

TROISIEMES JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

Grenoble, 18-19-20 février 1991

UN NOUVEAU MOYEN D'ESSAI DE CARENES EN MILIEU NATUREL

J.F. DEVILLERS, L. FOURICHON, G. DE LAMINNE

Laboratoire de Mécanique et Energétique
Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées
32 Boulevard Victor
75015 PARIS

Résumé

Le procédé consiste à relever les champs de vagues provoqués par des modèles de carènes à petite échelle poussés sur un plan d'eau naturel en présence d'une houle, plus ou moins importante, créée par le vent.

Les résultats obtenus apportent la preuve qu'il est possible grâce à un traitement informatique approprié d'une part, de s'affranchir du " bruit " généré par le vent (clapotis) et d'autre part, de prendre en compte et corriger les erreurs éventuelles dues au procédé expérimental.

Les applications possibles de cette technique sont, entre autre, une aide à la conception ainsi que la possibilité de valider les codes numériques dans le domaine de la résistance de vague, actuellement en cours d'élaboration.

Son intérêt est essentiellement d'éliminer les contraintes d'espace et de budget inhérents aux essais conventionnels en bassins de traction.

Summary

This method consist to record and analyse the wave pattern produced by different small scale hull models which are towed on a natural free-surface with a lapping created by the wind.

The experimental results bring the proof that it is possible with an appropriated computing process to suppress the noise induced by the wind (wavelets) and to take into account and to correct errors due to the experimental way.

The possible applications of this process are for exemple an help in the conception and a tool of validation for new wave resistance numerical schemes.

The advantage compared to towing tank is to eliminate space and money limitations.

1 Introduction

Souvent s'associent aux bassins d'essais de carènes des limitations d'ordre dimensionnel et financier. D'un autre côté, ils offrent une surface libre propre et calme et ils restent le moyen conventionnel pour tester les carènes de navire.

A travers cette étude, nous voulons apporter la preuve que les recherches réalisées sur un plan d'eau naturel peuvent compléter et dans certains cas remplacer celles entreprises en bassin. Bien entendu, l'utilisation d'une étendue d'eau naturelle implique la prise en compte du bruit (clapotis) provoqué par le vent dans les mesures. En outre, le fait que les modèles soient poussés par une plate-forme flottante motorisée nous obligent à inclure dans les relevés plusieurs corrections.

Nous allons voir qu'en dépit de toutes ces complications, le filtrage et l'ajustement des résultats bruts restent aisés avec l'aide d'un micro-ordinateur.

Nos essais consistaient en un relevé de coupes transverses dans le sillage proche de différents modèles. Ainsi, il était possible de dessiner la déformée de surface libre ou bien de calculer le coefficient de résistance de vague.

Nous pouvons noter que la comparaison avec des résultats numériques ou expérimentaux est pleine de promesses.

2 Environnement Naturel

Le plan d'eau utilisé est l'Etang Neuf de SACLAY appartenant au Ministère de la Défense. Ce lac fait 900 mètres de long et entre 150 et 300 mètres de large. Tous les essais ont eu lieu dans la direction N.O./S.E. , qui correspond à la plus grande dimension de cette étendue d'eau.

La profondeur moyenne est d'environ 1,5 mètres, mais elle peut être considérée comme infinie si on la ramène à la longueur de nos modèles ou à une longueur d'onde moyenne de sillage.

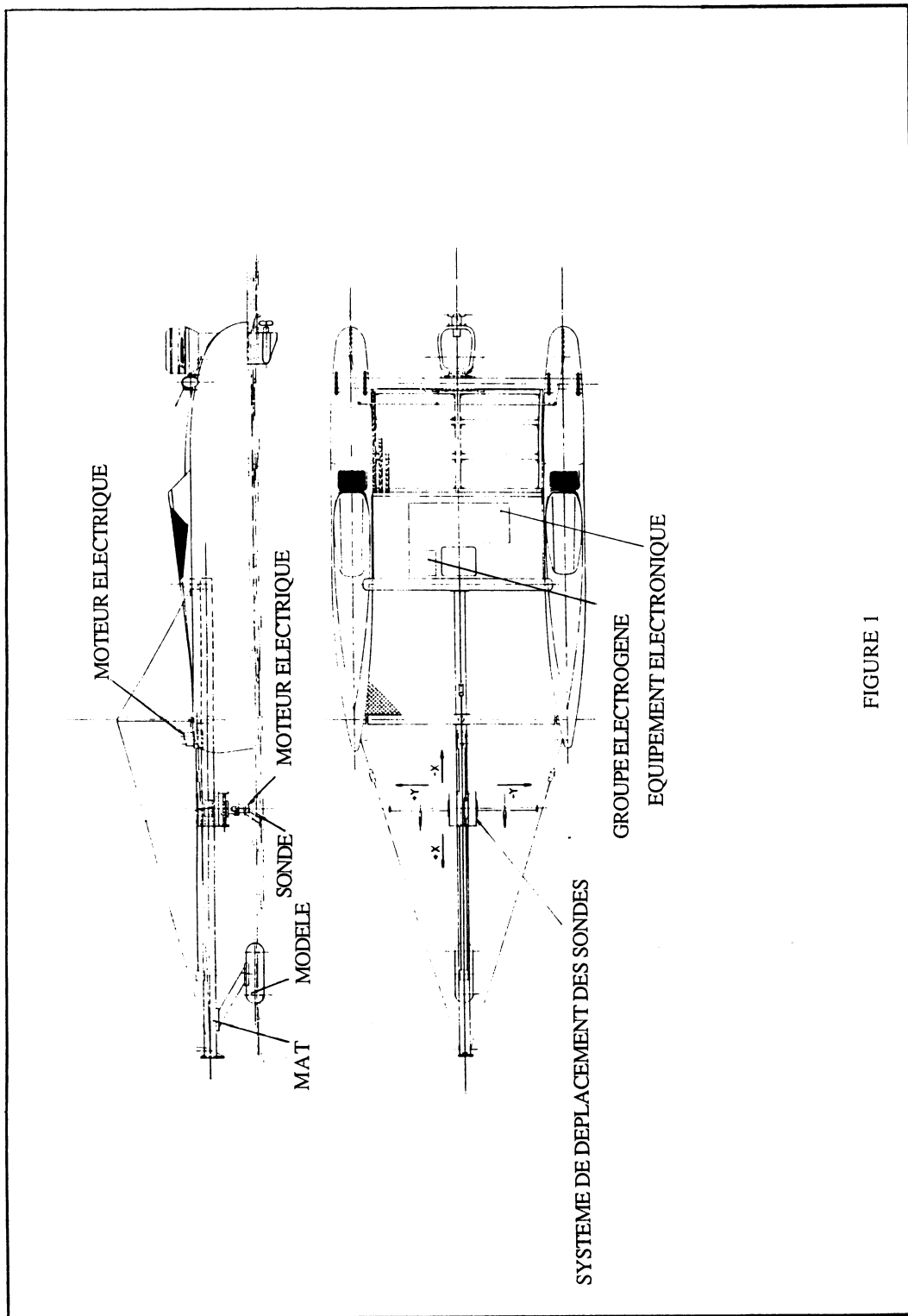
Une étude préalable a permis de connaître le spectre fréquentiel moyen du clapôt de façon à en déduire, pour les opérations de filtrage ultérieures, les fréquences de coupure à adopter.

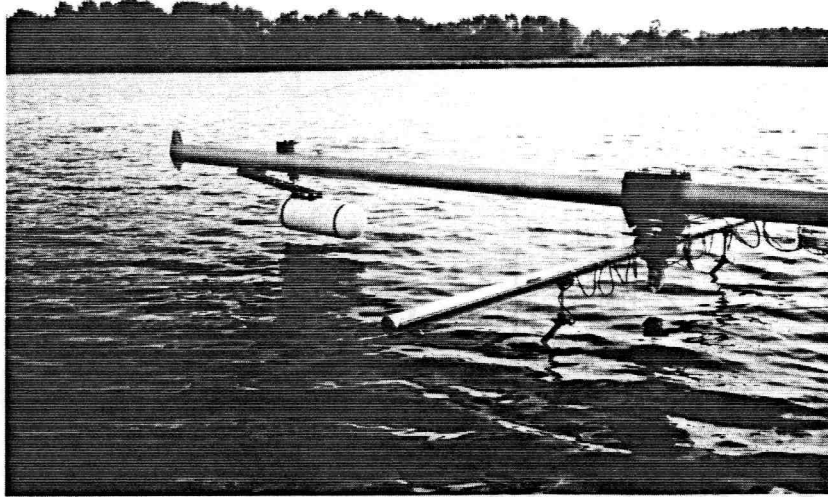
3 Matériel expérimental

3.1 Plate-forme de traction

Comme on peut le voir sur la figure 1, la partie principale du matériel est une plate-forme motorisée de catamaran de 28 pieds de long, choisie pour sa stabilité et sa légèreté.

Un mat de 8,5 mètres de long est suspendu axialement et horizontalement vers l'avant du bateau à 0,5 mètre au dessus de l'eau. Les modèles testés sont fixés à l'extrémité de ce mat par un parallélogramme qui les laisse libres de déplacements verticaux .





SYSTEME DE DEPLACEMENT

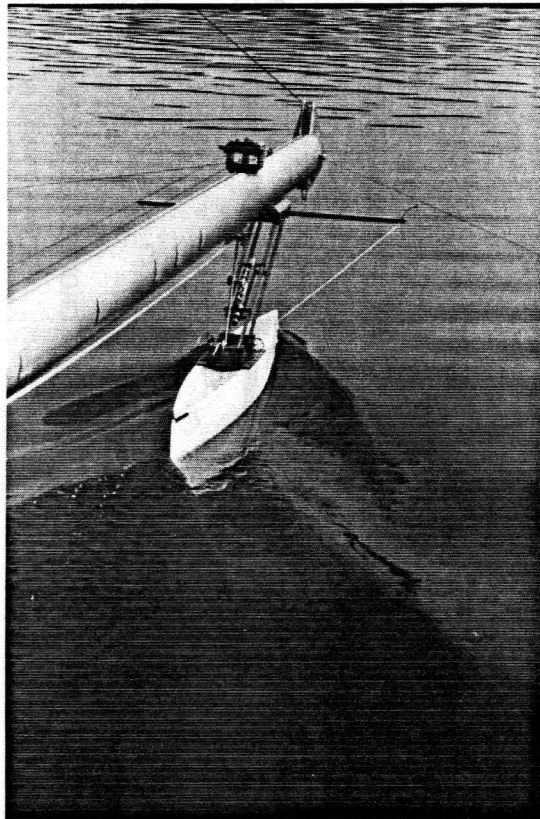


FIGURE 2

LE SILLAGE AUTOUR DE LA CARENE DE WIGLEY

qui peuvent se déplacer symétriquement de chaque côté du mat. Ces sondes ainsi que le mat secondaire sont mues par moteur électrique et localisées par potentiomètre.

Ce système permet de mesurer la déformation de surface libre sur une surface de 3,5 mètres de long et 3,2 mètres de large, derrière les carènes.

3.2 Sondes

Les sondes de mesure sont des limnimètres à principe résistif composés de deux fils de 0,57 mm de diamètre faisant un angle de 40° avec la verticale, ceci afin de ne pas perturber le milieu fluide, à des vitesses d'avance importantes.

3.3 Modèles

Deux modèles différents sont utilisés pour les essais:

- Une carène de WIGLEY ayant les caractéristiques suivantes:
longueur: 1,6 m
maître bau: 0,16 m
tirant d'eau: 0,10 m
- Une vedette rapide
longueur: 1,25 m
maître bau: 0,25 m

4 Techniques de mesures

4.1 Acquisition de données

Pendant chaque acquisition, la plate-forme se déplace à vitesse constante, suivant la plus grande longueur du lac. Pour un filtrage plus aisé, les déplacements face au vent sont préférés afin d'augmenter la différence entre la fréquence du clapôt induit par le vent et celle du signal qui nous intéresse, le sillage.

Des groupes de 8 sections transverses sont relevés dans le sillage de chaque modèle et à des nombres de Froude différents, les sondes se déplacent symétriquement sur le mat transverse. Les signaux des sondes et ceux de localisation du mat et des sondes sont mémorisés simultanément sur un enregistreur magnétique. Ils sont traités ultérieurement au laboratoire.

4.2 Traitement du signal

Les informations enregistrées sont lues et traitées à l'aide d'un micro-ordinateur

Dans un premier temps, les 4 pistes de l'enregistrement sont lues et filtrées par procédé numérique. Afin d'éliminer les erreurs dues à la torsion du mat principal ou au roulis de la plate-forme, les signaux de chaque sonde sont additionnés (figure 3).

Les erreurs causées par la variation d'assiette de la plate-forme sont plus difficiles à supprimer. Ces effets peuvent être importants à cause du déplacement du mat secondaire: en changeant sa position, on change sensiblement l'assiette du

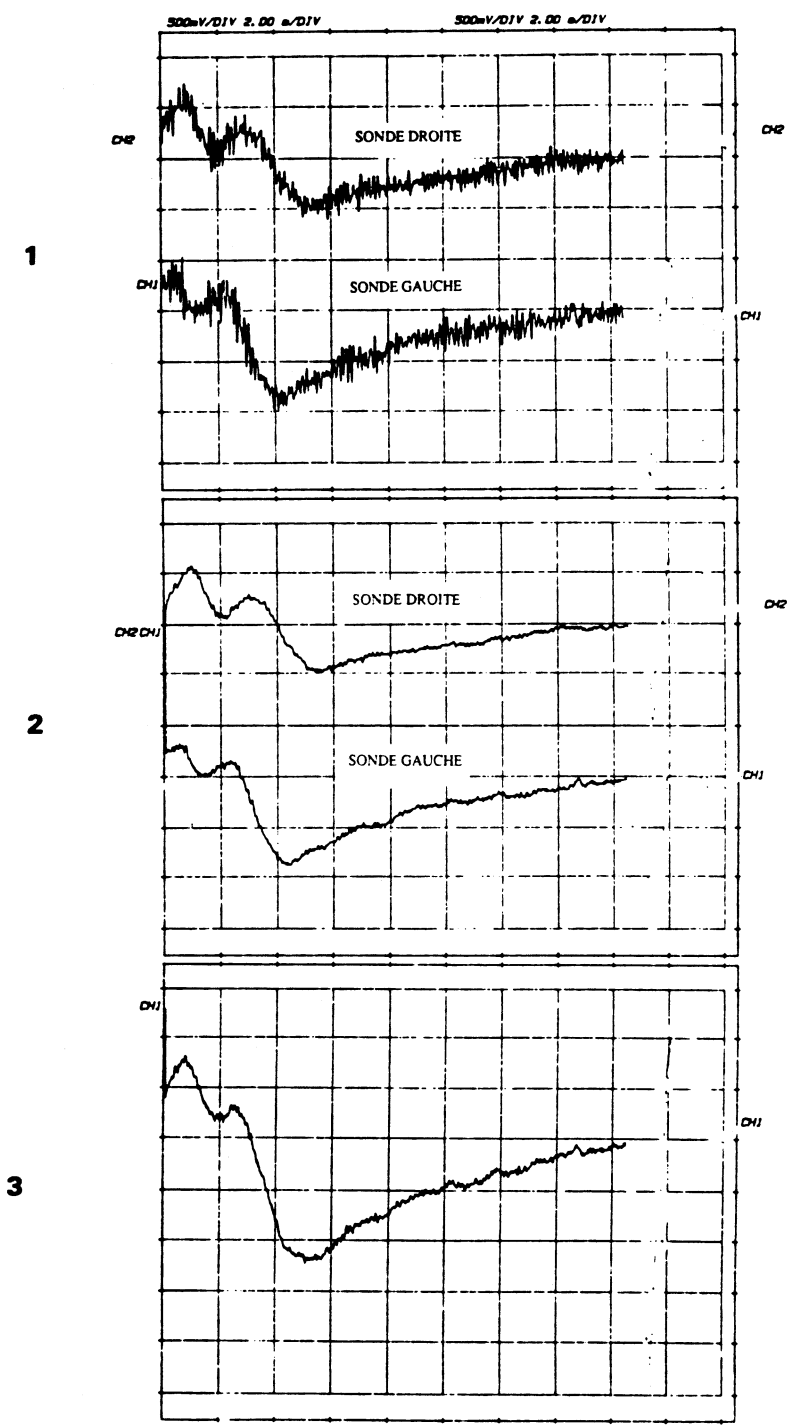


FIGURE 3

bateau. Nous devons donc resituer chaque coupe transverse par rapport au niveau zéro de la surface libre.

Finalement, les coupes transverses corrigées sont stockées en mémoire sur ordinateur.

5 Calcul de résistance de vague

Les valeurs de la résistance de vague peuvent être calculées à partir de sections transverses ou longitudinales du sillage. Nous utilisons une méthode élaborée par Sharma et Eggers (3). Les formules principales sont en annexe.

- Méthode des coupes transverses :

Les coefficients de résistance de vague sont calculés à partir de groupes de 5 coupes transverses bien que dans chaque essai, on ne relève que 8 coupes transverses expérimentales. Certaines d'entre elles sont trop proches du modèle si on se réfère aux hypothèses de calcul alors que d'autres sont trop éloignées pour englober le sillage entier (nous enregistrons des sections de 3,2 mètres de large et cela n'est pas suffisant comparé à la plus grande largeur du sillage). Nous devons donc créer, pour les besoins du calcul, des sections intermédiaires par interpolation.

Dans ce but, nous utilisons des fonctions Spline de la façon suivante: 20 cotes sont prises pour chaque coupe transverse expérimentale et définissent à l'aide des fonctions Spline, 20 sections longitudinales interpolées. A partir de ces sections, de nouvelles coupes transverses peuvent être créés par Spline aussi.

Cette procédure peut induire des erreurs dues au peu de données initiales par rapport aux données générées par interpolation. Nous avons donc comparé des sections transverses obtenues par interpolation avec les mêmes mesurées pendant les essais. La différence est toujours faible comparée à la hauteur de vague et à l'incertitude due au clapotis naturel.

- Méthode des coupes longitudinales :

Cette méthode consiste à utiliser des coupes longitudinales créés par le procédé Spline précédent. On en dispose autant que de points définissant les coupes transverses expérimentales. Etant donné la symétrie du sillage, une seule de ces coupes est nécessaire pour obtenir une valeur du coefficient de résistance de vague C_w . Ainsi on pourra associer à la position particulière de l'une de ces coupes une valeur de C_w correspondante.

6 Résultats et comparaison

6.1 Coupes transverses

La figure 4 est la comparaison entre quatre coupes transverses numériques et expérimentales pour une carène de WIGLEY à un nombre de Froude de 0,55. On peut noter que les amplitudes sont du même ordre et qu'il y a une ressemblance évidente dans la forme des sections, quoique le résultat numérique soit plus large.

D'après nous, une telle différence peut s'expliquer de la manière suivante: FROUDE=0,55 est une valeur relativement élevée pour le modèle de WIGLEY et des effets tels que des phénomènes non linéaires ou un comportement de fluide réel non considéré dans l'analyse théorique, peuvent avoir une influence forte sur nos résultats.

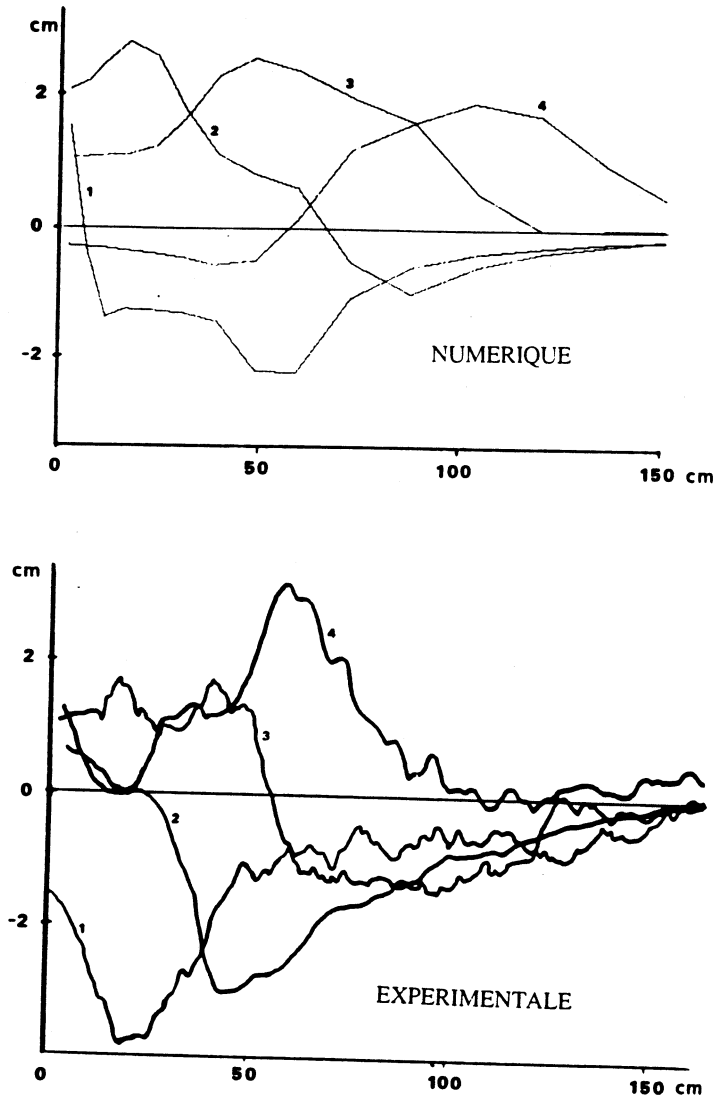


FIGURE 4

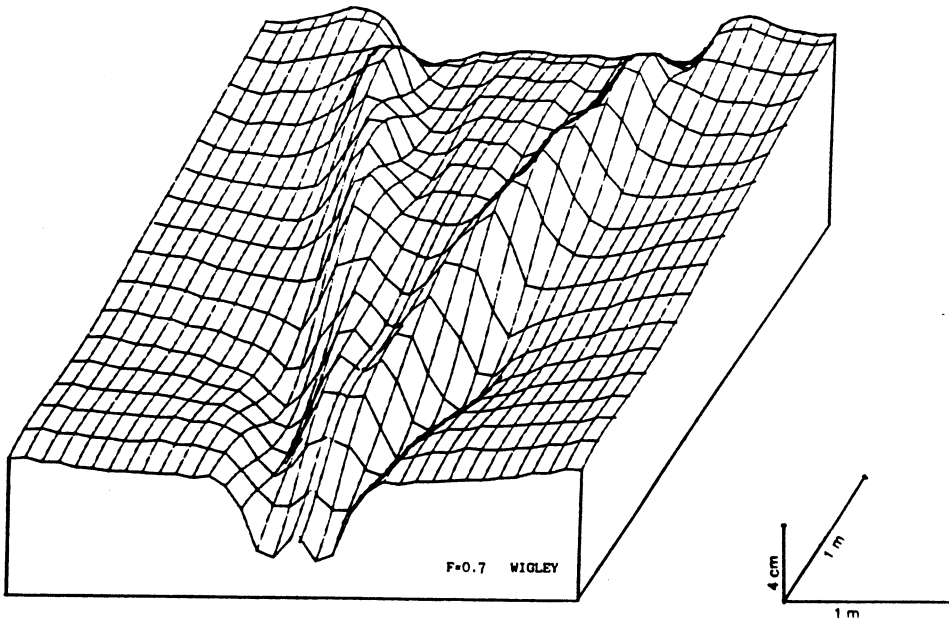
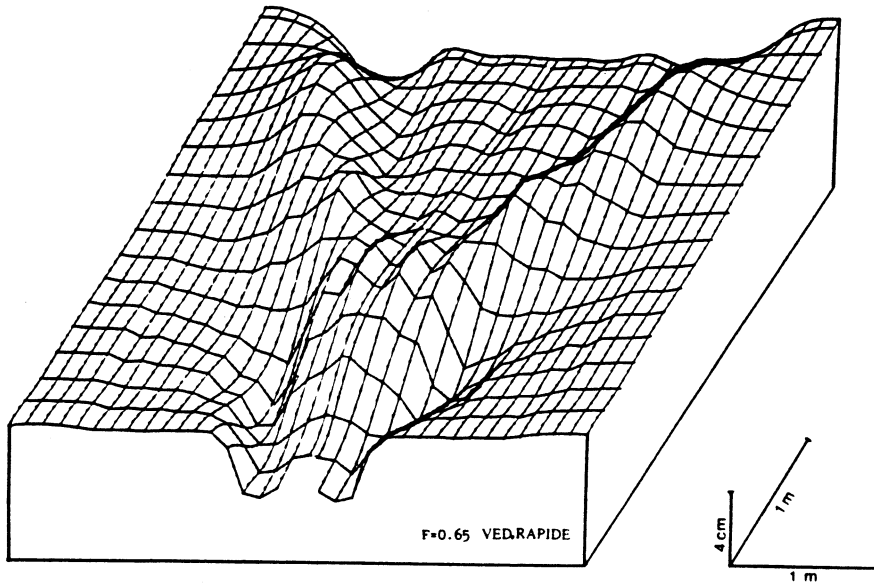


FIGURE 5

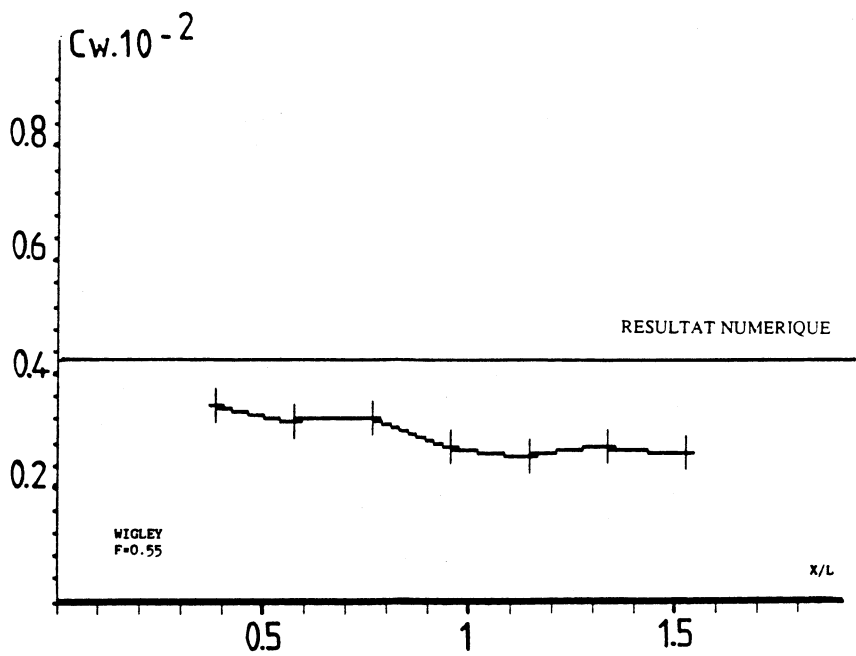
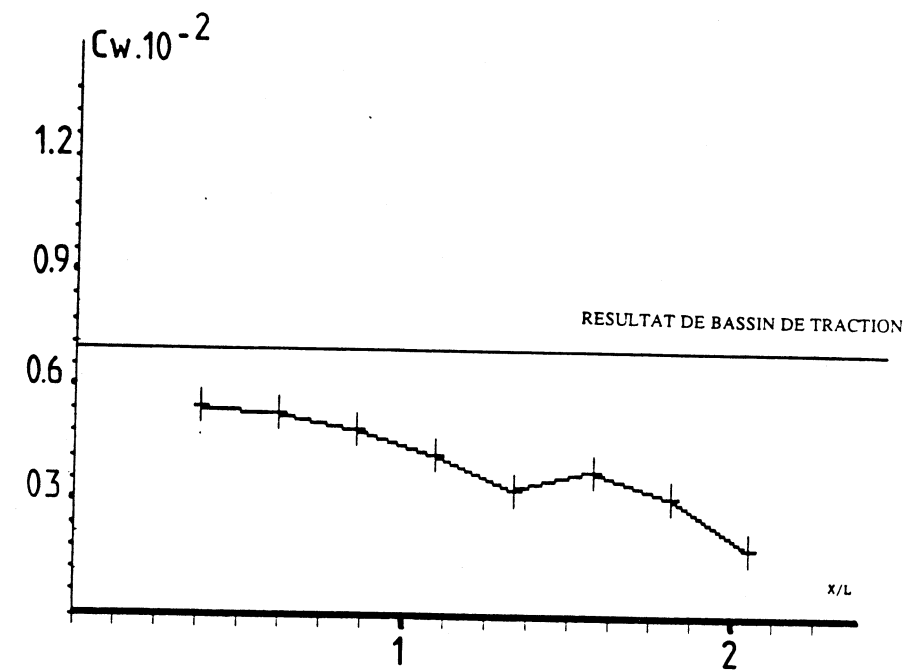


FIGURE 6

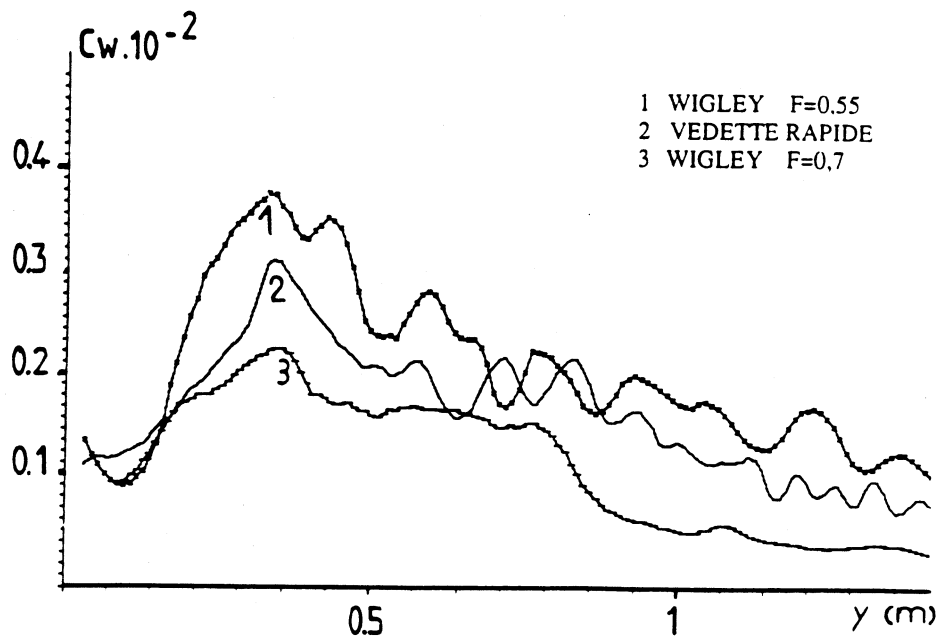


FIGURE 7

6.2 Représentations en 3 D

L'utilisation des fonctions Spline dans la création de coupes longitudinales nous permet de dessiner des représentations en perspective de la partie du sillage étudié.

La figure 5 montre les représentations en 3 D du sillage pour nos deux modèles (vedette rapide en haut et carène de WIGLEY en bas).

En dépit d'un manque de régularité dans le dessin dû à un bruit résiduel après filtrage, ces vues donnent une bonne image des déformations de la surface libre. Par exemple, l'angle des crêtes de vagues est plus important pour la vedette rapide que pour la carène de WIGLEY à des nombres de Froude proches. C'est la preuve de l'existence d'un effet important de la forme du modèle sur le sillage associé.

6.3 Les valeurs de résistance de vague

La figure 6 compare le coefficient C_w de résistance de vague obtenu par la méthode des coupes transverses avec celui mesuré dans un bassin de traction (vedette rapide) ainsi qu'avec celui calculé numériquement (WIGLEY). L'axe des abscisses représente la distance sans dimension entre l'arrière du modèle et la position moyenne du groupe de sections transverses.

Il est bien connu que le calcul de la résistance de vague à partir d'une analyse expérimentale du sillage sous-évalue le coefficient C_w . Nos résultats sont, en effet, plus faibles qu'avec les autres méthodes. De plus, nos valeurs diminuent quand la distance avec le modèle augmente. Ceci peut être expliqué par le fait que l'extrémité gauche de la courbe concerne le voisinage proche du modèle où les

hypothèses de calcul ne sont plus valables. D'un autre côté, les sections les plus éloignées ne peuvent pas décrire entièrement la déformation de surface libre.

Cette interprétation se trouve confirmée par l'examen de la figure 7 qui représente la variation de C_w calculé par la méthode des coupes longitudinales en fonction de leur abscisse transverse dans le sillage, et ceci dans 3 cas différents. Les valeurs de C_w sont là encore inférieures aux valeurs déduite du numérique ou d'une mesure directe des forces. On peut remarquer que dans les 3 essais la valeur de C_w est maximale pour une même abscisse transverse. C'est vraisemblablement cette valeur maximale qu'il faut considérer comme la plus proche de la vraie valeur. En effet, compte tenu de la position et de la taille de notre zone d'exploration, une coupe longitudinale située près de l'axe du sillage ne prend pas en compte l'effet de la vague d'étrave, alors qu'une coupe trop éloignée ignore l'effet de la vague arrière (cf figure 6).

7 Conclusion

En dépit des difficultés prévisibles de cette étude, les résultats obtenus atteignent le but espéré: prouver que les essais en milieu naturel peuvent compléter ou, dans certains cas, éviter des recherches en bassin de traction.

La comparaison entre nos mesures et les résultats numériques du code "R.E.V.A." de l'ENSM n'est pas pleinement satisfaisante mais la validité de cette méthode expérimentale ne peut être évaluée avec si peu d'essais. Il sera nécessaire d'entreprendre d'autres expériences à des nombres de Froude différents et notamment plus faibles et avec d'autres types de carène.

Comme pour les essais en bassin de traction, un tel procédé n'autorise pas seulement la mesure des déformations de surface, mais aussi une évaluation des forces. De plus, cela peut apporter des données supplémentaires là où elles font défaut, par exemple, la prévision de la résistance ajoutée dans un champ de vague oblique. Le clapotis naturel sur l'étang est, en effet, assez avantageux pour ce type d'essai. L'étude actuelle s'achemine à présent dans ce sens.

8 Annexe

Nous rappelons ici les équations principales de la méthode de calcul de résistance de vague à partir de coupes transverses:

Pour une distribution de sources imaginaires représentant une carène, hors du domaine proche l'entourant, la hauteur de vague peut s'écrire:

$$\zeta(x, y) = \Re e \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{J}(u, s(u)) J(u, s(u)) \exp(i(uy + sx)) \frac{1 + \sqrt{1 + 4u^2}}{\sqrt{1 + 4u^2}} du$$

avec

$$s(u) = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + 4u^2}}{2} \right)^{1/2}$$

où $J(u, s(u))$ est la forme dégénérée de la fonction de Kochin.

En introduisant F et G , deux fonctions réelles d'une variable u :

$$G(u) + iF(u) = \frac{2(1 + \sqrt{1 + 4u^2})}{\sqrt{1 + 4u^2}} J(u, s(u))$$

l'élévation de hauteur d'eau s'écrit:

$$\zeta(x, y) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} (F(u) \sin(sx + uy) + G(u) \cos(sx + uy)) du$$

D'autre part, la résistance de vague s'écrit:

$$R_w = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} J(u, s(u)) \bar{J}(u, s(u)) \frac{1 + \sqrt{1 + 4u^2}}{\sqrt{1 + 4u^2}} du$$

comme le montre Havelock (1934).

La méthode des coupes transverses utilise ces résultats pour un champ de vague expérimental:

Pour une coupe transverse ($x = \text{cte}$, $-\infty < y < +\infty$) loin de la carène, la hauteur de vague peut s'écrire:

$$\begin{aligned} \zeta(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} (F_o(u) \sin(sx) + G_o(u) \cos(sx)) \cos(uy) du \\ + \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} (F_o(u) \cos(sx) + G_o(u) \sin(sx)) \sin(uy) du \end{aligned} \quad (1)$$

où F_e et G_e sont les parties réelles des fonctions F et G et F_o et G_o , les parties imaginaires. Définissons la transformée de Fourier:

$$C(u, x) + iS(u, x) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(x, y) \exp(iuy) dy$$

avec $0 < u < +\infty$

A cause de la symétrie de notre sillage, nous avons $S(u, x) = 0$

Ainsi, après avoir appliqué la transformée de Fourier à l'équation (1), nous obtenons

$$F(u) \sin(sx) + G(u) \cos(sx) = F_o(u) \sin(sx) + G_o(u) \cos(sx) = 2C(u, x)$$

A partir d'un groupe de plusieurs sections transverses, nous obtenons $F(u)$ et $G(u)$ et par la même la résistance de vague:

$$R_w = \frac{1}{16\pi} \int_{-\infty}^{\infty} (F^2(u) + G^2(u)) \frac{\sqrt{1 + 4u^2}}{1 + \sqrt{1 + 4u^2}} du \quad (2)$$

La méthode des coupes longitudinales est tout à fait similaire: on applique la transformée de Fourier à l'élévation de hauteur d'eau puis à partir des parties réelles et imaginaires, on obtient $F(u)$ et $G(u)$ pour $1 \leq w < \infty$ avec $u = w\sqrt{w^2 - 1}$

$$F(u) = \frac{4\sqrt{w^2 - 1}}{(2w^2 - 1)} \{C(w, y) \sin(uy) + S(w, y) \cos(uy)\} \quad G(u) = \frac{4\sqrt{w^2 - 1}}{(2w^2 - 1)} \{C(w, y) \cos(uy) - S(w, y) \sin(uy)\}$$

et ainsi on obtient la résistance de vague de la même manière que par la méthode des coupes transverses (2).

9 Remerciements

Nous remercions le support financier de la Direction des Recherches Etudes et Techniques sous contrat no. 87/1034. Les auteurs veulent aussi exprimer leur

gratitude au Centre d'Essais des Propulseurs pour leur hospitalité et à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique de NANTES pour leur calcul numérique, et la mise à disposition des carènes.

10 Bibliographie

- (1) D. HOFFMAN, O.J. KARST. The theory of the RAYLEIGH Distribution and some of its Applications. Journal of Ship Research, Vol. 19, No. 3, Sept. 1975, pp. 172-191.
- (2) D.E. CARTWRIGHT, M.S. LONGUET-HIGGINS, The Statistical Distribution of the Maxima of a Random Function. National Institute of Oceanography, Wormley, pp. 212-232.
- (3) K.W.H. EGGERS, S.D. SHARMA, L.W. WARD. An Assesement of Some Experimental Methods for Determining the Wave Making Characteristics of a Ship Form. Transactions of Naval Architects and Marine Engineers. Vol. 75, 1967.
- (4) G. LAURO, M. MANDARINO, S. MIRANDA, G. RUSSO-KRAUSS. Recherches Théoriques et Expérimentales sur la Résistance de Vague de Modèles Géométriquement Semblables. A.T.M.A. Session 1988.
- (5) H. KAJITANI, M. MIYATA. The Summary of the Cooperative Experiment on WIGLEY Parabolic Model in Japon. 17th I.T.T.C., Varna, Bulgaria, Sept. 1983.
- (6) G. DELHOMMEAU, J.J. MAISONNEUVE. Application de la Méthode des Singularités de RANKINE au Calcul de la Résistance de Vague de Différents Types de Carènes. A.T.M.A. 47, rue Monceau 75008 Paris. Session 1986.