

4e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

1, 2, 3 mars 1993 - Nantes

**ETUDE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE
DES PROFILS DE VAGUES
GENERES PAR DES CARENES**

F.Larrarte

Laboratoire de Mécanique des Fluides - Division hydrodynamique navale.
Ecole Centrale de Nantes
1, rue de la Noë
44072 Nantes Cedex 03
Tél: 40.37.25.96. - Fax: 40.37.25.23.

RESUME

Nous présentons ici une étude expérimentale et numérique des profils de vagues générés par des carènes.

Le problème est modélisé en transformant le problème tridimensionnel stationnaire en un problème bidimensionnel instationnaire suivant deux approximations, linéaire et non linéaire. Les résultats numériques de ces méthodes sont présentés, ainsi que ceux du code de résistance de vagues tridimensionnel REVA utilisant les singularités de Rankine.

Nous présentons ensuite les essais effectués pour l'acquisition de profils et de champs de vagues autour de maquettes avançant à vitesse constante en bassin des carènes.

Nous comparons ensuite les résultats expérimentaux à ceux des différents codes de calculs.

SUMMARY

We present here a numerical and experimental study of ship waves.

First we use two methods derivated from strip theory, which transform the tridimensionnal stationary problem in a two dimensionnal instationnary problem. The results of these methodes and of the three dimensionnal code REVA using Rankine source method are given. Then, we present experimental results of near and far field waves.

The experimental results are then compared to the numerical results.

I. Introduction

Une étude théorique des champs de vagues générés par une carène en déplacement uniforme sur une surface libre peut-être faite actuellement avec l'aide de codes bi ou tridimensionnels.

Afin d'évaluer le bien fondé des prévisions des codes de calculs basés sur ces modèles, nous avons entrepris dans le cadre d'une thèse un travail de validation portant sur deux modèles 2D-1/2 et un modèle 3D.

L'intérêt d'un code 2D-1/2 repose sur le fait que l'on peut, sans trop alourdir les calculs, y introduire des non linéarités de diverses sortes.

On peut ainsi espérer une meilleure représentation de la vague d'étrave qui est souvent mal calculée à partir d'une théorie linéarisée même tridimensionnelle.

Des théories de ce type ont été développées depuis plusieurs années par Ogilvie, Fritts - Meinold et Von Kerzcek, Calisal et Chan,...

Cet article présente les grandes lignes des deux modèles qui ont servi de bases aux logiciels CCL et AC que nous avons écrits. CCL reprend le schéma proposé par Calisal et Chan [1], il se limite à une surface libre linéarisée. Le modèle non linéaire qu'ils proposent [4] n'a pu être reproduit.

AC utilise le logiciel CANAL, réalisé par Clément [5], [6],[7], qui s'appuie sur un modèle numérique non linéaire de canal à houle.

Le code tridimensionnel qui nous a permis de compléter nos comparaisons est le code REVA de Delhommeau [8].

Les validations des résultats numériques portent d'une part sur une carène de type Wigley pour laquelle on dispose de résultats expérimentaux [3], d'autre part sur une maquette cylindrique MAQ20 que nous avons expérimentée dans le bassin de traction du L.M.F.

Les expérimentations d'où sont extraits les profils de vagues ont été faites dans un cadre plus large d'investigations sur trois modèles et concernant l'influence du dièdre d'étrave sur la formation de la vague d'étrave.

II. Méthodes numériques

II.1. Modélisation de Calisal-Chan

Nous reprenons ici la méthode de S.M. Calisal et J.L.K. Chan [1] qui ont calculé la vague d'étrave générée par une carène en fonction de l'angulation du dièdre d'étrave et du nombre de Froude calculé en fonction du tirant d'eau. Ces auteurs ont travaillé sur les maquettes en forme de coin étudiées précédemment par Ogilvie [2]. Les résultats de la méthode numérique de tranches qu'ils proposent ont été comparés aux résultats expérimentaux d'Ogilvie.

Les principes de la méthode sont les suivants: la carène se déplace à la vitesse U suivant Ox . Le potentiel absolu Φ de l'écoulement, exprimé dans le repère absolu ($Oxyz$), est solution de l'équation de Laplace: $\Phi_{,xx} + \Phi_{,yy} + \Phi_{,zz} = 0$ dans le demi-plan $z < 0$ (1).

Il satisfait à la condition de glissement: $\Phi_{,n} = U.n$ sur la carène (2),

à la condition de surface libre linéarisée: $\Phi_{,tt} + g\Phi_{,y} = 0$ sur $z = 0$ (3).

Le problème tridimensionnel est transformé en un problème bidimensionnel en se plaçant dans une tranche d'abscisse absolue x donnée et en négligeant la dérivée de Φ suivant la direction Ox , les perturbations étant, par hypothèses, supposées faibles dans cette direction.

On obtient alors pour définir $\Phi(t,y,z)$ les conditions suivantes:

$$\Phi_{,yy} + \Phi_{,zz} = 0 \text{ équation de Laplace dans } D \quad (4)$$

$$\Phi_{,n} = UB(y;x)_{,x} \text{ sur le couple situé en } x \text{ à l'instant } t \quad (5)$$

$$\Phi_{,n} = 0 \text{ sur les parois du bassin à l'infini et l'axe de symétrie} \quad (6)$$

$\Phi_{,tt} + g\Phi_{,z} = 0$ sur la surface libre et son image (7)
 $B(y;x) = z$ représente la forme du couple et la direction n est réduite à ses seules composantes dans le plan (Oyz).

Pour le problème que nous voulons traiter d'une carène symétrique en présence d'un fond, le domaine D dans lequel il faut déterminer Φ sera composé de la moitié du domaine physique compléter par son image par rapport au fond (Fig.1).

Le problème aux dérivées partielles est transformé en un problème intégral au moyen de la fonction de Green suivante:

$$G(P,Q) = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Log} \frac{1}{r} + \text{Log} \frac{1}{r'} \right] \quad (8)$$

où P et Q sont deux points situés sur la frontière Γ du plan (y,z), r la distance PQ et r' la distance PQ' , Q' symétrique de Q par rapport au fond.

La formule de Green appliquée à Φ et G conduit à une équation de Fredholm de deuxième espèce:

$$\Phi(P) + \int_{\Gamma} G(P,Q)_{,n} \Phi(Q) ds = \int_{\Gamma} G(P,Q) \Phi(Q)_{,n} ds$$

avec des intégrales sur tout le contour Γ , incluant le couple de la carène, la surface libre, l'axe de symétrie et leurs images par rapport au fond.

La résolution de l'équation (9) se fait par une méthode de discrétisation utilisant une distribution de singularités de type sources et doublets normaux réparties sur la frontière Γ (Fig.1).

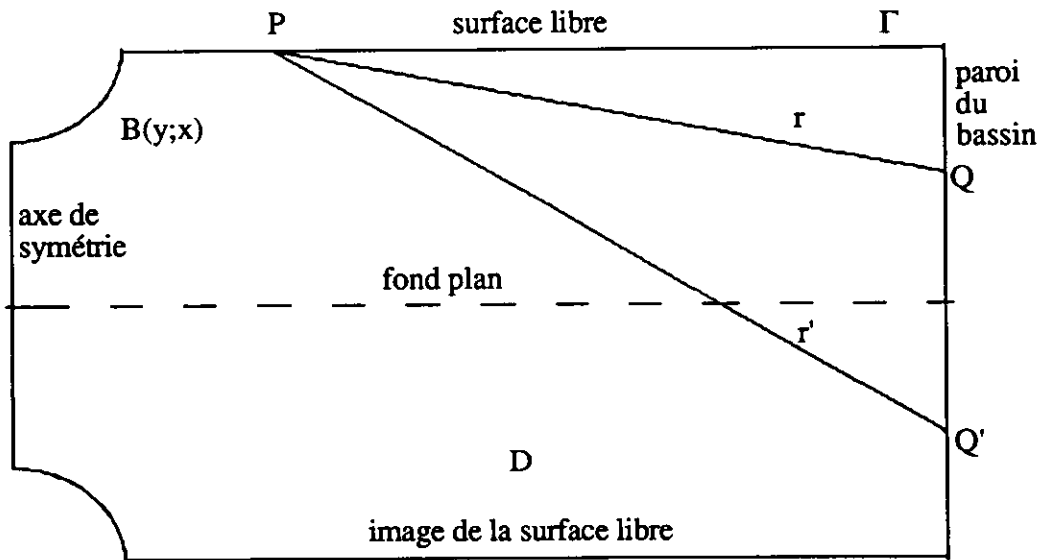


Fig.1: domaine D et définition de r et r'

Le logiciel CCL a été réalisé à partir de ce schéma. Il permet de calculer les profils de vagues sur l'étrave d'une carène. La comparaison avec les résultats expérimentaux [3] des résultats du code CCL et de REVA appliqués à une carène de Wigley sera faite en IV.

Calisal et Chan ont proposé [4] un schéma non linéaire pour la surface libre. Toutefois nos tentatives pour reproduire ce schéma se sont toutes heurtées à des instabilités numériques qui nous l'ont fait abandonner.

II.2. Modélisation de Clément

Pour améliorer le schéma précédent, nous avons utilisé le logiciel CANAL de Clément [5]. Ce logiciel simule par pas de temps le fonctionnement d'un canal à houle. Il a été adapté pour remplacer dans le problème précédemment décrit la condition de surface libre linéaire par la condition exacte écrite sur une déformée que l'on suit dans son mouvement.

Le problème est rendu adimensionnel par les transformations suivantes:

$$\begin{aligned} (X, Y) &= \left(\frac{x}{h}, \frac{y}{h}\right) \text{ où } h \text{ est la hauteur d'eau initiale.} \\ T &= t\sqrt{\frac{g}{h}} \\ \bar{V} &= \frac{\bar{v}}{\sqrt{gh}} \\ \Phi &= \frac{\phi}{h\sqrt{gh}} \end{aligned} \quad (11)$$

Les équations s'écrivent alors:

$$\Delta\Phi(M, T) = 0 \quad M \in D, T \geq 0 \quad (12a)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial n}(M, T) = \bar{V} \cdot \bar{n}(M, T) \quad M \in C \cup S^+ \cup S^- \quad (12b)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial n}(M, T) = 0 \quad \text{pour } M \in B \quad (12c)$$

$$M(Y, Z) \in F \begin{cases} \frac{DY}{DT} = \frac{\partial\Phi}{\partial Y} \\ \frac{DZ}{DT} = \frac{\partial\Phi}{\partial Z} \\ \frac{DF}{DT} = -Z + \frac{1}{2}(\bar{\text{Grad}}\Phi)^2 \end{cases} \quad (12d)$$

$$\text{avec: } \frac{D}{DT} = \frac{\partial}{\partial T} + \bar{V}\Phi \cdot \bar{V} \quad (13)$$

Le problème aux limites est résolu à chaque pas de temps dans une tranche comme précédemment, mais en faisant évoluer la frontière de la surface libre de manière non linéaire. Le calcul de cette nouvelle déformée nécessitant elle-même des itérations, les temps de calcul sont évidemment plus longs. Une première application de cette méthode sera présentée en IV.

II.3. Le code REVA

Le code REVA a été mis au point au Laboratoire de Mécanique des Fluides [8]. Il résout le problème tridimensionnel de la résistance de vagues d'un navire se déplaçant à vitesse uniforme sur une surface libre au repos en amont. Le fluide est supposé parfait et incompressible. La condition de surface libre est celle de Dawson linéarisée. La solution numérique est obtenue par la méthode des singularités avec des sources de Rankine réparties sur la carène et la surface libre qui sont maillées. Les efforts sont obtenus par intégration des pressions. Les coefficients hydrostatiques sont linéarisés. Ce code sera également appliqué aux différents modèles de carènes testées.

III. Essais expérimentaux

Un des buts de notre étude étant de mettre en évidence l'influence de l'angle du dièdre à l'étrave, le choix s'est porté sur des maquettes cylindriques d'axe vertical. Après avoir réalisé des premiers essais sur des carènes dont la génératrice présentait des angles vifs, il nous a paru plus significatif et intéressant pour la validité des comparaisons avec les modèles numériques d'utiliser des maquettes amphidromes dont la génératrice est formée d'un arcs de parabole. On a ainsi évité les brusques ruptures de courbure sur la longueur de la maquette qui provoquaient l'émission de tourbillons.

La forme du modèle MAQ20 est présentée ci-dessous (fig.3).

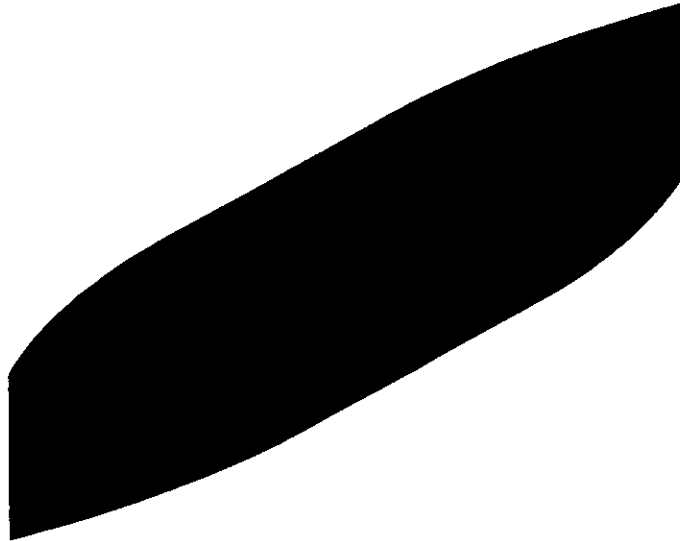


Fig.3: MAQ20: angle de la tangente à l'étrave 20°, largeur maximale 0,18 cm

Nous avons effectué deux types de mesures en bassin des carènes avec cette maquette avançant à vitesse constante sur eau calme:

- des mesures de profils de vagues le long de la carène.
- des mesures de champ de vagues.

III.1. Mesures des profils de vagues

Le relevé du profil de vagues sur la coque a été fait de deux façons: par relevés photographiques d'une part et par relevés limnimétriques d'autres part.

Lors d'une première série d'essais nous avons effectué des photographies de la ligne de flottaison en fixant un appareil sous le chariot du bassin de traction perpendiculairement à l'axe longitudinal de la maquette sur laquelle un quadrillage a été tracé.

Cette méthode est assez simple puisqu'il suffit de positionner l'appareil photo de telle sorte que les vagues qui se forment le long de la maquette rentrent dans son champ de vision et de quadriller la maquette afin d'avoir la correspondance entre les longueurs sur les photos et au réel. Elle a de plus l'avantage de permettre un relevé de profil complet par traction et de ne nécessiter ainsi qu'un nombre minimal de passages sur le bassin des carènes.

L'exploitation consiste à relever sur les photographies les profils de vagues au moyen d'une table à digitaliser. La précision est évidemment fonction de la qualité des photographies. Un soin particulier a été apporté pour éviter un manque de netteté ou de contraste qui pourrait faire chuter très fortement la qualité des résultats. La tentative faite pour rendre automatique le relevé par traitement d'images s'est révélée décevante.

Quoi qu'il en soit les relevés photographiques ne donnent qu'une image plane d'une figure tridimensionnelle, ceci peut entraîner une certaine ambiguïté quant à la position latérale des vagues par rapport à la maquette.

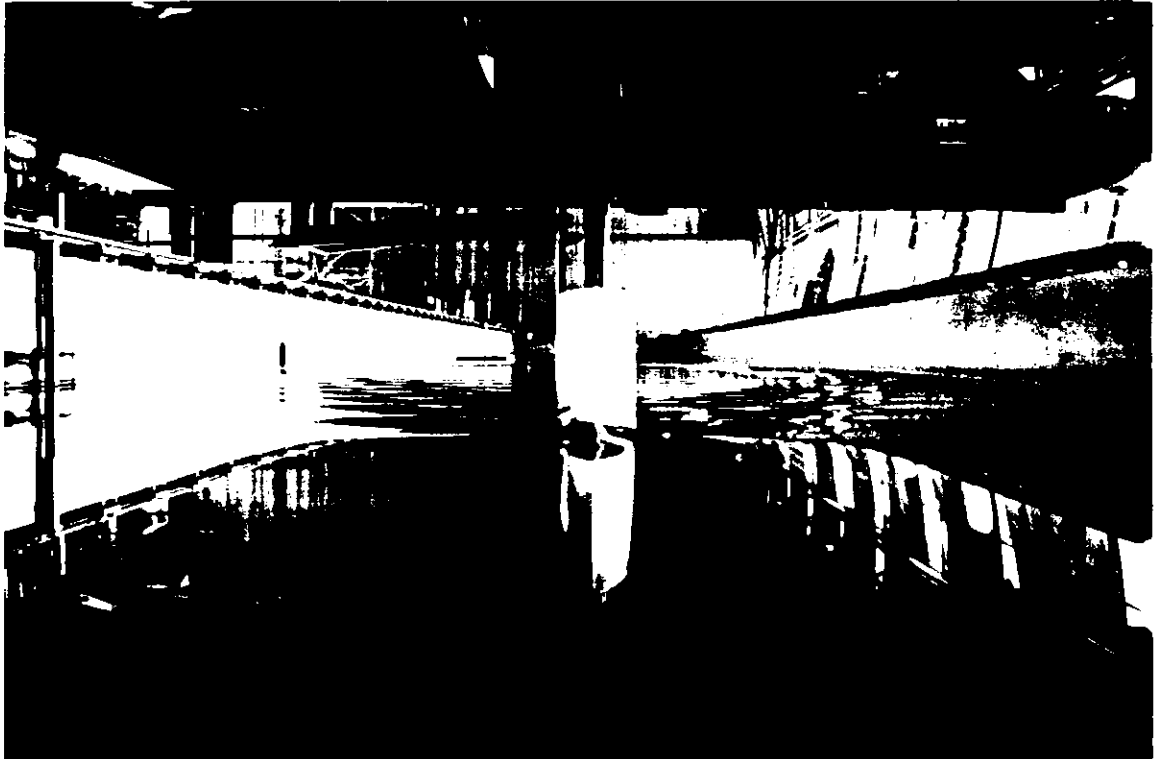


Photo 1: installation expérimentale pour les relevés limnimétriques de profils.

Les relevés par sonde limnimétrique déplacée grâce à un chariot asservi sont d'une mise en œuvre assez délicate et longue puisque les sondes sont très sensibles au retour au calme de la surface libre entre deux passages et que trois points de mesures peuvent, au mieux, être relevés par traction. Il faut compter au moins 80 points de mesures pour obtenir un profil suffisamment fin. En outre, quelques précautions doivent être prises pour permettre à la sonde de suivre des variations rapides de la hauteur d'eau en particulier au passage du front de vague d'étrave. L'utilisation du chariot (x,y) permet de connaître avec une précision du dixième de millimètre la position de la sonde que l'on peut amener à 5 millimètres du bordé de la maquette.

Les mesures et les comparaisons seront présentées en IV.

III.2. Mesures des champs de vagues

Nous avons procédé à des mesures du champ de vagues autour de la maquette Maq20 avançant à 0.96 m/s soit pour un Froude de 0.25. Pour des raisons techniques ces relevés se scindent en deux avec d'une part le champ proche et d'autre part le champ lointain.

Les mesures du champ proche se font avec une pointe asservie fixée à la platine du chariot. Les difficultés opératoires sont les mêmes que celles rencontrées précédemment pour les relevés de profils de vagues le long de la carène.

Pour le champ proche le montage limite les relevés à une zone couvrant toute la longueur de la maquette plus 5 cm au delà des extrémités longitudinales. Cela permet des mesures en arrière du maître couple et dans le proche sillage. Toutefois il n'est pas possible d'obtenir tout le développement de la vague d'étrave en avant de la maquette.

La détermination du champ lointain peut être obtenue facilement grâce à une sonde liée à la berge et non plus fixée au chariot comme cela est nécessaire pour le champ proche. Des coupes parallèles à l'axe longitudinal de la maquette sont obtenues par une sonde asservie fixée à un bras de 2,2 m de long placé perpendiculairement à l'axe longitudinal du bassin [7]. A chaque passage, on fait l'acquisition en continu des hauteurs de vagues données par la sonde (Photos 2 et 3). Cette technique d'essai permet des mesures des hauteurs de

vagues dans des zones non limitées en amont ou en aval, mais situées en dehors de la trajectoire de la maquette.

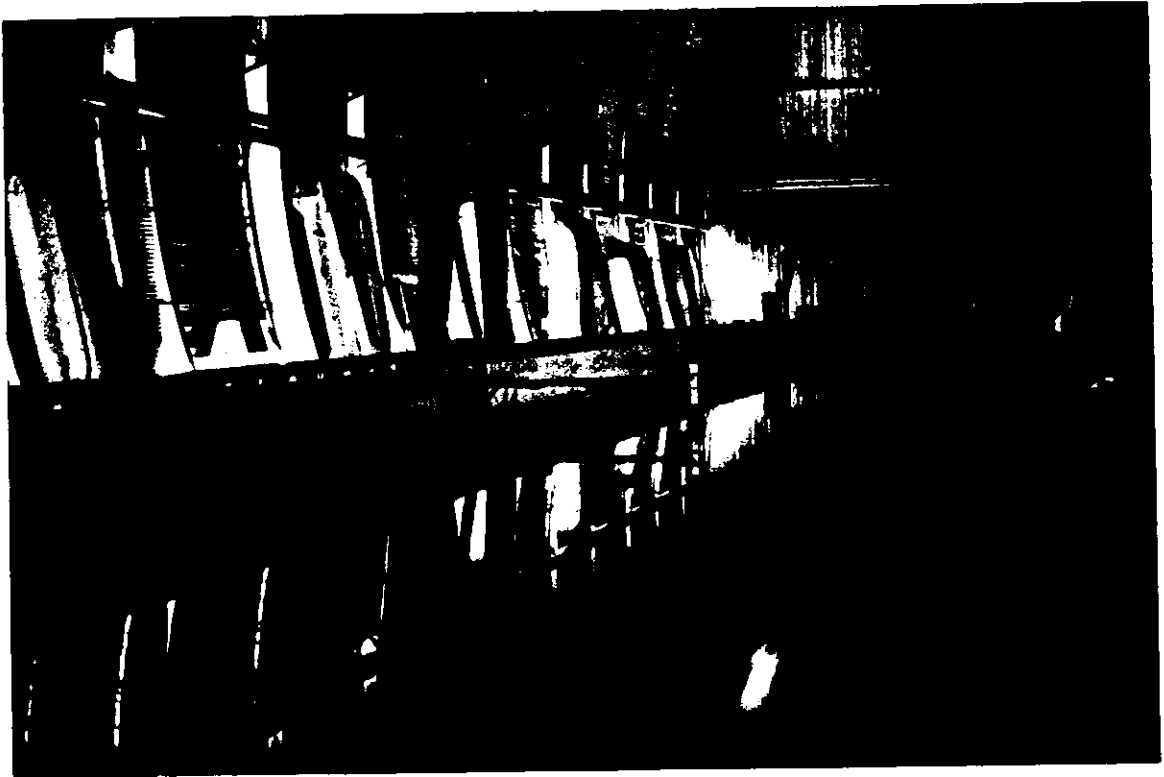


Photo 2: installation expérimentale pour les relevés de champ lointain.

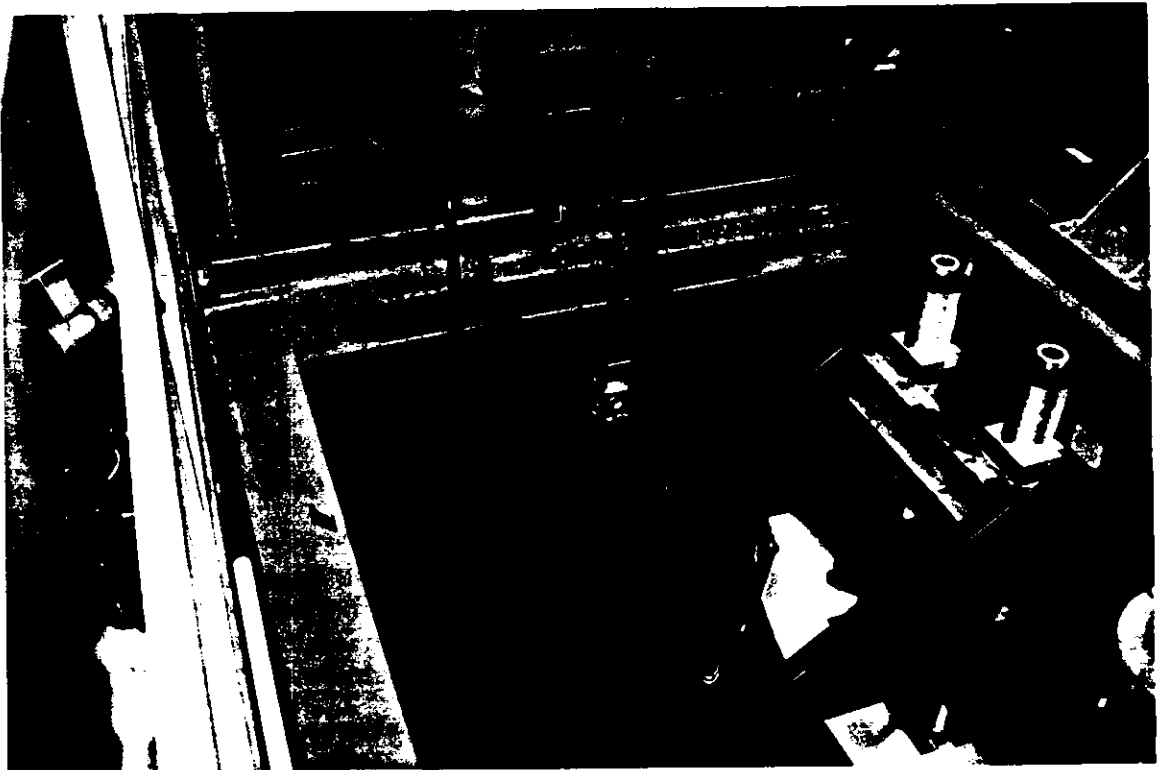


Photo 3: installation expérimentale pour les relevés de champ de vagues.

Il existe une différence entre les mesures de champ proche et celles de champ lointain. Les premières sont des acquisitions en un point donné obtenues en moyennant des tensions acquises pendant 2 s alors que les secondes sont des acquisitions continues qui représentent une coupe longitudinale non moyennée. Nous verrons plus loin que ces deux séries d'acquisitions sont, malgré tout, en bon accord lorsque l'on passe du champ proche au champ lointain.

IV. Comparaison des modèles et des expériences

Les résultats concernant les profils de vagues sont présentés d'abord avec la carène de Wigley puis la maquette Maq20.

Ensuite le champ de vagues mesuré autour de Maq20 avançant à une vitesse de 0.96 m/s est comparé à celui calculé par le code REVA.

IV.1. Comparaison des profils de vagues le long de la carène

IV.1.1. Comparaison pour les carènes de Wigley

Les résultats numériques de CCL et REVA sont comparés aux courbes expérimentales obtenues à l'Université de Tokyo et au Ship Research Institute de Tokyo [3], notés respectivement U.T. et S.R.I sur les courbes. Les résultats expérimentaux des deux centres donnent les mêmes positions longitudinales des maxima de vagues le long de la maquette mais des différences de hauteurs de l'ordre de 10% peuvent être notées. L'origine des écarts n'est pas connue.

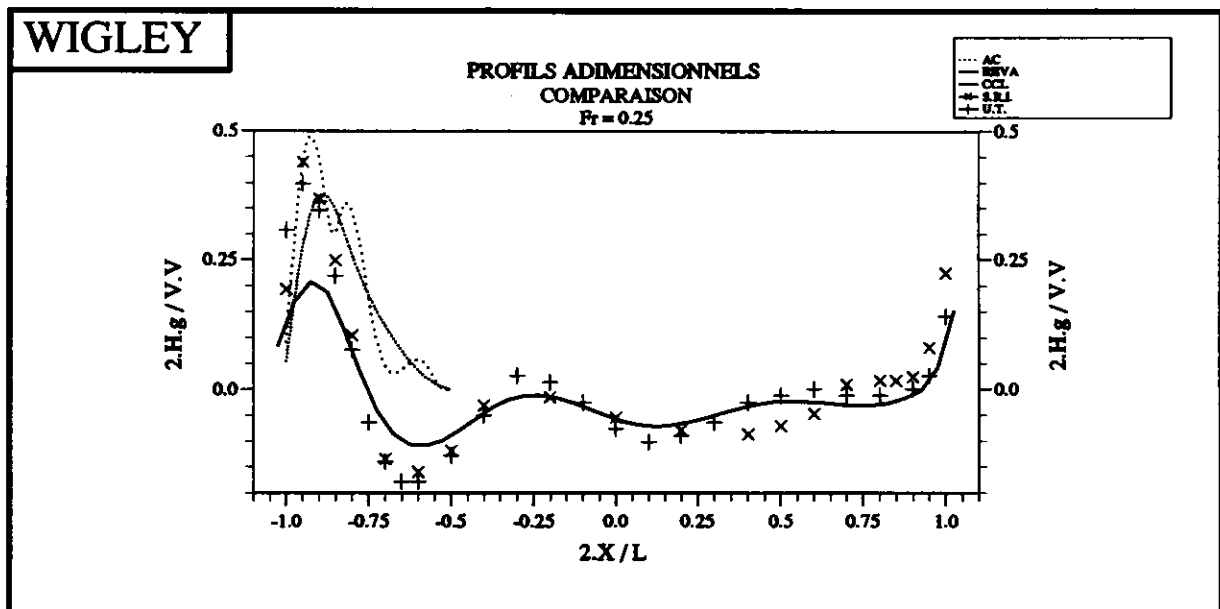


Fig.4 a: comparaison des résultats sur une carènes de Wigley pour $Fr = 0.25$

Les figures 4 montrent que le code CCL basé sur la méthode linéaire de Calisal et Chan donne des résultats très décevants par rapport aux résultats expérimentaux. Le code CCL sous-évalue systématiquement la hauteur de la première crête mesurée expérimentalement tout en en surévaluant l'abscisse. Le calcul CCL présenté ici a été limité à la vague d'étrave. Etant donné les écarts constatés les calculs sur les maquettes amphidromes n'ont pas été effectués avec CCL.

Les profils de vagues calculés par le code REVA reproduisent assez fidèlement les profils expérimentaux à l'exception de la première vague dont la hauteur est sous-évaluée.

Les premiers résultats du code basé sur la modélisation non linéaire de surface libre, notés AC sur la figure 4a, montrent que la hauteur et la position de la vague d'étrave sont

assez bien évaluées malgré l'apparition d'une crête secondaire. La mise au point du code n'est pas encore entièrement terminée aussi les résultats ne sont ils présentés ici que pour un nombre de Froude et la seule carène de Wigley.

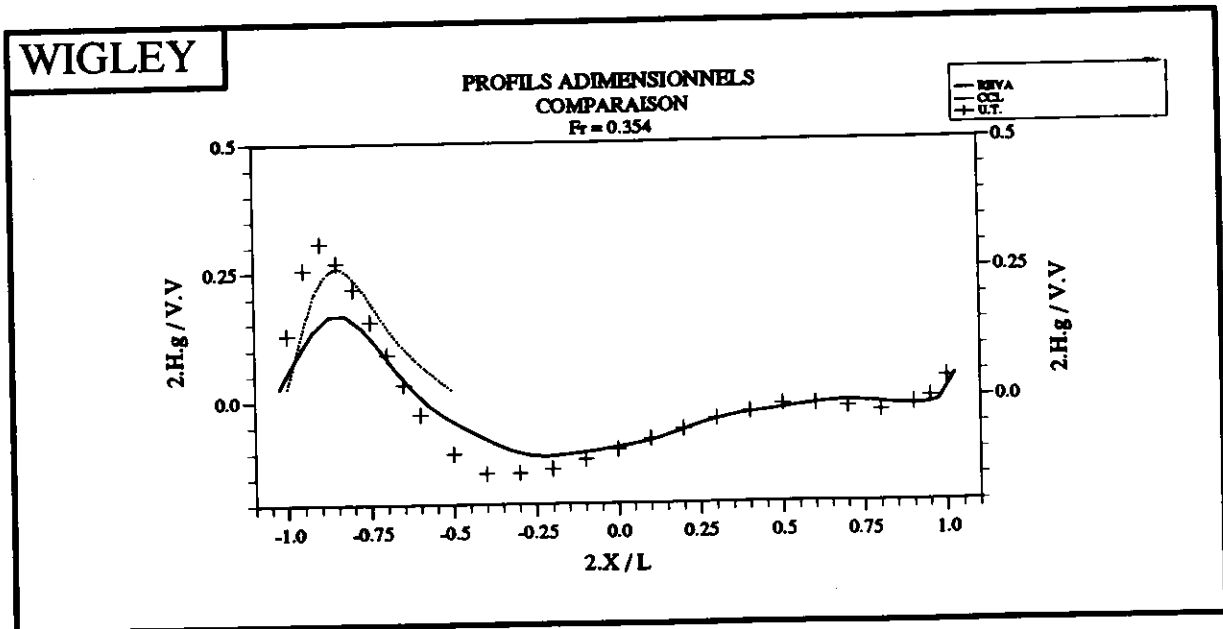


Fig.4 b: comparaison des résultats sur une carènes de Wigley pour $Fr = 0.354$

IV.1.2. Comparaison des profils de vagues le long de la maquette Maq20

Les relevés photographiques ou par sonde faits sur la maquette Maq20 sont pratiquement confondus pour le nombre de Froude le plus faible ($Fr = 0.25$), Fig.5a. Des écarts dans le relevé de la première crête sont observés pour des Froude supérieurs à 0.25, Fig.5b.

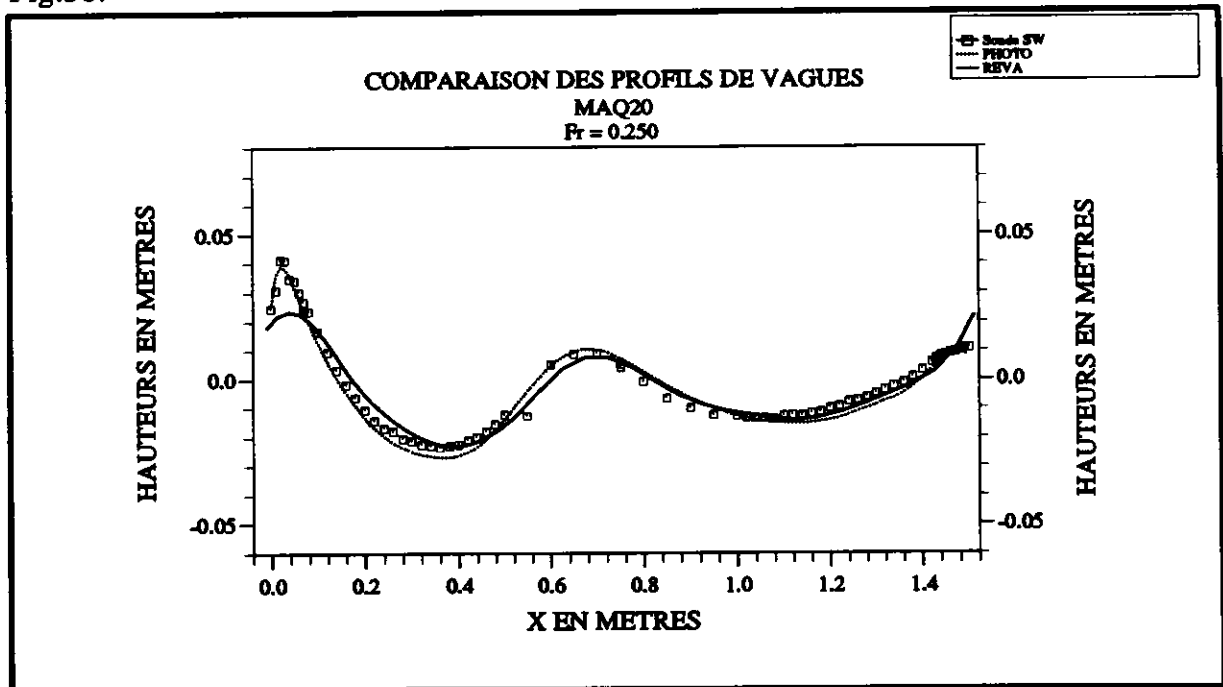


Fig.5 a: comparaison des résultats pour Maq20 à $Fr = 0.25$

On constate aussi des écarts de plus en plus grands sur le relevé des deuxièmes crêtes. Il paraît peu vraisemblable qu'il s'agisse d'un problème dû à la sonde limnimétrique.

Nous pensons qu'il s'agit plutôt d'un problème optique lié à l'utilisation d'un appareil photo qui, comme indiqué précédemment, ne donne qu'une image bidimensionnelle d'un champ de vagues qui est en réalité tridimensionnel.

Comme pour la carène de Wigley, le code REVA reproduit bien les profils expérimentaux tant pour la hauteur des vagues que pour leurs positions longitudinales sauf pour la première crête dont la hauteur est sous évaluée.

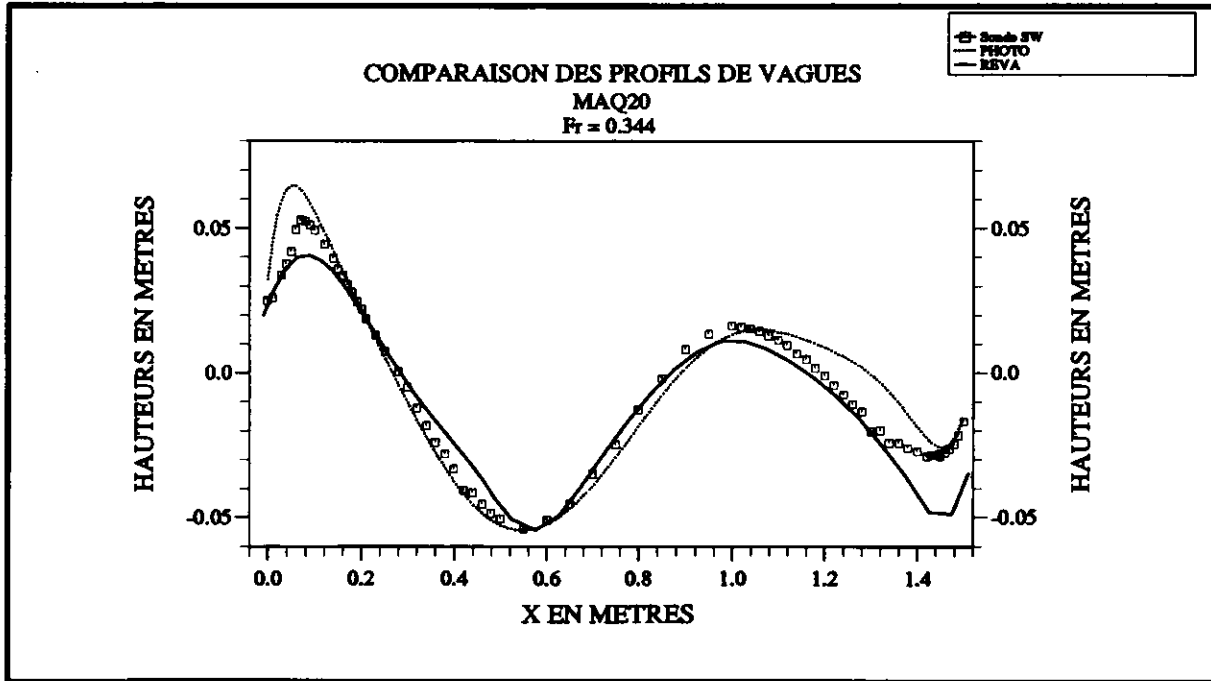


Fig.5 b: comparaison des résultats pour Maq20 à $Fr = 0.344$

IV.2. Comparaison des champs de vagues expérimentaux et calculés par REVA

La figure 6a représente le champ de vagues calculé par le code REVA. Les blancs correspondent aux creux, les grisés les plus foncés aux crêtes.

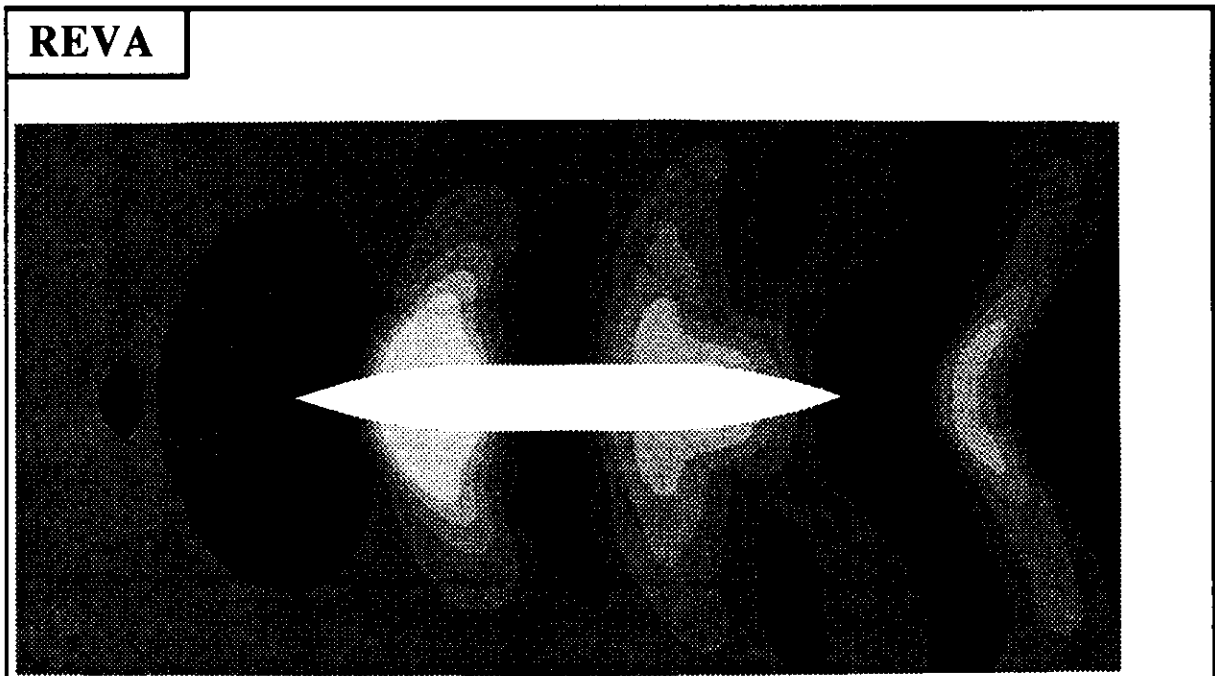


Fig 6a: Champ de vagues calculé par REVA

La figure 6b représente le champ de vagues reconstitué à partir des relevés expérimentaux avec les mêmes conventions pour le rendu des crêtes et creux. Ce champ a été reconstitué en faisant les interpolations nécessaires pour raccorder les champs lointains et proches mesurés.

La visualisation présentée a été réalisée ensuite avec un logiciel graphique GRASC fait par B.Alessandrini, du L.M.F.

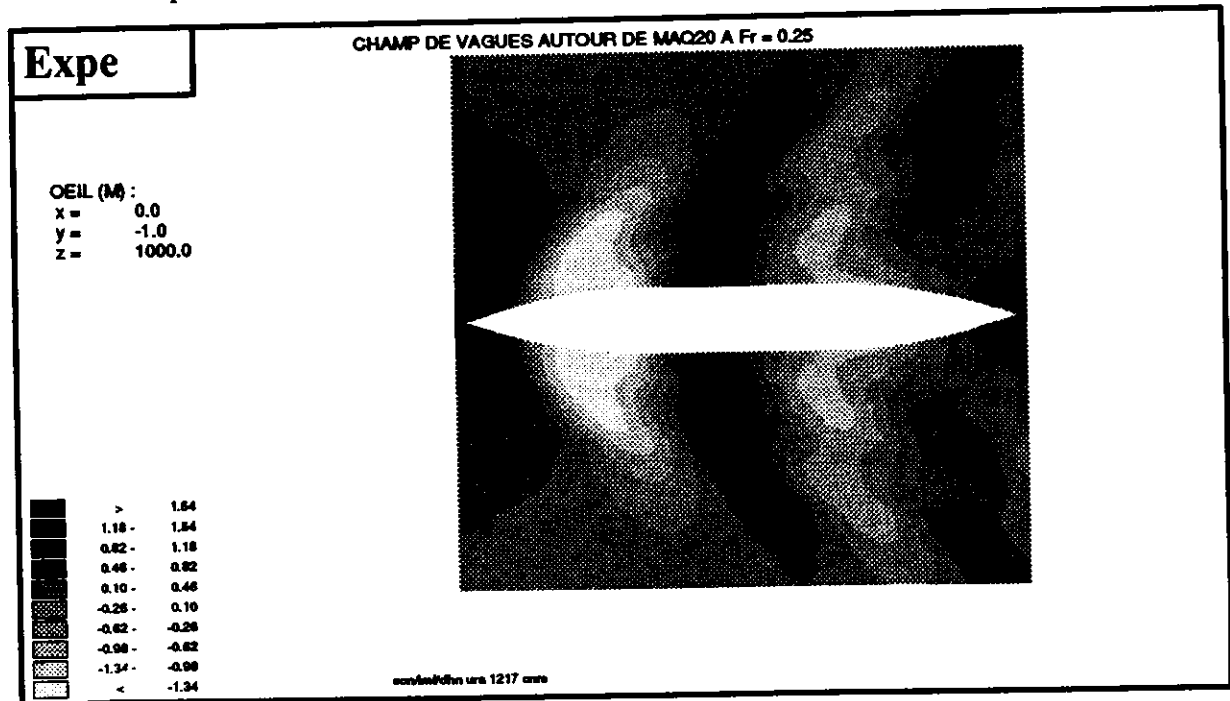


Fig. 6b: Champ de vagues mesuré en bassin des carènes

Nous voyons que REVA détermine bien la position longitudinale des différentes crêtes et creux le long de la maquette et que l'allure générale du champ de vagues est bien décrite.

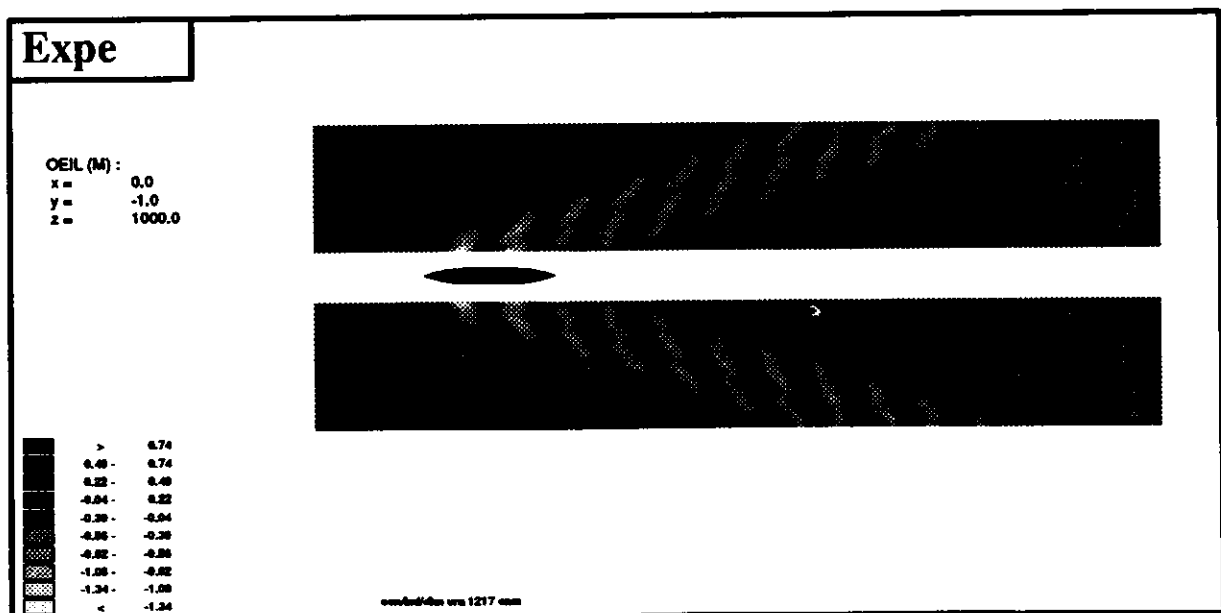


Fig.7: champ lointain mesuré expérimentalement

La figure 7 montre le développement du champ de vagues lointain généré par le passage de Maq20 à 0.96 m/s. Le développement amont de la vague d'étrave est bien visible.

V. Conclusion

Il apparaît clairement que la modélisation linéaire de Calisal-Chan n'est pas satisfaisante. L'espoir d'une amélioration par la modélisation non linéaire qu'ils proposent est tempéré car la méthode pose manifestement des problèmes de convergence que nous n'avons pu résoudre.

La solution non linéaire que nous avons choisie, basée sur un modèle de canal à houle de Clément [5] semble, dans ses premiers résultats, intéressante. Son développement et son application à d'autres carènes vont être poursuivis, en particulier l'introduction de la vitesse longitudinale du fluide suivant le modèle 2D 1/2 +w de Fritts-Meinhold et Von Kerczek [8].

Les tests de comparaison faits sur les méthodes de relevés de profils de vagues montrent que la méthode photographique, malgré certains défauts, peut-être avantageusement utilisée aux faibles de nombres de Froude et avec une certaine marge d'incertitude aux valeurs plus élevées.

Enfin le relevé expérimental du champ de vagues réalisé confirme la fiabilité du code REVA.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S.M.Calisal - J.L.K.Chan:
" A numerical modeling of ship bow waves."
Journal of Ship Research, Vol.33, N°1, March 1989.
- [2] T.F.Ogilvie:
" The wave generated by a fine ship bow."
9th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, Paris, 1972.
- [3] 17th International Towing Tank Conference
" Report of the resistance committee."
Goteborg, Sept.1984.
- [4] J.L.K.Chan:
" Numerical procedure for potential flow problems with a free surface."
Thesis of Ph.D., University of British Columbia, Dec.1987.
- [5] A.Clément:
" Diffraction of two-dimensionnal nonlinear waves by bodies of arbitrary cross section."
271 Euromech Conf., Kiev, 1991
- [6] A.Clément:
" Exemples de simulations d'écoulements instationnaires non-linéaires à surface libre par la méthode mixte Euler-Lagrange."
3èmes Journées de l'Hydrodynamique, Grenoble, 1991
- [7] A.Clément:
" The diffraction of a solitary wave by a free-surface piercing cylinder."
6th Int. Workshop on Water Waves and Floating bodies, Woods Hole, 1991
- [8] G.Delhommeau:
" Les problèmes de diffraction-radiation et de résistance de vagues: étude théorique et résolution numérique par la méthode des singularités."
Thèse de doctorat ès Sciences, E.N.S.M., Nantes, 1987
- [9] T.Fuwa - N.Hirata - T.Hino:
" A fundamental study on a flow field around a sudmerged body of revolution with surface piercing struts."
Proceedings from the first International Conference on Fast Sea Transportation Trondheim, Norway, 1991
- [10] M.J.Fritts - M.J.Meinhold - C.H.Von Kerzcek:
" The calculation of non linear bow waves."
17th Office of Naval Research, La Hague, 1988

