

## 4e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

1, 2, 3 mars 1993 - Nantes

### VALIDATION MUTUELLE DE DIFFERENTS CODES DE TENUE A LA MER

**J.F. Le Guen, A.R. Magee et C. Royal**  
DCN Bassin d'Essais des Carènes  
chaussée du Vexin, 27100 VAL DE REUIL

#### RESUME

Actuellement le Bassin d'Essais des Carènes dispose pour résoudre le problème de tenue à la mer de plusieurs codes. Après une présentation succincte de chaque code et afin de les vérifier mutuellement des comparaisons systématiques sur une demi-sphère et des carènes de Wigley seront présentées.

#### SUMMARY

Currently, the Bassin d'Essais des Carènes possesses several computer programs to solve seakeeping problems. A short description of each code is presented. In order to mutually and systematically validate each of them, results are presented for a hemisphere and for Wigley hulls. The latter are compared to experiments conducted at Delft.

## INTRODUCTION

Dans ce papier nous présentons des résultats de différents codes de calculs de tenue à la mer utilisés au Bassin d'Essais des Carènes (DCN/BA) : TIMEDV développé à l'université du Michigan, SIMSEA (DCN/BA), DIODORE (DIODORE système) et le dernier utilisant la bibliothèque MELINA de l'ENSTA.

Ces codes peuvent être séparés en deux groupes selon l'approche utilisée pour résoudre le même problème de tenue à la mer : une approche soit fréquentielle (DIODORE, MELINA), soit temporelle (SIMSEA, TIMEDV). Ils peuvent être également classés selon la méthode numérique employée pour résoudre le problème théorique : méthode de singularités (DIODORE, SIMSEA, TIMEDV), ou méthode de couplage éléments finis-représentation intégrale (MELINA). Cette dernière classification des codes conduit à une différence dans la représentation de la carène. Pour les codes utilisant la méthode de singularités un maillage surfacique est suffisant, par contre MELINA nécessite un maillage volumique bien que dans un domaine restreint autour de la carène.

Pour les codes fréquentiels, les cas avec et sans vitesse d'avance nécessitent des fonctions de Green distinctes. Actuellement, seul DIODORE a la possibilité de traiter ces deux cas. Cette distinction n'existe pas pour les codes temporels mais SIMSEA n'est pas encore opérationnel avec vitesse d'avance.

Puisque utilisant des approches différentes il est utile de pouvoir comparer ces quatre codes entre eux et à des essais afin de contrôler leur validité et d'apprécier les avantages de chaque méthode. Les résultats seront présentés sous forme fréquentielle et comparés à des essais en houle régulière.

## APPROCHE TEMPORELLE

L'écoulement est gouverné par l'équation de Laplace et la troisième identité de Green est utilisée pour formuler une équation intégrale (distribution mixte de Green) permettant de déterminer le potentiel en n'importe quel point du domaine fluide ou sur la surface frontière. La surface libre est linéarisée autour du niveau moyen en eau calme. La condition de glissement est appliquée sur la surface moyenne mouillée, dans le repère en translation uniforme. Au temps initial, le potentiel et sa dérivée temporelle sont nuls. La fonction de Green du problème temporel, étudiée par Wehausen et Laitone (1960), permet de ramener l'équation intégrale posée sur la surface frontière à une équation posée uniquement sur la surface du corps. Avec une vitesse d'avance non nulle, nous avons en plus des intégrales de ligne sur l'intersection entre le corps et la surface-libre.

Pour avoir une approche consistante dans la résolution simultanée des deux problèmes (rayonnement et diffraction) on considère la réponse du système à une excitation de type gaussien plutôt qu'impulsionnel (King et al 1988). L'excitation gaussienne a l'avantage de supprimer les hautes fréquences tout en atténuant les effets des fréquences irrégulières, et d'éviter les inconvénients dus aux hautes fréquences qui ne peuvent être résolues par une discrétisation finie en temps et en espace. En réduisant la largeur de la fonction gaussienne, on approche l'excitation impulsionnelle.

A chaque pas de temps l'équation intégrale est résolue pour déterminer les potentiels sur le corps en partant des conditions initiales. Ce potentiel dépend de tout le passé via les intégrales de convolution.

Les coefficients hydrodynamiques dans le domaine fréquentiel (masses ajoutées, amortissements et efforts d'excitation) sont obtenus par transformée de Fourier de l'historique des efforts et peuvent être alors directement comparés aux coefficients obtenus à l'aide de l'approche fréquentielle ou aux résultats d'essais en houle régulière. Pour obtenir les résultats sous forme fréquentielle, pour une large bande de fréquence, une seule exécution du code temporel est nécessaire. Les coefficients hydrodynamiques temporels (masses ajoutées, et amortissements à fréquence infinie, coefficients statiques et les fonctions de mémoire) sont également obtenus dans ce processus.

Deux codes de calcul ayant une approche temporelle ont été utilisés pour obtenir les résultats présentés dans ce papier. Le premier, TIMEDV, a été développé au département d'architecture navale de l'université du Michigan dans le cadre de trois thèses, sous la direction principale du professeur R.F. Beck. Dans ce code la répartition des singularités est constante par facette.

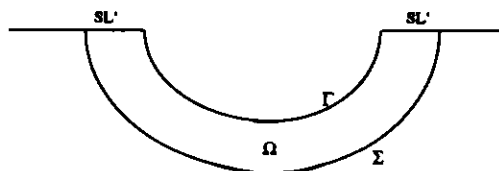
Le second code, SIMSEA, est un programme très similaire mis au point au Bassin d'Essais des Carènes (Val de Reuil). Une description des méthodes de ce code a été faite par Magee et King (1992). Pour le moment, son application est limitée aux cas qui ne nécessitent aucune intégrale de ligne (corps flottant sans vitesse d'avance et corps immergé avec ou sans vitesse d'avance). Par rapport à TIMEDV, SIMSEA possède l'avantage de considérer une représentation linéaire par facette (triangulaire plane) du potentiel, la vitesse étant constante par facette. Les doublets sont répartis linéairement, tandis que les sources sont constantes par facette. Ce type de répartition semble plus cohérent.

SIMSEA a la possibilité de traiter la condition de glissement non linéarisée sur la position instantanée de la carène. Le couplage entre le problème hydrodynamique dit de grande amplitude et les équations dynamiques du mouvement est en cours de réalisation et ne sera pas discuté ici.

## APPROCHE FREQUENTIELLE

### MELINA : couplage éléments finis - représentation intégrale (Jami et Lenoir 1978)

Le problème de tenue à la mer sans vitesse d'avance présente comme grande difficulté le fait que les domaines  $\Omega_e$  (domaine fluide) et SL (surface libre) ne sont pas bornés. La première étape avec MELINA consiste à restreindre le domaine de calcul à un domaine  $\Omega$  entourant la carène (voir la figure 1), et à formuler sur  $\Omega$  un problème équivalent. On entoure donc la carène par un frontière arbitraire (suffisamment régulière).



Il nous faut maintenant formuler sur le domaine  $\Sigma$  une condition telle que l'on a équivalence entre le problème de départ et sa "restriction". La représentation intégrale de la solution (i.e. la 3-ème identité de Green) va nous permettre d'y arriver. Effectuons d'abord un rapide rappel à propos de la représentation intégrale. Si l'on connaît le potentiel  $\varphi$  sur une surface  $\Gamma$ , on peut déduire le potentiel en n'importe quel point  $M$  du domaine fluide en utilisant sa représentation intégrale ainsi définie :

$$\varphi(M) = \int_{\Gamma} \left( \varphi(P) \frac{\partial G(M,P)}{\partial n_r} - \frac{\partial \varphi(P)}{\partial n_r} G(M,P) \right) d\Gamma$$

où  $G$  désigne la fonction de Green du problème. Notons  $RI_{\Gamma}(\varphi)(M)$  la représentation intégrale du potentiel basée sur la surface  $\Gamma$ . Sur  $\Sigma$  nous utilisons une condition de Fourier :

$$\lambda \varphi(M) + \frac{\partial \varphi(M)}{\partial n} = \lambda RI_{\Gamma}(\varphi)(M) + \frac{\partial RI_{\Gamma}(\varphi)(M)}{\partial n}$$

avec  $\lambda$  un nombre complexe arbitraire à partie imaginaire non nulle

$\Sigma$  est appelée frontière de couplage ; l'utilisation de la R.I. permet de formuler un problème en domaine borné équivalent au problème posé en domaine non borné. La résolution du problème en domaine borné est faite par MELINA en utilisant la méthode des éléments finis. Il est donc nécessaire d'établir la formulation variationnelle de ces problèmes. La formulation variationnelle du problème de tenue à la mer (au point fixe) est :

Déterminer  $\varphi_j$  dans l'espace de Sobolev  $H_1(\Omega)$  tel que  $\forall \psi \in H_1(\Omega)$ , on a :

$$\int_{\Omega} \nabla \varphi_j \nabla \psi \, dv + \lambda \int_{\Gamma} \varphi_j \psi \, dr - k \int_{\Sigma} \psi(M) \int_{\Gamma} \varphi(P) \left( \lambda G(M,P) + \frac{\partial G(M,P)}{\partial n_p} \right) dr \, dx =$$

$$\int_{\Gamma} k \varphi_j \, dr - \int_{\Sigma} \int_{\Gamma} k \varphi_j \left( \lambda G(M,P) + \frac{\partial G(M,P)}{\partial n_p} \right) dr \, dx$$

Après résolution de ce problème variationnel par les éléments finis, on peut calculer les coefficients des matrices de masses ajoutées et d'amortissements. De là, on déduit les mouvements du navire pour une houle incidente donnée. MELINA peut utiliser différents éléments finis d'ordre un ou deux ( De Bayser et Martin 1991).

### DIODORE : méthode de singularités

Pour résoudre le problème de la tenue à la mer dans le domaine fréquentiel nous avons utilisé les modules de base de DIODORE. Ils permettent sous les hypothèses habituelles (le navire soumis à une houle incidente régulière de faible amplitude est en régime établi à la période de rencontre de la houle, petits mouvements autour d'une position moyenne et linéarité en fonction de l'amplitude de la houle) en utilisant une méthode de singularités de traiter le problème de la tenue à la mer avec ou sans vitesse d'avance.

Sans vitesse d'avance, différents types de singularités peuvent être utilisés afin d'améliorer la précision des résultats et de limiter les problèmes de fréquences irrégulières. Avec vitesse d'avance, seule une répartition de singularités de type source, constante par facette, peut être utilisée.

Deux approximations différentes peuvent être utilisées. La différence entre ces deux approximations se situe au niveau de la condition de glissement prise en compte de manière plus ou moins approchée. Dans le cas de la formulation dite complète la condition de glissement est linéarisée et posée sur la position moyenne de la carène. Dans le cas de l'approximation de pulsation de rencontre on néglige en plus dans cette condition tous les termes dépendant de la vitesse d'avance, ce qui conduit à ne calculer que la fonction de Green du problème sans vitesse d'avance qui est plus facilement et plus rapidement calculable que celle de la formulation complète (Bougis et Coudray 1991).

## DISCUSSION DES RESULTATS

Les figures qui suivent présentent les résultats sous forme adimensionnelle. Masses ajoutées, amortissements et efforts d'excitation sont exprimés en fonction de la pulsation ou du nombre d'ondes.  $A_{11}$ ,  $B_{11}$  et  $F_1$  désignent respectivement masse ajoutée, amortissement et effort d'excitation en cavement ;  $A_{33}$ ,  $B_{33}$  et  $F_3$  sont les coefficients en pilonnement. Les grandeurs caractéristiques sont pour la sphère son rayon  $r$ , sa masse  $M$ , l'amplitude de la houle  $a$  et  $g$ . Pour la carène de Wigley, sont aussi représentés les coefficients de tangage et de couplage pilonnement-tangage, ainsi que les fonctions de transfert en pilonnement et tangage ( $\zeta_3$  et  $\zeta_5$ ) ; la masse est celle donnée dans le rapport d'essais (Journée 1992). L'origine des phases est l'élévation de la houle au niveau du centre de gravité du modèle.

La figure 1 permet de faire une comparaison des résultats des trois codes de calcul sur le cas de la demi-sphère flottante sans vitesse d'avance, pour laquelle nous avons une solution quasi-analytique (Hulme, 1983). Pour les trois codes, la sphère a été discrétisée en triangles, d'ordre 1 pour DIODORE et SIMSEA, d'ordre 2 pour MELINA. Nous pouvons voir un bon accord en ce qui concerne l'estimation des coefficients hydrodynamiques sur toute la gamme de fréquences étudiée, sauf au voisinage de quelques fréquences, dites irrégulières. Ce phénomène a été expliqué par Adachi et Ohmatsu (1979) ; ces fréquences irrégulières correspondent à des modes propres du problème de Dirichlet intérieur qui "polluent" la solution extérieure près de ces fréquences. Les valeurs à hautes et basses fréquences fournies par les trois codes correspondent aux prévisions des calculs analytiques.

Avec la méthode employée par MELINA, il est possible d'atténuer les effets de ce phénomène en jouant sur la valeur de  $\lambda$  (condition de Fourier). Pour la demi-sphère les valeurs choisies pour  $\lambda$  sont  $-9i$  pour le cavement et  $-11i$  pour le pilonnement (Lee et Sclavounos 1987). L'approche temporelle faite par SIMSEA ne donne jamais une solution singulière, par contre elle fait apparaître des oscillations dans l'historique des efforts aux fréquences irrégulières. Ces oscillations demandent un traitement spécial lorsqu'on utilise la transformée de Fourier pour revenir dans le domaine fréquentiel.

Le second cas test que nous avons étudié est celui de la carène de Wigley modèle IV sans vitesse d'avance (Journée 1991). Il y a toujours un bon accord entre SIMSEA et DIODORE. La forme élancée de ce modèle rejette les fréquences irrégulières en dehors du domaine de fréquences intéressant pour les mouvements. Seuls les mouvements ont été mesurés au cours des essais. On observe un désaccord entre les valeurs calculées et mesurées, particulièrement dans le cas du tangage. On n'a pas encore trouvé une explication satisfaisante pour ce désaccord.

Le dernier cas test choisi est un cas avec vitesse d'avance ; nous avons considéré la carène de Wigley modèle I (Gerritsma 1988). L'approche temporelle a été effectuée à l'aide de TIMEDV. La version de TIMEDV utilisée tient compte des remarques faites par Bingham (1992) (amortissement non nul à fréquence infinie). DIODORE a été utilisé avec deux approximations, la formulation complète et l'approximation de pulsation de rencontre. On retrouve avec l'approximation de pulsation de rencontre une fréquence irrégulière correspondant à celle obtenue au point fixe, mais à une fréquence plus importante. Malgré cela, les résultats donnés par cette approximation sont plus réguliers que ceux obtenus à l'aide de la formulation complète.

Les désaccords les plus importants apparaissent pour les coefficients de couplage pilonnement-tangage. En particulier, l'approximation de pulsation de rencontre ne vérifie pas l'antisymétrie observée expérimentalement entre les coefficients (3,5) et (5,3). Pour la phase des efforts d'excitation en tangage on peut remarquer que les valeurs expérimentales ne vérifient pas la tendance habituellement observée aux autres nombres de Froude ou pour les autres modèles (accroissement de la phase avec le nombre d'onde).

En ce qui concerne l'amplitude des mouvements on peut noter que les effets de vitesse d'avance sont surestimés autour de la résonance, excepté pour l'approximation de pulsation de rencontre. Ceci s'explique peut-être par la prise en compte approximative de l'interaction entre les champs de vagues stationnaire et instationnaire, qui reste un point intéressant à améliorer.

## CONCLUSION

Des efforts doivent être faits pour améliorer la qualité des maillages en vue de pouvoir utiliser ces différents codes de calcul de façon plus standard et sur des cas plus réalistes afin d'obtenir des résultats numériques moins dépendants du maillage. Cela est particulièrement vrai pour MELINA, qui a besoin d'un maillage volumique plus complexe à générer qu'un maillage surfacique, ce qui limite, actuellement, le domaine d'application de ce code. La méthode utilisée par MELINA a cependant l'avantage de pouvoir éliminer les effets des fréquences irrégulières.

Les résultats de cette comparaison auraient certainement été différents si nous avions utilisé une carène plus complexe ; mais ils nous ont permis de comparer à des essais, non seulement les mouvements, mais aussi les coefficients hydrodynamiques donnés par les codes.

DIODORE possède un plus grand domaine d'application (possibilité de traiter du second ordre ou du non-linéaire) mais il reste pénalisé par un temps de calcul important, en particulier dans les cas avec vitesse d'avance ; dans l'approche temporelle, le temps de calcul pour traiter un cas avec vitesse d'avance est du même ordre de grandeur que sans vitesse d'avance.

Ces travaux ont été effectués, en partie, dans le cadre de conventions entre le Bassin d'Essais des Carènes et la D.R.E.T. que nous remercions pour son soutien.

## REFERENCES

Adachi, H. et S. Ohmatsu.

On the influence of irregular frequencies in the integral equation solutions of time-dependent free surface problems.

Journal of Engineering Mathematics 16(2) 97-119 (1979)

Bingham, H.

Impulse response functions at steady forward speed.

The seventh international workshop on water waves and floating bodies.

Val-de-Reuil (1992).

Bougis, J. et T. Coudray

Méthodes rapides de calcul des fonctions de Green des problèmes de Neumann-Kelvin et de diffraction-radiation avec vitesse d'avance.

Troisièmes journées de l'hydrodynamique Grenoble (1991).

De Bayser, O. et D. Martin

Melina, un code éléments finis pour les problèmes extérieurs. Application à l'hydrodynamique navale.

A.T.M.A. Paris (1991).

Gerritsma, J.

Motions, wave loads and added resistance in waves of two Wigley hull forms.  
Report n°804, Delft university of technology, The Netherlands (1988).

Hulme, A.

A ring-source/integral-equation method for the calculation of hydrodynamic forces exerted on floating bodies of revolution.  
Journal of Fluid Mechanics, 128: 387-412 (1983).

King, B. K., R. F. Beck et A. R. Magee

Seakeeping calculations with forward speed using time-domain analysis.  
Proceedings of the seventeenth symposium on naval hydrodynamics, 577-596.  
Office of Naval Research, Washington, D.C. (1988).

Jami, A. et M. Lenoir

A variational formulation for exterior problems in linear hydrodynamics.  
Comp. Meth. in App. Mech. and Eng., Vol 16 (1978).

Journée, J. M. J.

Experiments and calculations on four Wigley hull forms.  
Report n°909, Delft university of technology, The Netherlands (1992).

Lee, C.-H. et P. D. Sclavounos

Removing the irregular frequencies from integral equations in wave-body interactions  
Rapport du M.I.T. (1987).

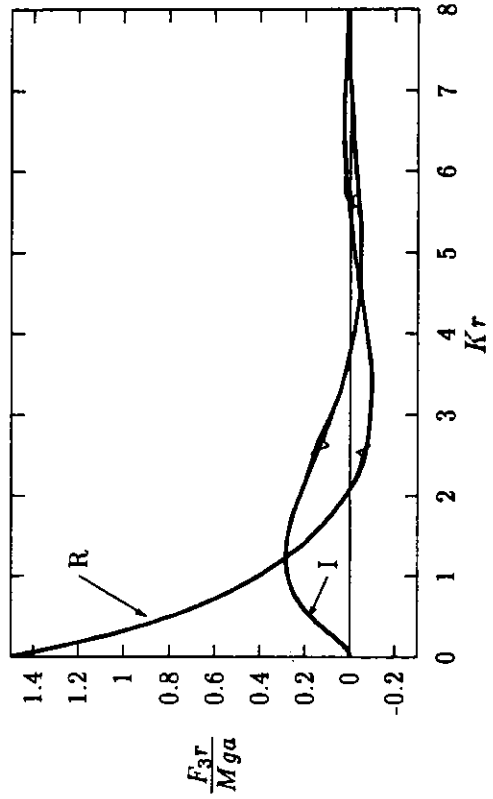
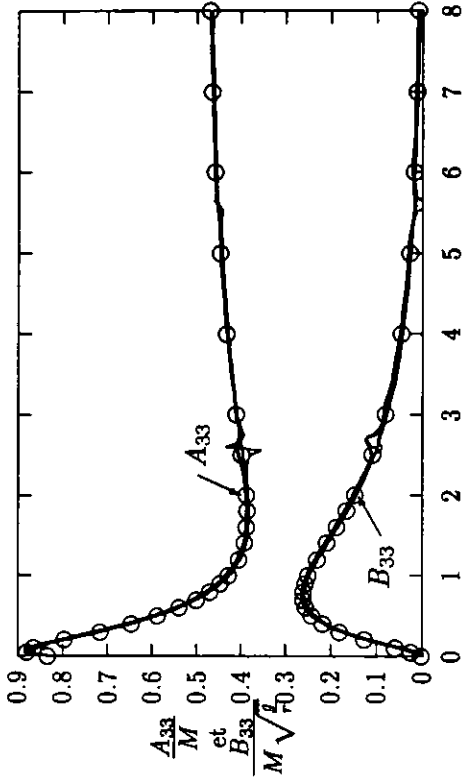
Magee, A. R. et B. K. King

Recent work on time-domain analysis.  
The seventh international workshop on water waves and floating bodies.  
Val-de-Reuil (1992).

Wehausen, J. V. et E. V. Laitone

Surface Waves (Handbuch Physik 9:446-778).  
Springer Verlag, New York (1960).





— SIMSEA  
 — DIODORE  
 — MELINA  
 O Hulme

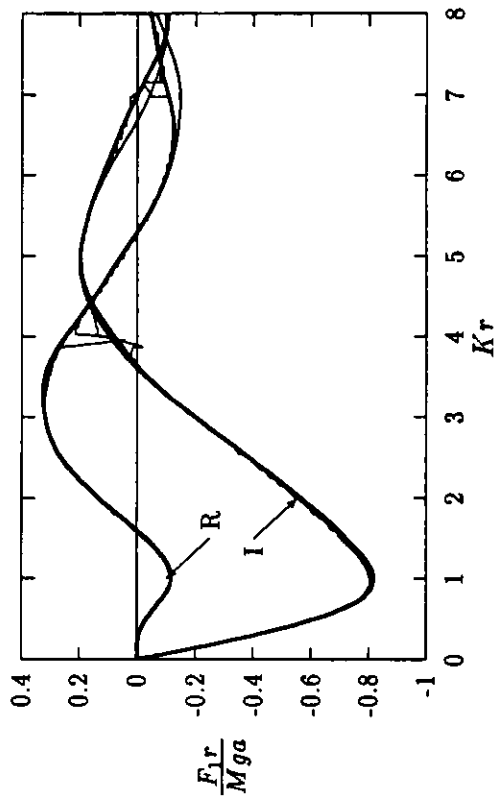
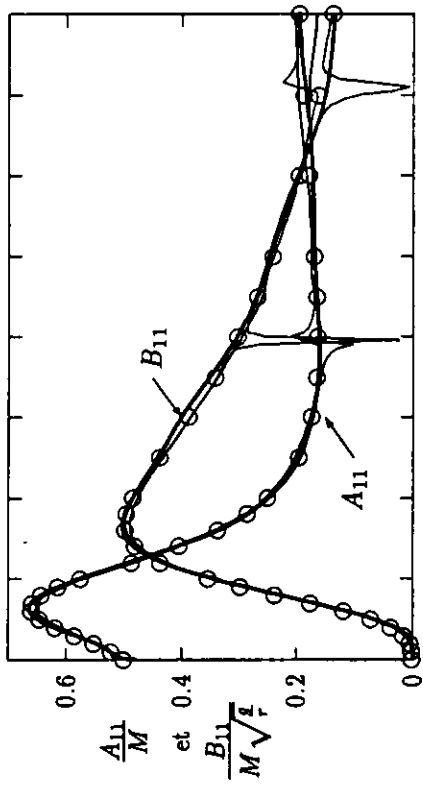


Figure 1 : Demi-sphère ;  $Fr=0,0$

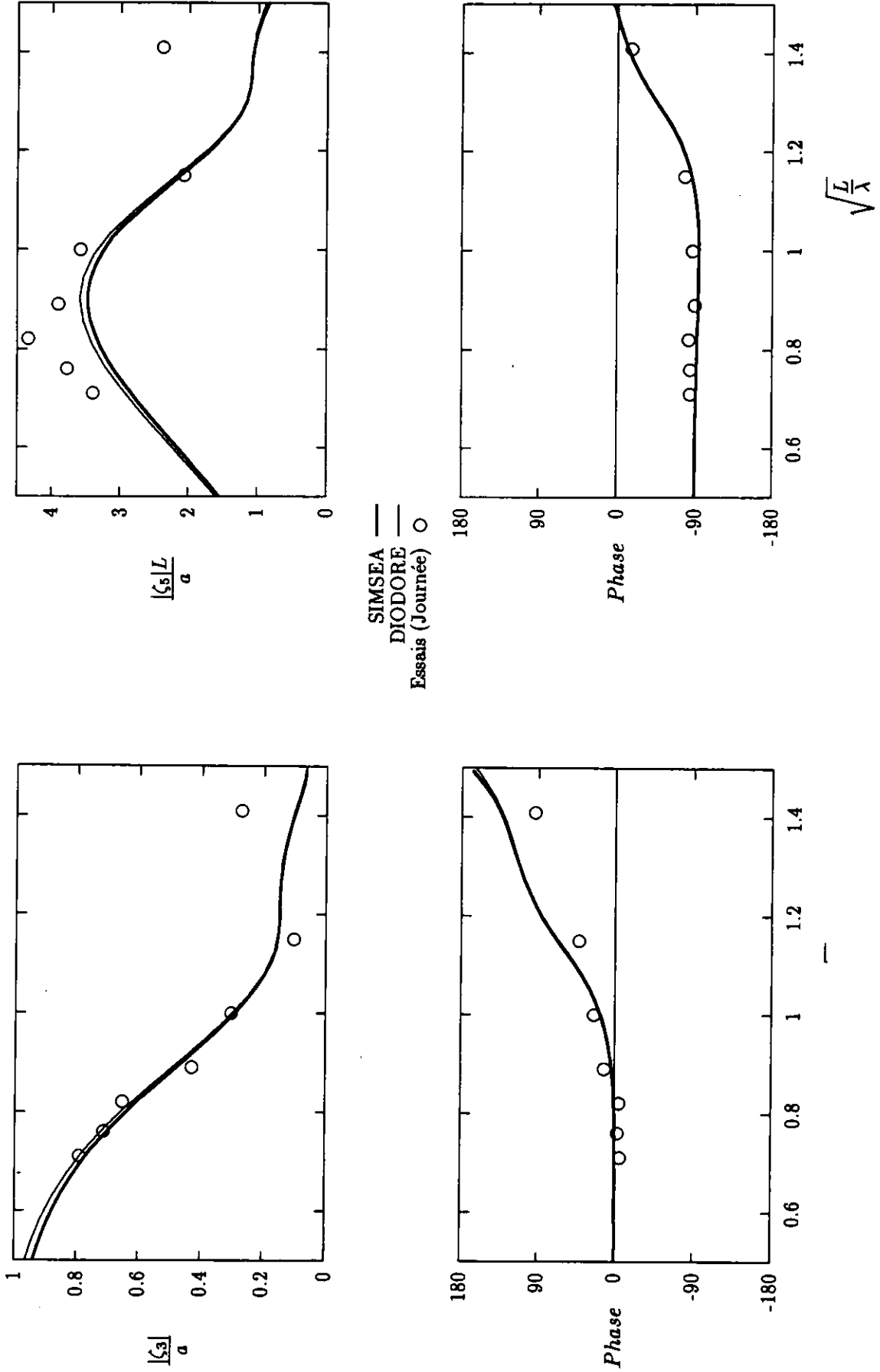


Figure 2 : Carène de Wigley IV ; mer de face ;  $Fr=0,0$

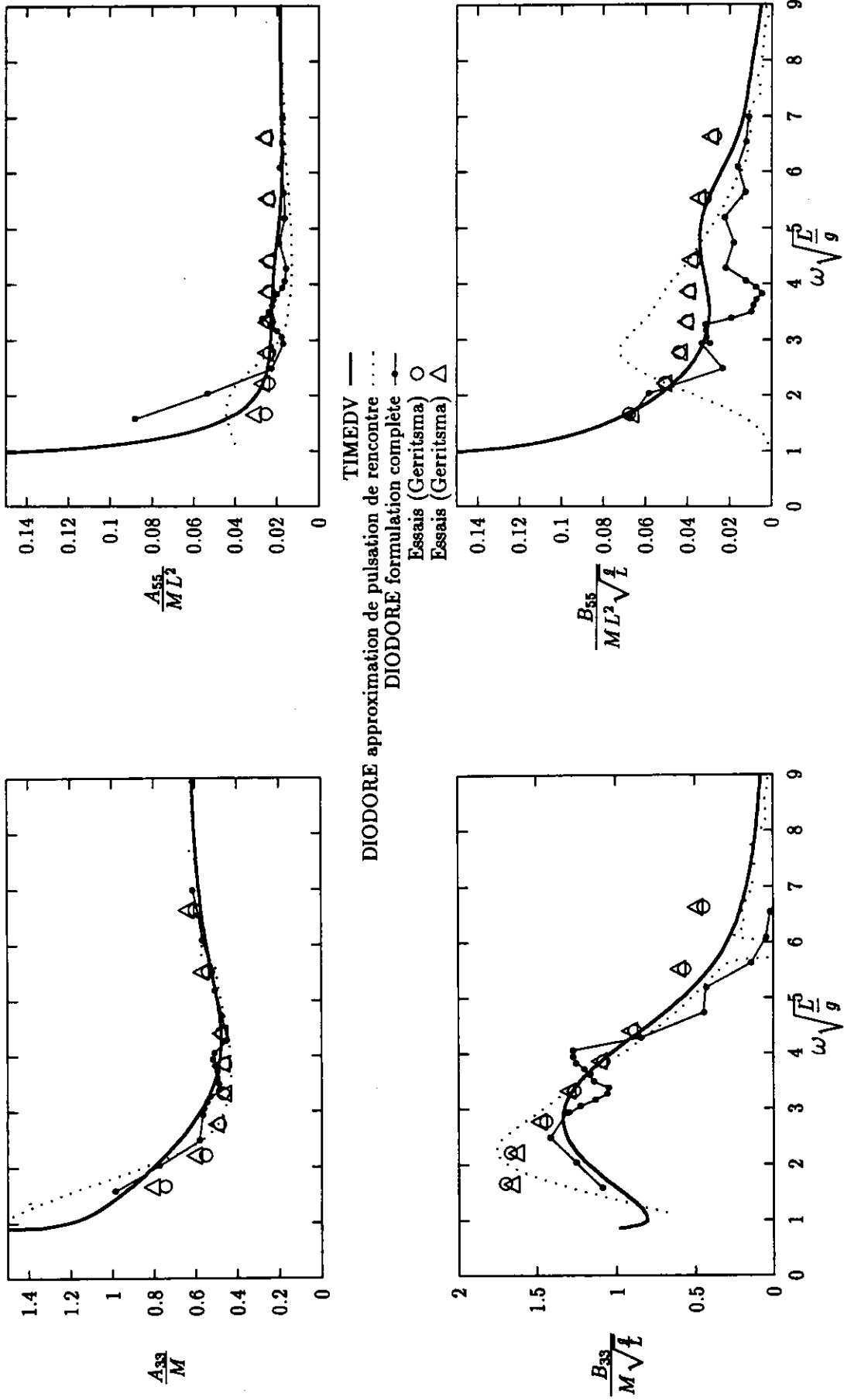


Figure 3 : Carène de Wigley I ; mer de face ; Fr=0,3

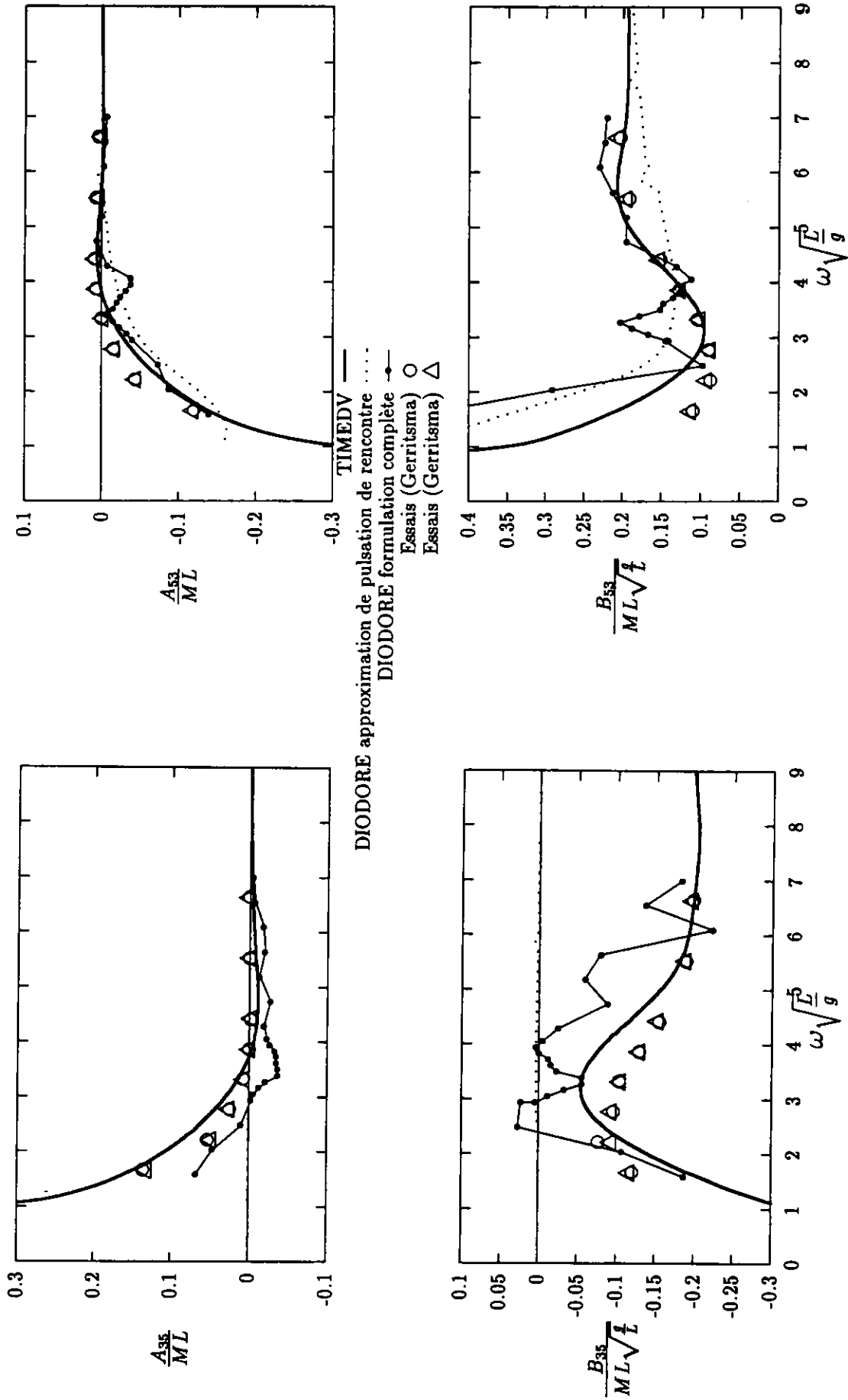


Figure 4 : Carène de Wigley I ; mer de face ; Fr=0,3

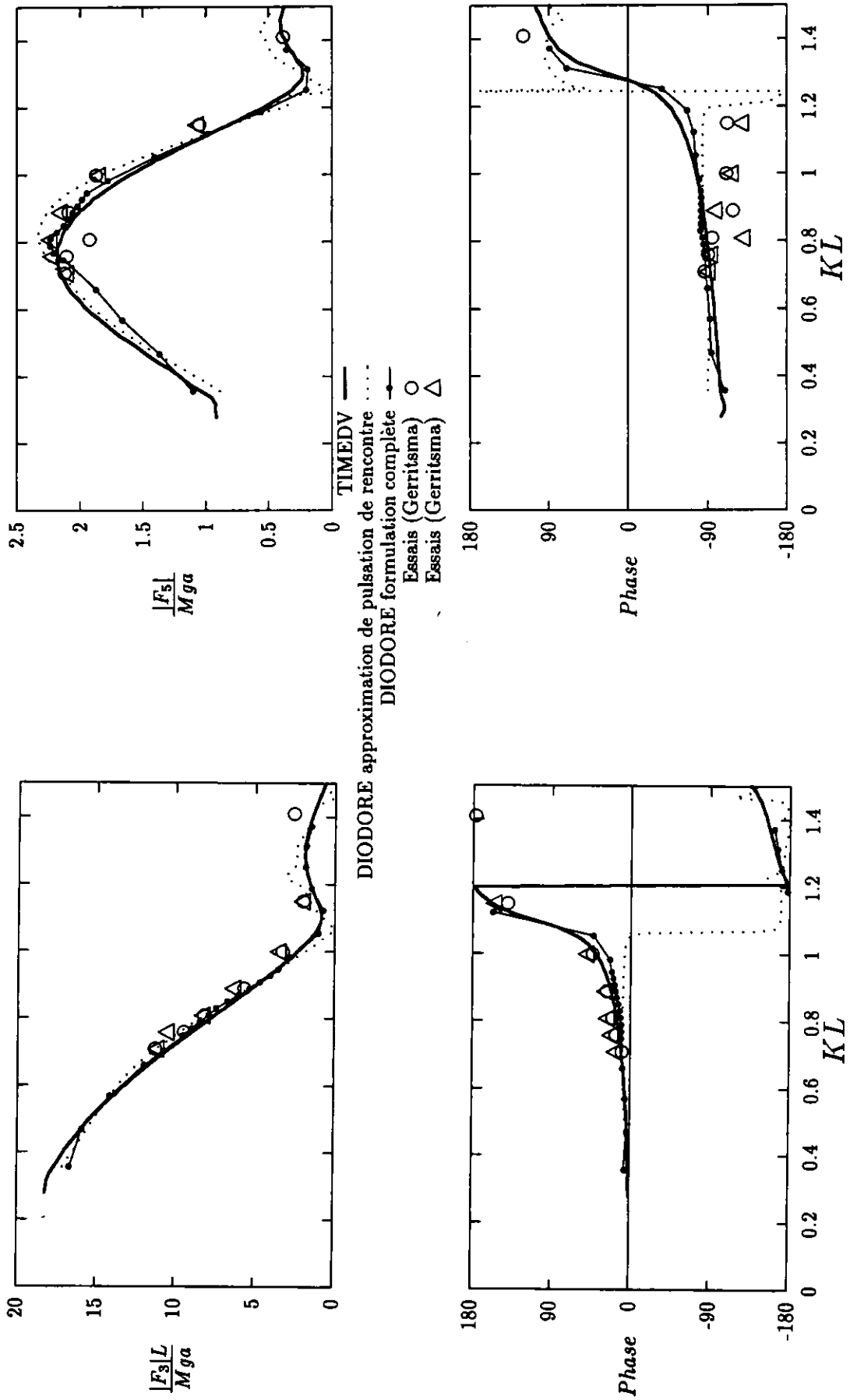


Figure 5 : Carène de Wigley 1 ; mer de face ; Fr=0,3

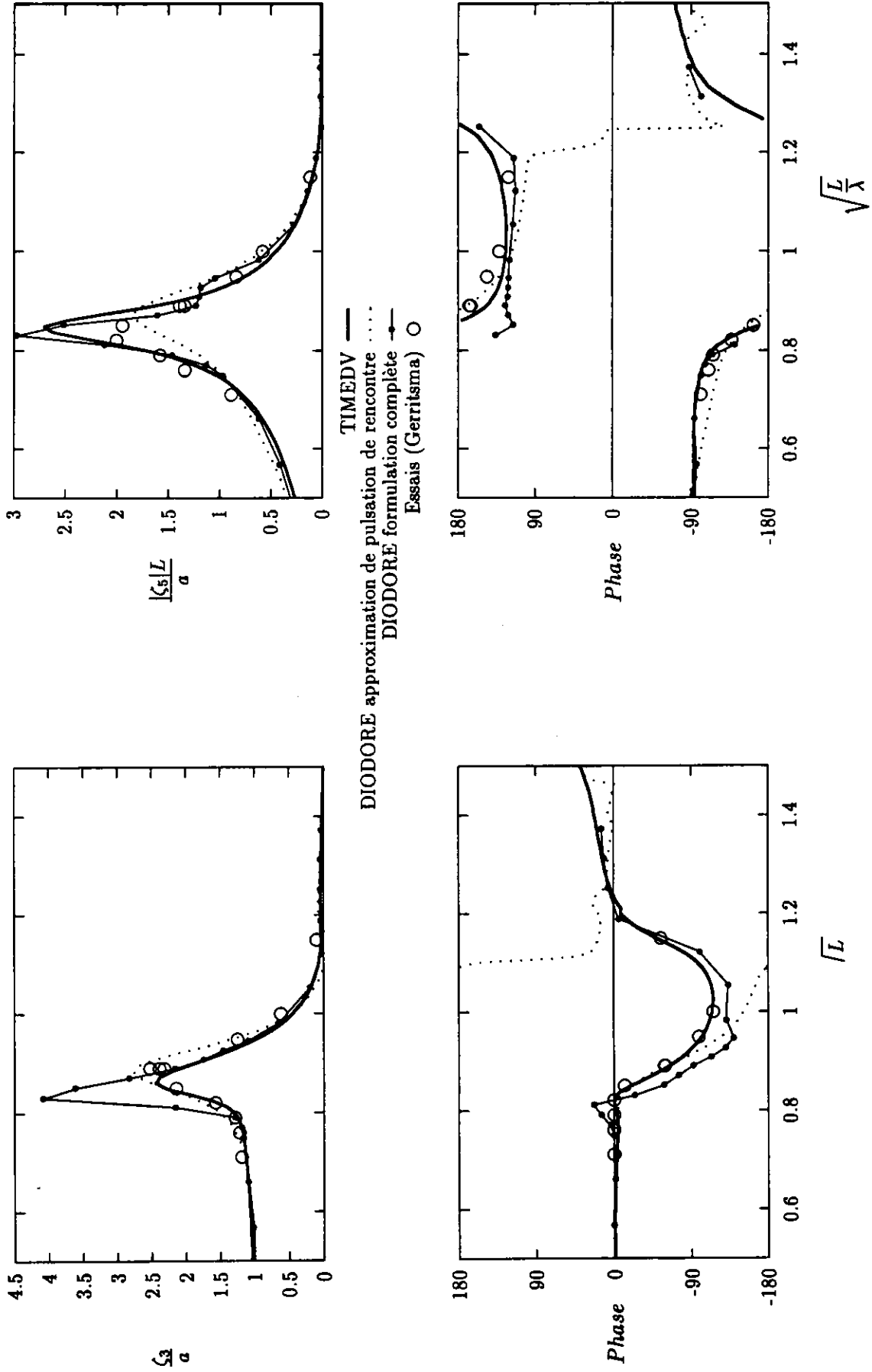


Figure 6 : Carène de Wigley I ; mer de face ; Fr=0,3