globales qui s'exercent sur le modèle.

Pour cela nous avons décidé de mettre en oeuvre un dispositif de génération des mouvements à 6 degrés de liberté existant au laboratoire et principalement conçu pour reproduire des mouvements de plate-forme dans le cadre d'études d'agitation de liquide dans des cuves. Cet appareil est un hexapode constitué d'une base rigide sur laquelle est monté un faisceau de 6 vérins électriques commandés par ordinateur. Les extrémités des vérins sont liés à une plate-forme triangulaire rigide par l'intermédiaire de cardans.

Pour nos essais, l'hexapode est retourné et boulonné au sommet d'une structure porteuse posée sur le fond du bassin. Cette structure métallique tripode, conçue au laboratoire, est mécano-soudée, d'une hauteur de près de 8 m pour une masse proche de 7 tonnes. Ses caractéristiques font que le premier mode de vibration du dispositif (en eau) est mesuré à plus de 6 Hz. La photo suivante présente le montage expérimental lors de la campagne dans le bassin d'essais.



Figure 2: Le montage expérimental comprenant le tripode, l'hexapode, la balance et la maquette

L'instrumentation associée aux essais

- Positions au cours du temps

Parallèlement à la consigne envoyée à l'hexapode, un système d'enregistrement des positions de la maquette au cours du temps permet d'acquérir ses 6 degrés de liberté rapportés au centre de gravité de la maquette.

- Mesure des chargements globaux

Les chargements globaux appliqués à la carène sont enregistrés par une balance de type "plateau" située à l'interface de la maquette et de l'hexapode. La balance est très rigide et munie de 4 capteurs 3D à quartz (cellules Kistler 9251), un à chaque coin des plateaux. Les charges globales appliquées à la maquette sont ainsi mesurées selon les 6 degrés de liberté.

- L'instrumentation de la maquette

La carène de la maquette est instrumentée de capteurs de pression et de capteurs de forces répartis sur la proue et la poupe de la maquette. Ces deux types de capteurs mesurent les pics de pression générés sur la carène, soit de façon ponctuelle, soit intégrés sur une petite surface et donc convertis en forces exercées localement.

Les capteurs de pression sont des capteurs miniatures Druck PDCR 200 dont la surface sensible a un diamètre inférieur à 4 mm. Chaque capteur est maintenu par un insert en aluminium collé à l'intérieur de la maquette afin que la membrane affleure la carène.

La proue (entre les couples 15 et 21) est instrumentée de 11 capteurs, dont 4 dans la quille, et la poupe de 7 capteurs entre les couples 0 et 3. Tous les capteurs de pression sont situés sur tribord comme le montre la figure 3.

Placés sur bâbord et symétriquement aux mesures de pression, la carène est également pourvue de 4 capteurs de forces unidirectionnels TME 521 TC maintenus contre la paroi interne par des inserts en aluminium. Deux sont sur la proue (de part et d'autre de la ligne de flottaison) et les deux autres sont sur la voûte arrière. Ils mesurent une force hydrodynamique qui s'applique sur un disque de diamètre 50 mm suivant la normale locale à la carène.

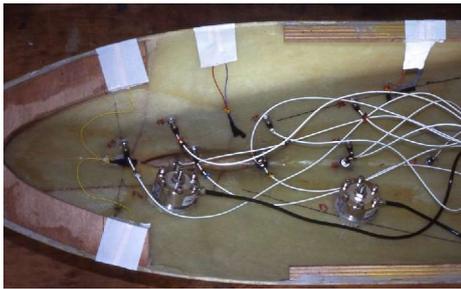


Figure 3: Capteurs de forces (bâbord) et de pression (tribord) implantés dans la carène pour la proue et la poupe.

La maquette est dotée de 3 accéléromètres (Entran EGCS-A4) mesurant les accélérations locales et les vibrations dont les modes principaux de la structure et les impacts. Plusieurs limnimètres résistifs (2 à l'avant et un sur l'arrière) mesurent les évolutions temporelles de l'élévation du fluide sur la carène.

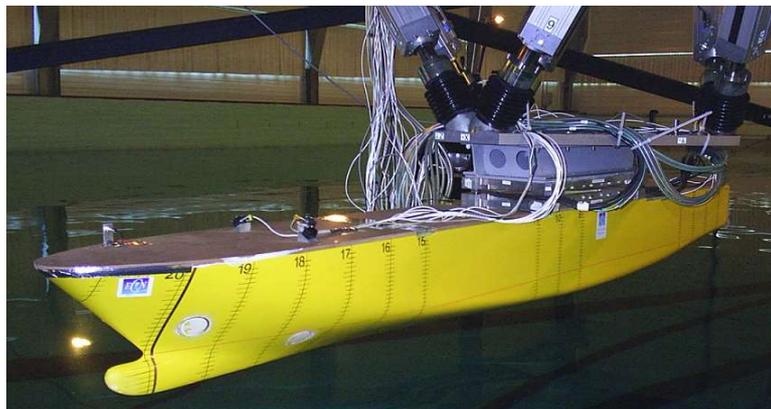


Figure 4: La maquette sous l'hexapode avant un essai. Les disques clairs sur la proue marquent les positions des 2 capteurs de forces locales (F4 en haut, F3 plus bas).

Ces mesures de niveau sont complétées par une analyse des images d'une caméra rapide (AOS MotionNeer à 500 images/s), des points de repère étant répartis sur la carène afin d'aider à l'analyse des prises de vues. Les vagues et le comportement des poches d'air peuvent ainsi être étudiées dynamiquement, en parallèle avec les données provenant des capteurs de la maquette.

- Le système d'acquisition

Le système d'acquisition des mesures est constitué de plusieurs ordinateurs reliés aux conditionneurs de signaux. La fréquence d'échantillonnage est de 1 kHz par voie et un déclencheur (trigger) monté sur la maquette nous permet de synchroniser l'ensemble de l'instrumentation, des prises de vues et des mouvements de l'hexapode.

IV. SIMULATION NUMÉRIQUE

Les mesures expérimentales sont confrontées à des résultats de simulation numérique réalisées par Principia. L'une des approches repose sur un code de type éléments finis (LS-DYNA), qui résout les équations d'équilibre dynamique de la mécanique en 3D. Celui-ci présente les principales caractéristiques suivantes pour les calculs de type couplage fluide/structure :

- discrétisation temporelle fondée sur une méthode explicite de type différences finies centrées, adaptée à la capture des phénomènes dynamiques rapides ;
- domaine fluide (eau et air) traité en formulation Eulérienne ;
- suivi d'interface par méthode VOF ;
- couplage fluide/structure réalisé à l'aide d'une méthode de pénalité avec amortissement [Aquelet, 2004].

Le comportement des fluides est ici décrit à l'aide de lois d'état polynomiales. La modélisation de l'air n'est pas obligatoire. Il serait intéressant de vérifier a posteriori l'influence de sa prise en compte sur les écoulements liquides en général et sur les résultats en pression en particulier.

Le maillage du domaine fluide est composé d'éléments hexaédriques (171120 pour l'eau et 39928 pour l'air) et présente ici une topologie cartésienne (Figure 5). Mais, de manière générale, il est possible d'utiliser des maillages courbes.

La position et la cinématique de la maquette permettent de ne modéliser qu'une moitié de domaine. Des conditions de glissement sont imposées aux frontières. Ces dernières sont par ailleurs définies comme absorbantes (fonction d'adaptation d'impédance fondée sur une hypothèse de comportement matériel linéaire).

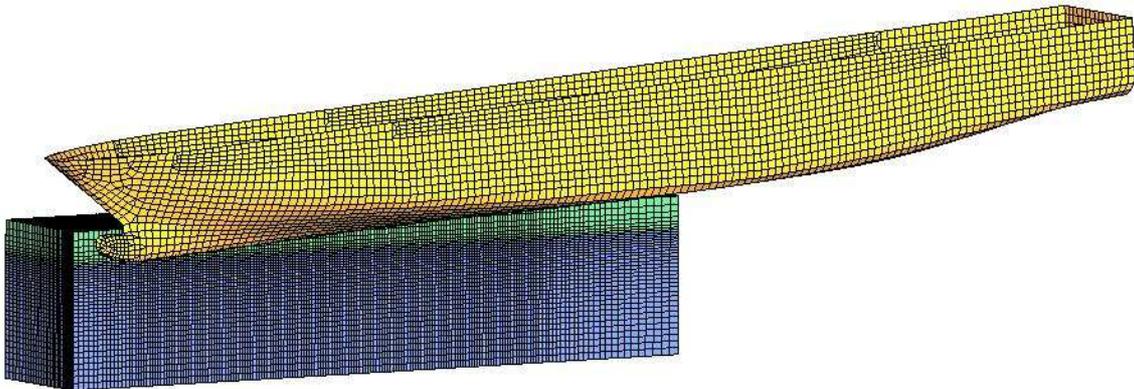


Figure 5 : Maillages du domaine fluide et de la carène.

La comparaison avec les résultats expérimentaux portant uniquement sur les chargements, et non sur la réponse structurelle à ces chargements, la maquette est modélisée comme infiniment rigide. Ceci nous permet une modélisation de la seule surface extérieure par facetisation (5990 facettes essentiellement quadrangulaires)(Figure 5).

Ce choix revient à négliger les effets hydroélastiques, donc à supposer que les déformations de la maquette au cours de l'enfoncement dans l'eau ne modifient pas le chargement lui-même.

V. CARACTÉRISTIQUES DES ESSAIS

En fonction des différents mouvements appliqués à la maquette, trois catégories d'essais ont été définies :

- l'impact vertical : la maquette horizontale est soumise à une vitesse verticale descendante et percute la surface libre ;
- la rentrée en incidence : la maquette est animée d'une vitesse oblique descendante et percute la surface libre par son étrave ;
- le tangage forcé : la maquette est mise en tangage dynamique avec une immersion définie.

Les lois de mouvements appliquées à la maquette ont été définies en collaboration avec les partenaires du programme CYCLOPE et sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des configurations des essais

Mouvement principal	Position / mouvement secondaire	Éléments concernés
Impact vertical	- avec assiette nulle - avec assiette non-nulle - avec gîte	Proue et poupe
Rentrée en incidence	- simple - avec gîte - avec gîte et dérive - avec roulis	Proue
Tangage	- simple - avec gîte - avec roulis - avec pilonnement - avec pilonnement et gîte	Proue et poupe

VI. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Parmi ces nombreuses configurations, nous ne présentons que le cas d'un impact vertical : la maquette horizontale est soumise à une vitesse verticale descendante de 0,6 m/s avec une assiette constante de -4° et une gîte nulle. La maquette percute donc la surface libre par son bulbe.

Cette configuration fait l'objet d'une comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques pour un modèle de navire identique (même échelle). Le temps t_0 est choisi à l'instant du contact de la carène avec la surface libre.

Conditions de l'essai

Lors de l'essai, le mouvement descendant continue jusqu'à un enfoncement maximal de 14 cm au-dessus de sa ligne de flottaison (au couple n°20). La maquette débute son mouvement de descente très au-dessus de l'eau afin d'atteindre une vitesse constante avant l'impact après une phase d'accélération. Une assiette de -4° entraîne le contact de la surface libre à proximité du capteur de pression C18 qui est sur la ligne de quille (couple 19,5).

La Figure 6 présente la chronologie de l'essai avec l'enregistrement simultané des pressions en différents points de l'étrave et des images de la maquette au cours de son enfoncement. L'instant du pic de pression sur ce capteur (d'une valeur d'environ 0,8 kPa) représente ainsi cet instant initial de référence.

Conditions de la simulation numérique

Pour la simulation numérique et dans l'état initial, les fluides sont au repos. Le modèle de la maquette est positionné juste au contact de la surface libre. L'écoulement de l'air autour de la maquette dans sa phase de descente n'est donc pas représenté, mais l'effet sur les pressions est jugé négligeable ailleurs qu'au point d'impact et sur la quille, dans le cas présent.

Les résultats bruts sont des pressions normales par facette. Les composantes de forces associées, comme les forces globales par exemple, sont déduites des forces de couplage.

Pour 0,2 s de temps réel simulées, le temps de calcul est de l'ordre de 90 h CPU sur PC (processeur Pentium IV à 2,8 GHz, système d'exploitation Windows XP). Le pas de temps est légèrement supérieur à 3 μ s. La Figure 7 donne une idée de la surface libre au cours de l'enfoncement dans l'eau.

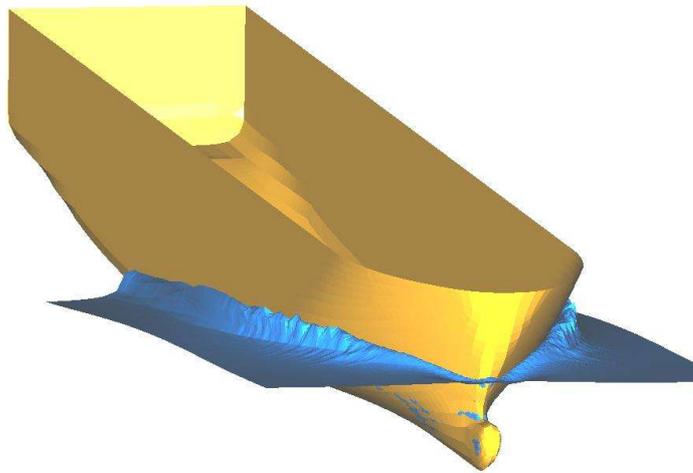


Figure 7 : Aperçu de la surface libre, $t=0,204$ s après l'impact

Chargements impulsifs locaux

Nous nous intéressons tout d'abord aux chargements impulsifs s'exerçant localement sur la carène. Ils peuvent être étudiés en comparant les pressions mesurées expérimentalement et celles prédites par la simulation numérique.

La Figure 8 présente les pressions mesurées en 4 points régulièrement espacés sous la quille de la maquette, le capteur C18 étant proche du bulbe et le capteur C8 le plus éloigné (couple 16,5). La forme caractéristique d'un signal de pression lors d'un impact se retrouve bien pour les différents capteurs : une montée rapide à un maximum (phase impulsive) puis une décroissance jusqu'à un plateau (phase quasi-statique). Cette phase est ici prolongée par l'augmentation de la pression hydrostatique, la carène continuant à s'enfoncer.

Le déphasage entre les pics de pression des différents capteurs n'est pas tout à fait constant et a une valeur moyenne de 16 ± 1 ms. La vitesse moyenne de propagation du front de pression vaut alors $8,2 \pm 0,5$ m/s, valeur qui est cohérente avec la vitesse théorique de 8,5 m/s.

Globalement les pressions d'impact augmentent avec la distance au point de contact initial car la forme de la carène s'évase progressivement.

Les mesures du capteur C13 appellent une remarque, la valeur du pic étant très supérieure à celle attendue. Il se trouve que la mise en place du capteur dans la quille s'est révélée très délicate par la faible largeur de la carène à cet endroit. Dès lors il est possible qu'une petite

bulle d'air puisse être parfois coincée au contact de la membrane du capteur. La compression puis l'explosion de cette bulle modifierait ainsi la mesure de la pression lors de l'impact sur l'eau et en fausserait l'interprétation. Ce cas se présenterait dans 2 des 3 essais effectués.

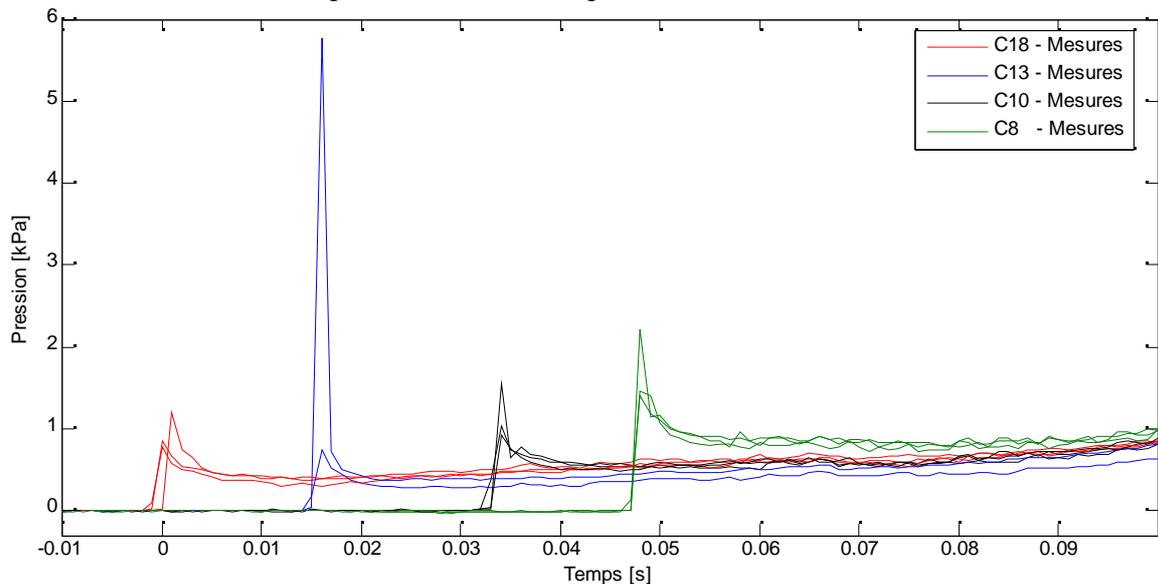


Figure 8 : Pressions mesurées sous la quille pour 3 essais identiques.

Malgré ces aléas et au vu des courbes, nous pouvons raisonnablement avancer que la répétabilité de l'expérience est bonne et par conséquent que les résultats expérimentaux sont suffisamment fiables pour contribuer à la validation de la simulation numérique.

La comparaison entre résultats numériques et expérimentaux est effectuée en étudiant les pressions pour deux positions sur la maquette, notées respectivement F3 et F4. La première position est celle du capteur de force située sous la ligne de flottaison à la proue, la seconde est celle du capteur plus proche de l'étrave au-dessus de cette même ligne (voir la Figure 4).

La force exercée en F3 sur la maquette est convertie en pression en rapportant la mesure à la surface du disque du capteur (diamètre 50 mm). De plus, sur le même couple mais sur bâbord, deux capteurs de pression (C11 et C12) sont situés de part et d'autre de la position de F3. Dans notre cas où la gîte est nulle, la pression du fluide s'exerçant sur chacun des côtés de la carène est supposée équivalente en intensité et simultanée.

L'estimation de la pression en F3 par la simulation numérique est une valeur moyenne calculée sur 4 facettes du maillage : la surface prise en compte est supérieure à celle de la membrane d'un capteur de pression mais légèrement inférieure à celle du capteur de force.

La Figure 9 présente les différentes courbes de pression ainsi mesurées pour la position F3. Sur le graphique du haut sont reportées les mesures par C11 et C12 pour deux essais identiques. Le capteur C11 touche l'eau en premier : l'impact se traduit par un fort gradient de pression ($t=0,07$ s) puis la pression hydrostatique augmente linéairement. Le capteur C12 touche l'eau vers $t=0,12$ s avec un gradient de pression un peu plus faible que C11. Pour chacun de signaux, les instants précédant l'impact sont marqués par de petites oscillations avec une légère dépression.

Deux hypothèses complémentaires peuvent être avancées :

- le déplacement d'air engendré par le mouvement de la maquette, celle-ci chassant l'air entre la surface libre et la carène ;
- l'existence d'une lame d'eau remontant légèrement sur la carène, comme le montrent les images de la caméra rapide (Figure 6).

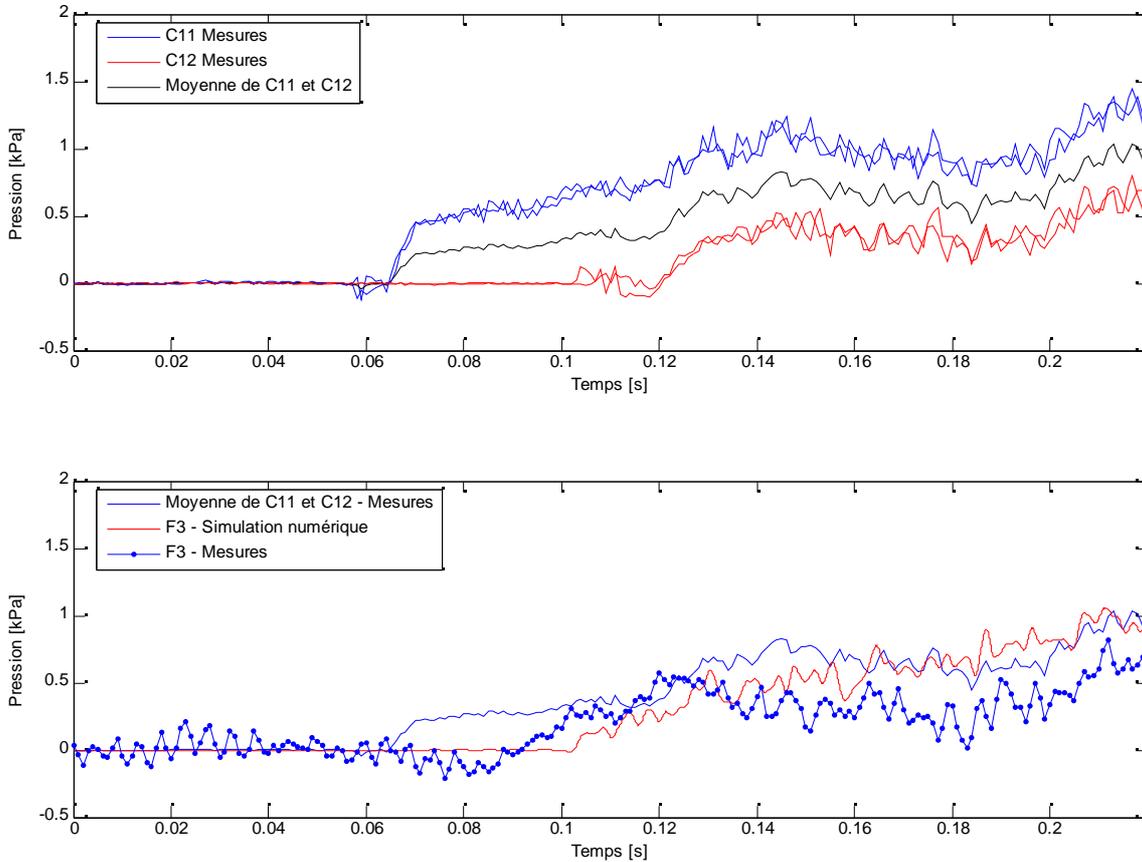


Figure 9 : Comparaison mesures / simulation numérique pour la position F3.

Cette lame d'eau a d'ailleurs tendance à croître en volume et en vitesse pour aboutir à une gerbe qui se détache de la carène à partir de $t=0,15$ s, à cause du changement de courbure de la coque. La perte de volume de fluide au contact de la carène explique la décroissance des pressions mesurées simultanément en C11 et C12.

La moyenne des pressions en C11 et C12 est tracée sur ce même graphique afin d'estimer la pression qui serait exercée à la position équivalente à F3. On notera toutefois que l'instant de d'apparition de la phase impulsive n'est pas bien représenté de cette façon simplifiée.

Sur le graphique inférieur est reportée cette courbe expérimentale moyenne. La pression enregistrée par le capteur F3 est également tracée. Elle présente une évolution temporelle analogue à celle des capteurs de pression, la phase impulsive apparaissant vers $t=0,09$ s soit entre celles de C11 et C12. La gerbe d'eau se fait ressentir également en provoquant une baisse de la pression à partir de $t=0,14$ s. La pression en F3 étant évaluée sur une surface nettement plus grande que celle des capteurs de pression, il est cohérent d'obtenir des valeurs inférieures à la moyenne des pressions mesurées localement. Ceci traduit le fait que la surface sur laquelle s'applique l'essentiel du pic de pression est inférieure à celle du capteur de force.

La pression prédite par la simulation numérique présente une phase impulsive avec un gradient similaire à la mesure en F3 mais elle apparaît un peu plus tard ($t=0,10$ s). Ce retard peut être attribué au niveau de discrétisation (taille des mailles) et à l'effet de l'air (dans un domaine fermé) qui contraignent la création d'un jet aussi fin que celui observé expérimentalement (voir les Figures 6 et 7). Nous pouvons donc constater la croissance linéaire de la pression liée à l'enfoncement de la maquette à partir de $t=0,14$ s.

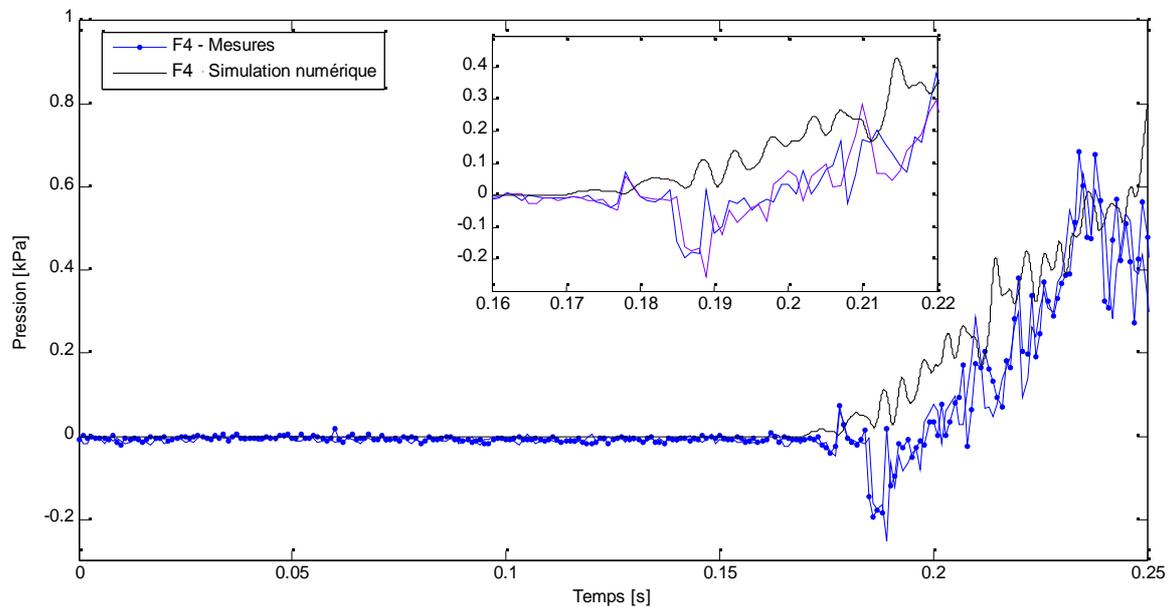


Figure 10: Comparaison mesures / simulation numérique pour la position F4.

La comparaison des mesures de pression à la position équivalant à F4 (capteur de pression C17), c'est à dire très au-dessus de la ligne de flottaison, présente des gradients similaires (Figure 10). Toutefois, comme le montrent les images de la Figure 6, l'écoulement dans cette zone semble complexe car gouverné à la fois par l'enfoncement du bulbe et par celui de l'étrave. La combinaison de ces deux types d'écoulement pourrait provoquer l'évacuation d'une lame d'air générant la dépression enregistrée à $t=0,18$ s. Ce phénomène est enregistré par le capteur de pression à chaque essai mais reste très local. En revanche la taille des mailles considérée le rend difficilement accessible numériquement.

Il est à noter que la position du capteur sur la carène amène à considérer ces conditions comme une configuration dite de "water entry" et non de réel tossage.

Chargements globaux

Les chargements globaux, autrement dit les forces F_x et F_z s'exercent sur la carène entière. Dans les figures suivantes, le repère pris en compte est le repère local lié au navire avec pour origine le centre de gravité théorique de la carène.

Expérimentalement, ces forces sont mesurées par la balance dynamométrique auxquelles on retranche, dans le domaine temporel, les effets d'inertie estimés à l'aide des accéléromètres. Il est à noter que les effets d'inertie sont négligeables pour la correction de F_x .

La Figure 11 compare la force F_z estimée numériquement à la valeur moyenne de cette force (corrigée) mesurée sur deux essais. La présente de façon analogue une comparaison des forces F_x .

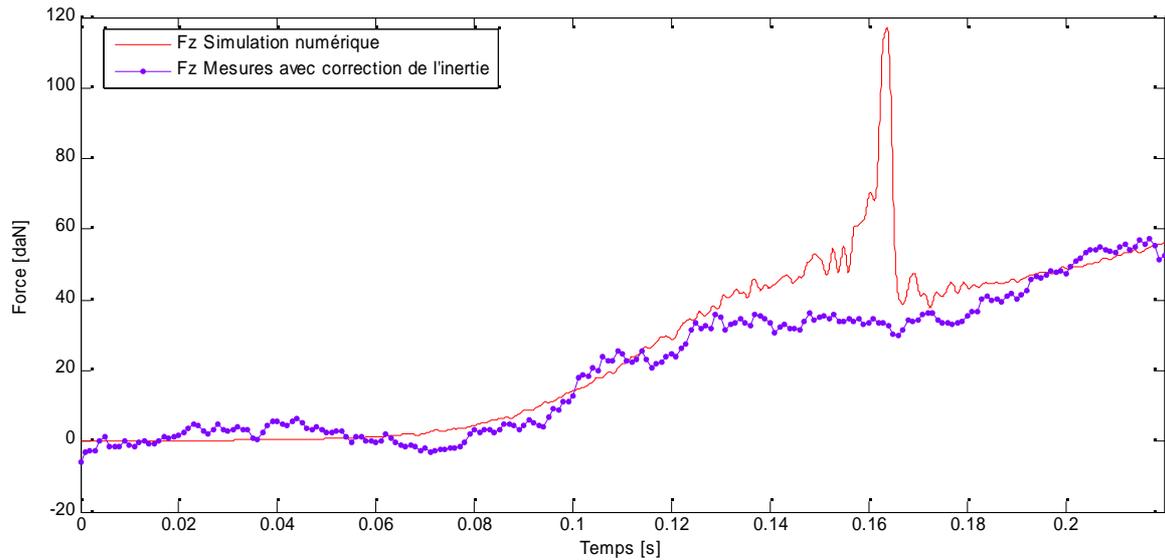


Figure 11 : Comparaison mesures /simulation numérique pour la force verticale F_z .

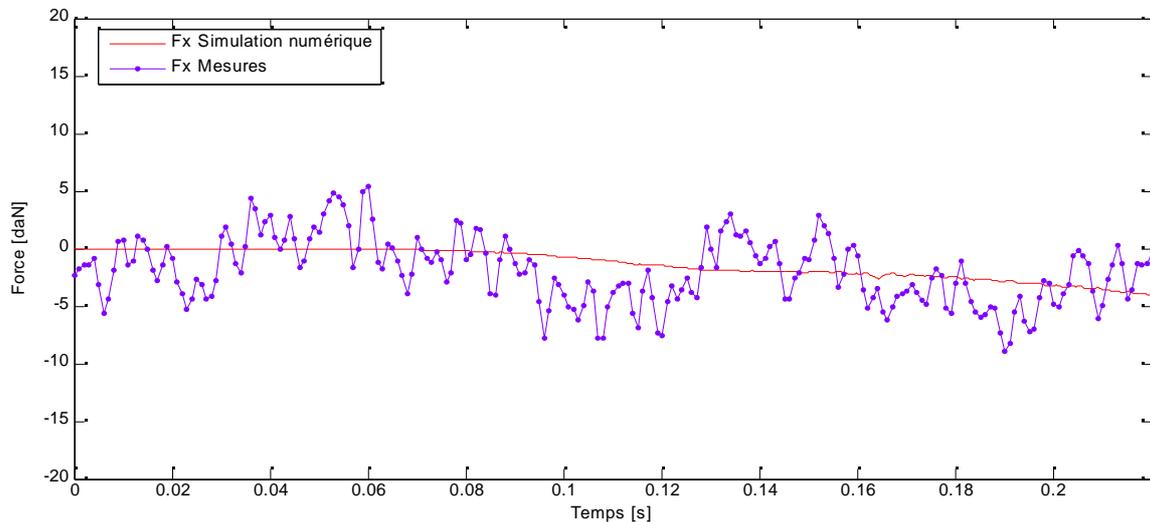


Figure 12: Comparaison mesures / simulation numérique de la force horizontale F_x .

La simulation numérique donne une bonne estimation de la force F_z mesurée expérimentalement, du contact initial avec la surface libre (t_0) jusqu'à $t=0,16$ s. Le pic de force qui apparaît alors est provoqué par le blocage de l'écoulement par la frontière arrière du domaine.

Bien que les forces F_x soient faibles et par conséquent délicates à mesurer, la tendance prédite par la simulation numérique est en bon accord avec celle déduite expérimentalement.

VII. CONCLUSIONS ET TRAVAUX A VENIR

Nous présentons les premiers résultats d'une campagne d'essais sur le tossage d'un navire réalisés dans le cadre d'un partenariat industriels – laboratoires de recherche. Les mesures de pression et de force enregistrées sur le modèle physique sont comparées aux résultats d'une simulation numérique.

La bonne concordance des valeurs et des évolutions temporelles des chargements locaux et globaux issues de ces deux approches montre que l'objectif de validation des modèles numériques est proche.

Il reste néanmoins à confirmer ces premiers éléments par l'analyse d'autres configurations, en particulier pour des lois de mouvements plus complexes.

A court terme, des comparaisons analogues avec le logiciel DIODORE sont également envisagées. L'approche en simulation temporelle est fondée sur un découpage de la carène en tranches, généré automatiquement à partir de la détection d'un point d'impact et de la vitesse relative carène/fluide en ce point. Sur chaque tranche, les efforts de slamming sont calculés à l'aide d'une méthode de Wagner linéarisée raccordée à une solution jet. A terme, la mise à jour des mouvements du navire prendra en compte ces efforts supplémentaires. L'objectif final est d'évaluer l'influence de l'impact sur la réponse de la poutre navire (whipping) à l'aide d'un modèle poutre hydroélastique déjà intégré au logiciel.

D'autre part et toujours dans le cadre de CYCLOPE, des travaux de développement portent sur l'introduction d'une modélisation de la houle (effectuée par l'équipe HGO du LMF) dans le code numérique de fluide visqueux EOLE (Principia). Baptisé EOLE-WAVE, il permet de calculer des chargements engendrés par des conditions de tossage sur houle.

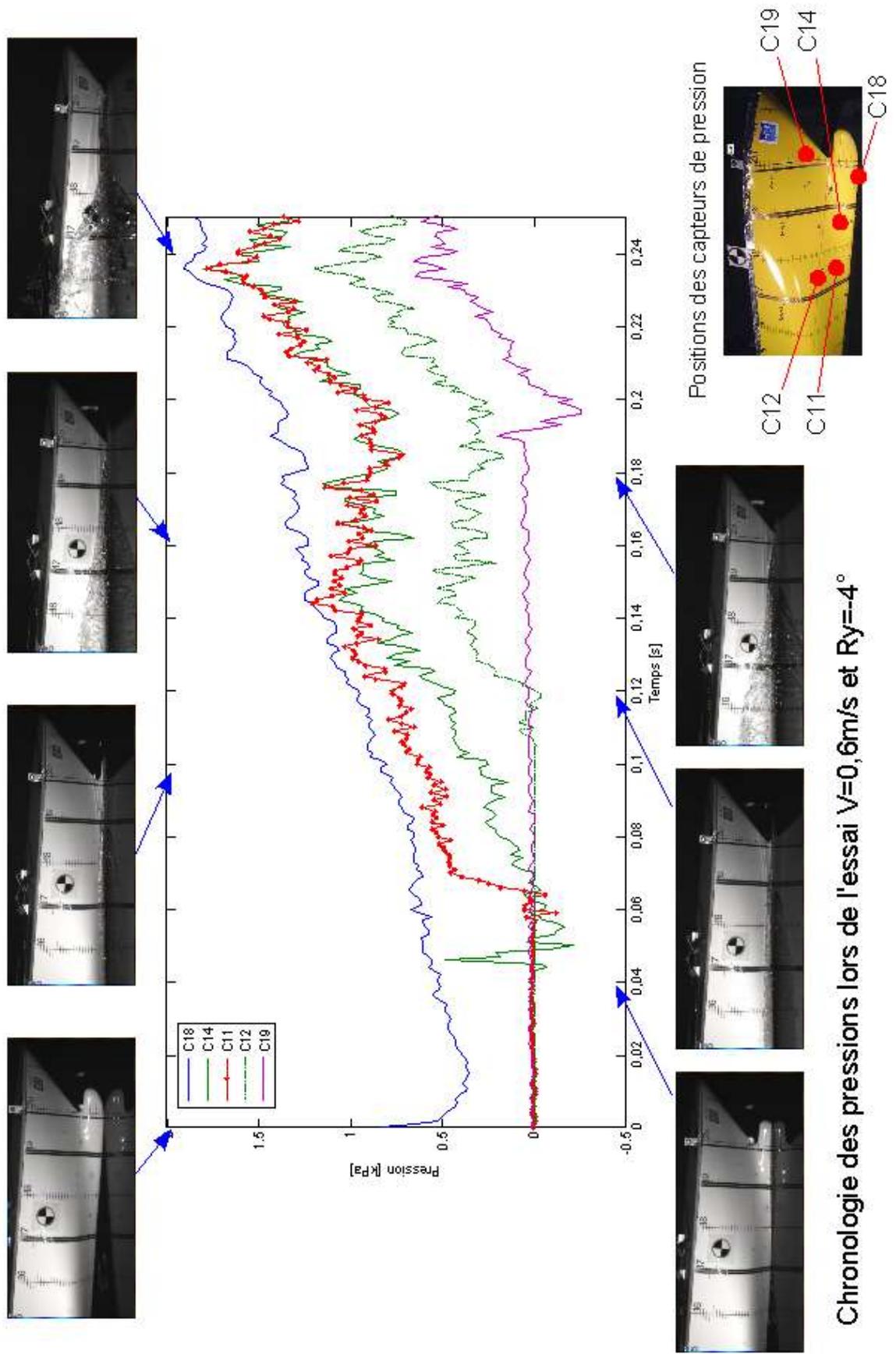
Une nouvelle phase de comparaison calculs / essais sera effectuée à l'occasion de deux campagnes de mesures. L'une comprendra des essais sur houle en bassin de traction et l'autre des essais en bassin à houle.

Remerciements

Nous tenons à remercier Bruno Pettinotti, Olivier Quillard, Jean-Luc Toularastel, Stéphane Lambert, Guy Jolivet et Paul Boisseleau pour leurs contributions à la conception, la fabrication, le montage et l'instrumentation du dispositif expérimental.

Références

- Acquelet N., 2004. "Modélisation de l'impact hydrodynamique par un couplage fluide-structure", Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 185 p.
- Kapsenberg G.K. et al., 2002. "Whipping loads due to aft body slamming", 24th Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, pp. 25-39.
- Senjanovic I et al., 2003. "Ship slamming and whipping in rough sea", Brodogradnja, Vol 51, 1, pp. 45-56.



Chronologie des pressions lors de l'essai $V=0,6\text{m/s}$ et $Ry=-4^\circ$

Figure 6 : Chronologie comparée des mesures de pressions et de l'enfoncement de la maquette lors de l'impact vertical.