

**SIMULATION DE L'INTERACTION HOULE-
STRUCTURE PAR COUPLAGE D'UNE METHODE RANSE
LEVEL SET ET D'UN MODELE DE HOULE POTENTIEL
NON LINEAIRE**

***SIMULATION OF WAVE-BODY INTERACTION BY
COUPLING A LEVEL SET RANSE SOLVER AND A
NON-LINEAR POTENTIAL FLOW SOLVER***

**G. RELIQUET¹, A. DROUET²,
P.E. GUILLERM¹, E. JACQUIN², L. GENTAZ¹, P. FERRANT¹**

¹ LUNAM Université, Ecole Centrale de Nantes

Equipe DSSM, Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique
– UMR CNRS 6598, BP 92101, 44321 NANTES Cedex 3

gabriel.reliquet@ec-nantes.fr

² Hydrocean, 1, rue de la Noé, 44300 NANTES

Résumé

Ce papier présente le couplage de la méthode SWENSE (Spectral Wave Explicit Navier-Stokes Equations) avec un algorithme de capture d'interface de type Level Set mono-fluide dans un code RANSE (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations). L'objectif est de pouvoir simuler l'interaction houle-structure en présence de déformations importantes de l'interface (déferlement, envahissement de pont, ...), en utilisant les avantages de la méthode SWENSE. Les principaux développements sont présentés ainsi que les premières validations sur une frégate militaire de type DTMB 5415.

Summary

The purpose of this paper is to present combination of the SWENSE (Spectral Wave Explicit Navier-Stokes Equations) and a free surface RANSE (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations) solver using a single-phase Level Set method to capture the interface. The idea is to be able to simulate wave-body interactions with strong deformations of the interface (wave breaking in the vicinity of the body, green water on ship decks...), while keeping the advantages of the SWENSE scheme. Recent developments and the first results on the US Navy combatant DTMB 5415.

I – Introduction

Avec l'arrivée de moyens de calcul toujours plus performants, les problèmes traités par simulation numérique deviennent de plus en plus complexes et réalistes. Même si l'utilisation de codes basés sur la résolution des équations de Navier-Stokes moyennées au sens de Reynolds (RANSE) est dominante, de nombreuses variantes existent au niveau du traitement de la surface libre ainsi que dans les méthodes mises en œuvre pour prendre en compte l'environnement réel et en particulier la houle.

La prise en compte du déferlement et des interfaces complexes n'étant pas possible avec les méthodes de suivi d'interface (où la surface libre est vue comme une frontière mobile), les méthodes de capture d'interface de type Level Set (Osher & Sethian, 1988) et Volume Of Fluid (VOF – Hirt & Nichols, 1981) s'imposent. La surface libre est alors décrite au moyen d'une fonction scalaire, évitant les problèmes de remaillage. La Level Set est une fonction continue donnant la distance à l'interface tandis que la fonction VOF décrit la concentration en eau dans la cellule. La méthode VOF est conservative mais nécessite la prise en compte de sauts de gradient dans la méthode de résolution. La Level Set est une méthode a priori non conservative mais nécessite le recours à une étape de correction, appelée redistanciation, afin de conserver son caractère de fonction de distance et donc la masse.

Dans la littérature ces deux méthodes sont souvent utilisées avec une approche bi-fluide, nécessitant un traitement particulier lors du changement de phase ($\rho_{eau}/\rho_{air} \approx 800$). L'approche mono-fluide (Carrica et al, 2007 ou Di Mascio et al, 2007), en ne modélisant que la partie « eau », permet une modélisation simplifiée proche des méthodes de suivi d'interface. Dans la phase « air » seules les vitesses, obtenues par extension, sont nécessaires. De par ses propriétés (fonction continue, propriétés géométriques de l'interface), la méthode Level Set monophasique a été retenue et implantée dans ICARE, un code dédié à la simulation numérique en hydrodynamique (Alessandrini et al, 1999).

Quant à la prise en compte de la houle, sa génération à partir d'une frontière (bateur) et sa propagation demande un fort raffinement et donc un temps de calcul important pour avoir une qualité de houle suffisante. Une approche différente, nommée SWENSE (Spectral Wave Explicit Navier-Stokes Equations), consiste à résoudre le champ diffracté avec un code RANSE au lieu du problème initial, le champ incident étant imposé à chaque pas de temps par une méthode spectrale HOS. Cette méthode ayant déjà été validée au cours de deux thèses avec suivi d'interface (Luquet, 2007 et Monroy, 2010), le but de la présente étude est de la valider avec une méthode de capture d'interface.

L'approche mono-fluide utilisée dans le code de calcul ICARE ainsi que les modifications liées à la prise en compte de la houle incidente sont présentés dans les paragraphes suivants. Des validations sont effectuées sur la frégate militaire DTMB 5415 sur mer calme ou avec houle de face.

II – Présentation du code ICARE-Level Set

II-1 ICARE-Level Set

Le logiciel ICARE (Alessandrini, 1999) est développé depuis 1995 au sein du Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA) de l'école Centrale de Nantes (ECN). Les équations de Navier Stokes en moyenne de Reynolds sont discrétisées par des schémas différences finies au moyen d'une transformation partielle

permettant d'écrire directement les équations dans un repère curviligne lié à la structure étudiée. Dans l'approche avec capture d'interface, les inconnues du problème sont les composantes cartésiennes de la vitesse (U_i), la pression dynamique ($P = p + \rho g z + \frac{2}{3} \rho k$), la fonction Level Set (ϕ), l'énergie cinétique turbulente (k) et le taux de dissipation turbulent (ω). Un positionnement partiellement entrelacé est utilisé, les inconnues de vitesse, l'énergie cinétique turbulente et le taux de dissipation étant situés aux nœuds, les autres inconnues étant aux centres des volumes. Les variables turbulentes sont calculées à partir du modèle $k-\omega$ de Wilcox (Wilcox, 1988). L'utilisation de maillages multi-blocs (Drouet, 2011), permet la simulation de l'écoulement autour de structures complexes (avec bulbe, appendices,...), tout en améliorant la qualité du maillage et donc la précision des schémas utilisés.

Traitement de l'interface

La forme de la surface libre est évaluée par une méthode capture d'interface de type Level Set (Osher). Les inconnues Level Set sont situés aux centres des volumes puis extrapolées aux nœuds ($\tilde{\phi}$).

$$\phi = \begin{cases} d & \text{dans l'air} \\ 0 & \text{à l'interface} \\ -d & \text{dans l'eau} \end{cases}$$

L'avantage de la méthode est la facilité à avoir accès aux caractéristiques de l'interface comme la normale à l'interface $\vec{n} = \frac{\vec{\nabla}(\phi)}{\|\vec{\nabla}(\phi)\|}$ et la courbure à l'interface $\kappa = \text{div} \left(\frac{\vec{\nabla}(\phi)}{\|\vec{\nabla}(\phi)\|} \right)$.

Classiquement la formule de convection de la Level Set est la même que pour la fonction VOF mais pour faciliter certains traitements on effectue un changement de variable de manière à voir $\phi = 0$ au début des simulations.

$$\phi = \phi' + z$$

En prenant en compte le changement de variable, l'équation de convection devient :

$$\frac{\partial \phi'}{\partial t} + b_{jk}(U_j - V_g^j) \frac{\partial \phi'}{\partial \varepsilon_k} = -U_3$$

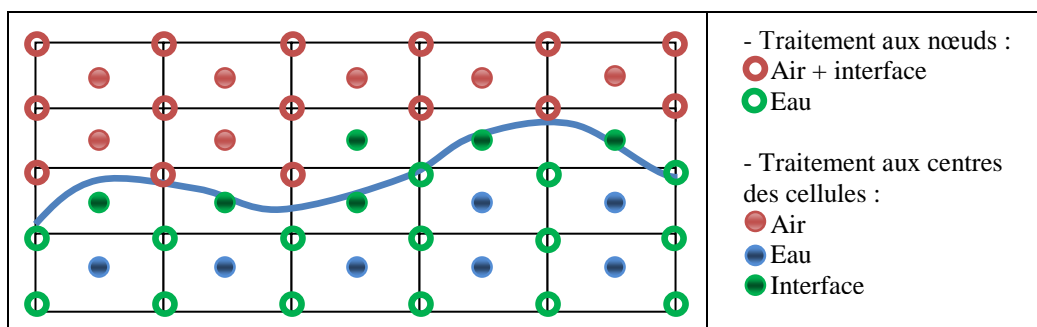


Figure 1 : Traitement lié au positionnement des inconnues

Le positionnement entrelacé des inconnues oblige à un traitement différent suivant que l'on soit aux nœuds ou aux centres des volumes mais l'espace physique reste divisé en 3 zones : la phase liquide, la phase « air » et le voisinage immédiat de l'interface.

Traitement des inconnues aux nœuds (figure 1)

- La phase liquide regroupe tous les nœuds dont la valeur de la Level Set est négative ($\tilde{\phi} < 0$).

On résout les équations de conservation de la quantité de mouvement ainsi que les deux équations du modèle de turbulence exprimées dans le repère curviligne associé au maillage.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_\alpha}{\partial t} + \left[b_{jk} \left(U_j - V_g^j - b_{jl} \frac{\partial v_t}{\partial \varepsilon_l} \right) - (v + v_t) f^k \right] \frac{\partial U_\alpha}{\partial \varepsilon_k} + \frac{1}{\rho} b_{\alpha j} \frac{\partial P}{\partial \varepsilon_j} \\ = (v + v_t) g_{kj} \frac{\partial^2 U_\alpha}{\partial \varepsilon_k \partial \varepsilon_j} + b_{jk} b_{\alpha l} \frac{\partial v_t}{\partial \varepsilon_k} \frac{\partial U_j}{\partial \varepsilon_l} - \frac{\partial V_{r,\alpha}}{\partial t} \Big|_{R0} \end{aligned}$$

Avec b_{ij} les composantes de la base contravariante, g_{ij} le tenseur métrique contravariant, f^i les fonctions d'étirement du maillage, V_g^i les vitesses de glissement du maillage et $V_{r,i}$ la vitesse d'avance de la structure

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \left[b_{jk} \left(U_j - V_g^j - b_{jl} \sigma_k \frac{\partial v_t}{\partial \varepsilon_l} \right) - (v + \sigma_k v_t) f^k \right] \frac{\partial k}{\partial \varepsilon_k} &= (v + \sigma_k v_t) g_{kj} \frac{\partial^2 k}{\partial \varepsilon_k \partial \varepsilon_j} + P_k - \beta^* k \omega \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + \left[b_{jk} \left(U_j - V_g^j - b_{jl} \sigma_\omega \frac{\partial v_t}{\partial \varepsilon_l} \right) - (v + \sigma_\omega v_t) f^k \right] \frac{\partial \omega}{\partial \varepsilon_k} &= (v + \sigma_\omega v_t) g_{kj} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \varepsilon_k \partial \varepsilon_j} + \frac{\gamma}{v_t} P_k - \beta \omega^2 \\ v_t &= \frac{k}{\omega} \end{aligned}$$

Avec $\beta^* = 0.09$, $\beta = 0.075$, $\sigma_k = 0.5$, $\sigma_\omega = 0.5$, $\gamma = 5/9$, $P_k = v_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$

Les schémas en temps et en espace utilisées sont du second ordre.

Un traitement particulier est nécessaire pour prendre en compte correctement le terme instationnaire lors du passage de l'air à l'eau. Ce traitement, basé sur l'égalité des dérivées lagrangiennes dans l'air (entre l'instant précédent ($t - \Delta t$) et le moment où la surface libre passe au point considéré) et dans l'eau (entre le moment où la surface libre passe au point considéré et l'instant courant (t)), est équivalent à pondérer le terme de convection (Carrica et al, 2007).

$$\frac{DU_i}{Dt} = \frac{1}{\Delta t} [U_i(t, x) - U_i(t - \Delta t, x)] + \frac{\phi(t)}{\phi(t) - \phi(t - \Delta t)} \vec{U} \cdot \vec{\nabla}(U_i)$$

- A l'interface ($\tilde{\phi} = 0$) comme dans l'air ($\tilde{\phi} > 0$) les inconnues sont propagées suivant la normale à l'interface \vec{n} (Adalsteinsson et al, 1995)

$$\vec{\nabla}(\alpha) \cdot \vec{n} = n_j b_{jk} \frac{\partial \alpha}{\partial \varepsilon_k} = 0 \text{ avec } \alpha = U_i, k \text{ ou } \omega$$

Traitement pour la pression

La difficulté du traitement pour la pression vient de la reconstruction pseudo-physique de Rhie et Chow. Cette dernière est basée sur la reconstruction des gradients de pression aux faces du volume de contrôle de la pression et nécessite pour cela que les huit nœuds de la cellule soient tous dans la phase liquide.

On aura donc trois cas :

- Si les huit nœuds sont dans la phase liquide, on applique donc la méthode de Rhie et Chow (Rhie & Chow, 1982).
- Si les huit nœuds sont dans l'air, la pression n'intervient pas dans la résolution et sera donc prise nulle.

- Sinon on se situe au voisinage de l'interface, la pression à la surface libre est donnée par la condition dynamique normale :

$$P = \rho g z + \gamma \kappa + (\mu + \mu_t) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} n_j n_i \approx \rho g x_3$$

Le problème est que le point d'intérêt (point 0 sur la figure 2) n'est que rarement sur l'interface ($\phi_0 = 0$) mais plutôt dans l'eau (configuration 1) ou dans l'air (configuration 2). Des schémas différents sont donc utilisés suivant la valeur de la fonction Level Set. Avec un positionnement colocalif des inconnues seul le premier schéma serait nécessaire, simplifiant la formulation.

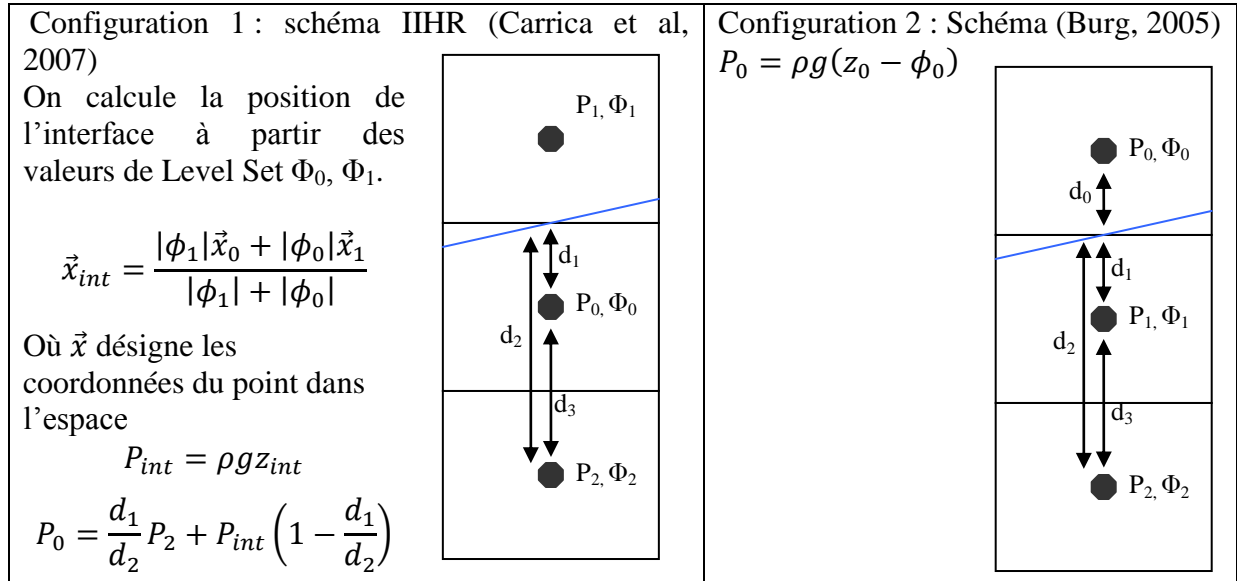


Figure 2 : Traitement de la pression au voisinage de l'interface

II – 2 La formulation SWENSE – Level Set

La formulation SWENSE est développée au sein du LHEEA depuis 2003 (Ferrant, 2003). Cette approche permet de simuler l'interaction houle-structure efficacement en combinant un champ incident obtenu à partir d'un code spectral non linéaire basé sur la théorie potentielle et un champ diffracté calculé par les équations RANS modifiées. Le couplage est réalisé par décomposition fonctionnelle, les termes de champ incident servant comme termes de forçage dans les équations RANS. Le fait de ne résoudre que le champ diffracté permet un gain en temps de calcul important, tout en ayant un champ incident non dissipé. La version ICARE-SWENSE avec suivi d'interface a été validée avec succès dans le cas d'un navire de combat avec houle de face (Luquet *et al*, 2004), un porte-conteneur KVLCC2 en modèle libre avec houle de face ou une bouée fixe sur houle irrégulière 3D (Monroy *et al*, 2010).

Les équations SWENS

Les inconnues principales (les trois composantes de la vitesse, la pression et la fonction Level Set) sont décomposées comme suit :

$$\begin{cases} U_i^T = U_i^D + V_{r,i} + U_i^I \\ P^T = P^I + P^D \\ \phi = \phi' + z - h^I \end{cases}$$

Les indices T, I et D désignent respectivement le champ total, le champ incident et le champ diffracté. De plus, on prend en compte deux repères : le repère fixe R_o galiléen, le repère R_b

lié au navire avançant à la vitesse \vec{V}_r par rapport au repère Ro . L'ensemble des équations résolues par le code reste exprimé dans le repère Rb lié au navire.

Equation de convection de la Level Set- SWENSE

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial t} \right|_{Rb} + (U_j^D + U_j^I) \frac{\partial \phi}{\partial x_j} = -(U_3^D + U_3^I) + \left. \frac{\partial h^I}{\partial t} \right|_{Ro} + (U_j^D + U_j^I + V_{r,j}) \frac{\partial h^I}{\partial x_j}$$

Equation de conservation de la masse

$$\frac{\partial U_j^D}{\partial x_j} = 0$$

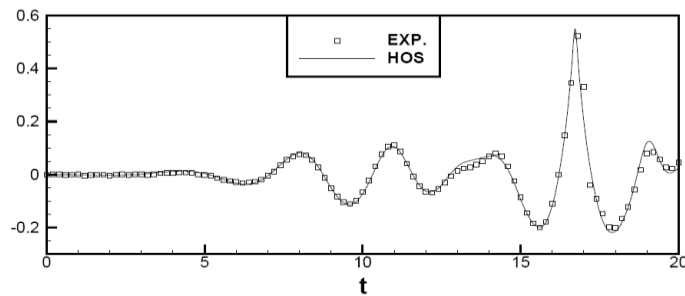
Equation de conservation de la quantité de mouvement

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial U_i^D}{\partial t} \right|_{Rb} + \left(U_j^D + U_j^I - \frac{\partial v_t}{\partial x_j} \right) \frac{\partial U_i^D}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P^D}{\partial x_i} &= (v + v_t) \frac{\partial^2 U_i^D}{\partial x_j^2} + \frac{\partial v_t}{\partial x_j} \frac{\partial U_j^D}{\partial x_i} \\ - (U_j^D + V_a^j) \frac{\partial U_i^I}{\partial x_j} + 2 \frac{\partial v_t}{\partial x_j} \frac{\partial U_i^I}{\partial x_j} - \left. \frac{\partial V_{r,i}}{\partial t} \right|_{Ro} & \end{aligned}$$

Les modèles de houle

Pour appliquer la méthode SWENSE, il est nécessaire de pouvoir connaître les caractéristiques du champ incident (vitesses, pression, élévation de surface libre) en tous points du maillage, c'est-à-dire aussi bien au-dessus qu'en-dessous la surface libre incidente. De par cette propriété, les modèles de houle utilisées seront des modèles de houle spectraux basées sur la théorie potentielle permettant de générer des houles non-linéaires régulières ou irrégulières, la seule limite étant le déferlement :

- le modèle de Rienecker & Fenton (1981) est un modèle spectral non-linéaire permettant de générer une large gamme de houles régulières à partir de la profondeur, de l'amplitude de la houle et de sa longueur d'onde
- le modèle HOS (Ducroz et al, 2006) est un modèle spectral non-linéaire, développé au sein du LHEEA depuis 2003, permettant de générer des houles régulières et irrégulières en milieu fermé (bassin de houle) ou en domaine océanique.



*Figure 3 : Génération d'une vague focalisée 2D
Simulation HOS comparée à l'expérience (échelle modèle).*

III – Résultats

Les validations portent sur la frégate militaire DTMB 5415 dans deux configurations. Ce navire est un cas test classique utilisé pour la plupart des workshops internationaux (CFD Workshop, SIMMAN, ...) et de nombreuses données expérimentales sont donc disponibles. On présentera dans un premier temps la validation du code ICARE-Level Set pour un cas de traction droite puis un cas avec houle de face.



Figure 4 : Géométrie du DTMB 5415

III- 1 DTMB 5415 fixe en position dynamique sur eau calme à $Fn=0.28$

Des simulations sur mer plate ont été réalisées pour un nombre de Froude $Fn = 0.28$ et un nombre de Reynolds $Re = 1.19 \times 10^7$ correspondant à une vitesse de 2.097 m/s pour une maquette de longueur 5.72m. Les calculs ont été réalisés avec assiette et enfoncement dynamiques fixés sur la valeur cible des essais ($Tr_z = -1.82 \times 10^{-3} L_{pp}$ et $Ro_y = -0.108^\circ$). Trois maillages de type multi-blocs ont été utilisés pour vérifier la convergence des résultats (200 000, 800 000 et 1 600 000 points).

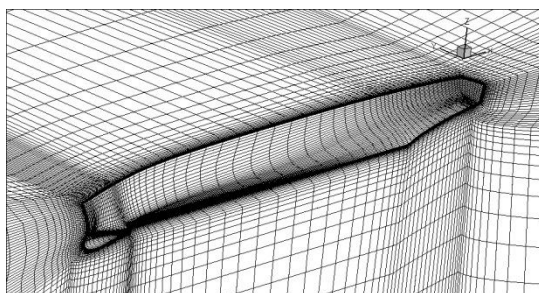


Figure 5 : Vue du maillage proche du corps (maillage 200 000 points)

Les calculs sont comparés aux données fournies lors du CFD Workshop 2010 à Göteborg (Larsson, 2010), en s'intéressant plus particulièrement aux champs de vagues en proche carène et aux efforts sur le corps.

	Level Set 200 000 points	Level Set 800 000 points	Level Set 1.6 M points	Expérience
$C_T (x10^{-3})$	4.16 (-1.6%)	4.18 (-1.1%)	4.22 (-0.2%)	4.23
$C_F (x10^{-3})$	3.13	3.13	3.13	
$C_P (x10^{-3})$	1.03	1.05	1.09	

Comparaison des efforts lors du raffinement de maillage

Au niveau du coefficient de trainée totale on peut remarquer un très bon accord avec l'expérience avec moins de 2% d'erreur pour l'ensemble des maillages. Il est aussi important de voir que l'utilisation de maillages plus denses se traduit par une augmentation du coefficient de pression liée directement à la qualité du champ de vagues.

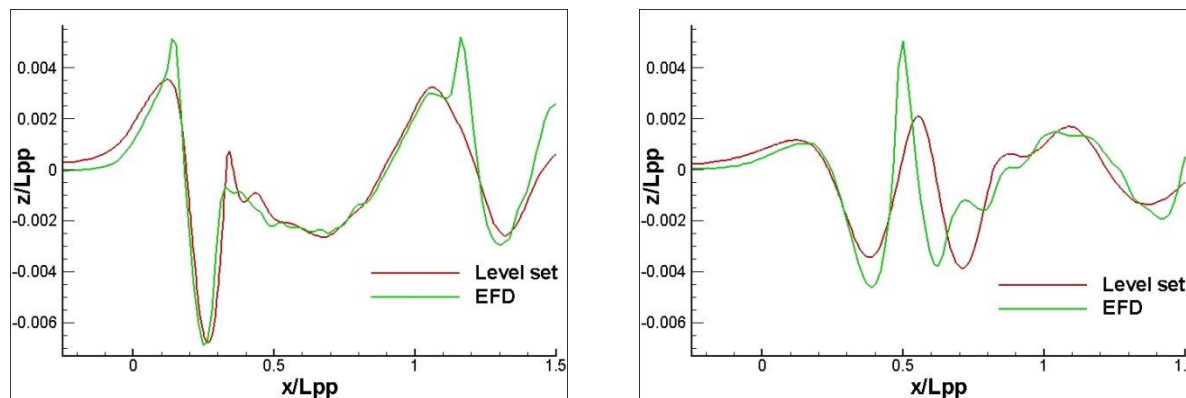


Figure 6 : Elévation de surface libre en $y/L_{pp} = 0.082$ (à gauche) et $y/L_{pp} = 0.172$ (à droite)

La comparaison des coupes à différentes distances du plan de symétrie $y = 0$ montre un bon accord pour $y/L_{pp} = 0.082$. Pour $y/L_{pp} = 0.172$, on observe un léger décalage de la première crête qui peut s'expliquer à la fois par le relâchement du maillage dans la direction y (étirement des mailles avec un ratio 1.25). Ce constat se retrouve lors de la comparaison des champs de vagues proche du corps avec une dissipation importante du champ de vagues dès que l'on s'éloigne du corps.

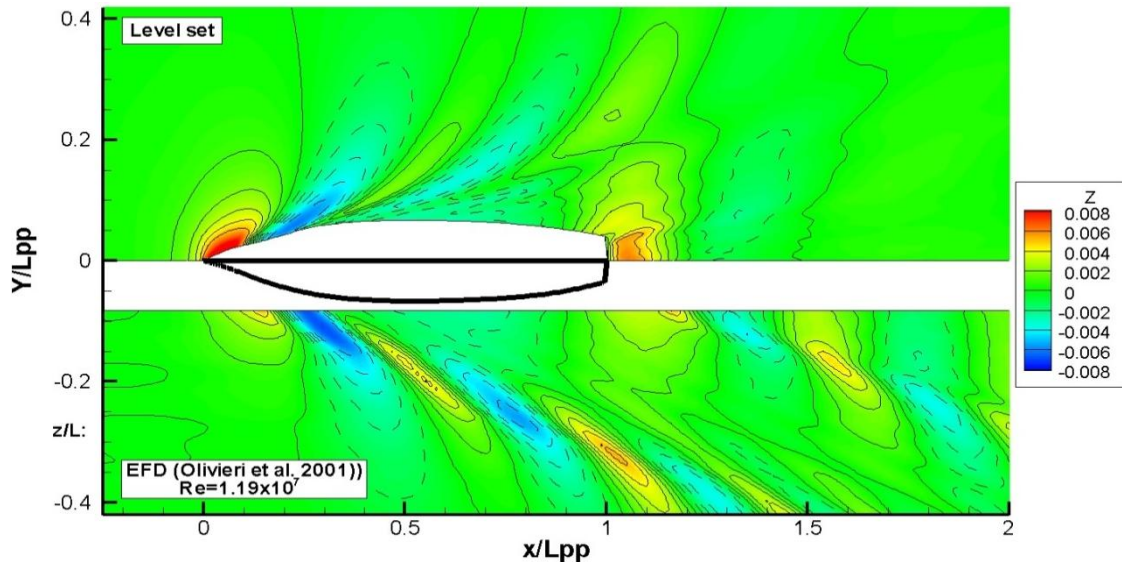


Figure 7 : Comparaison de la surface libre proche de la carène avec l'expérience (Olivieri et al., 2001) pour le maillage de 800 000 points

III- 2 DTMB 5415 fixe en position dynamique à $Fn=0.28$ avec houle de face

Une simulation a été effectuée avec houle de face à un nombre de Froude $Fn = 0.28$ et un nombre de Reynolds $Re = 4.86 \times 10^6$ sur le maillage le moins dense (200 000 points). Les caractéristiques de la houle sont : profondeur infinie, longueur d'onde $\lambda = 1.5L_{pp}$ et une cambrure $Ak = 0.025$. Le calcul a été réalisé sur une maquette de longueur 3.048m avec assiette et enfoncement dynamiques fixes ($Tr_z = -1.92 \times 10^{-3}L_{pp}$ et $Ro_y = -0.136^\circ$).

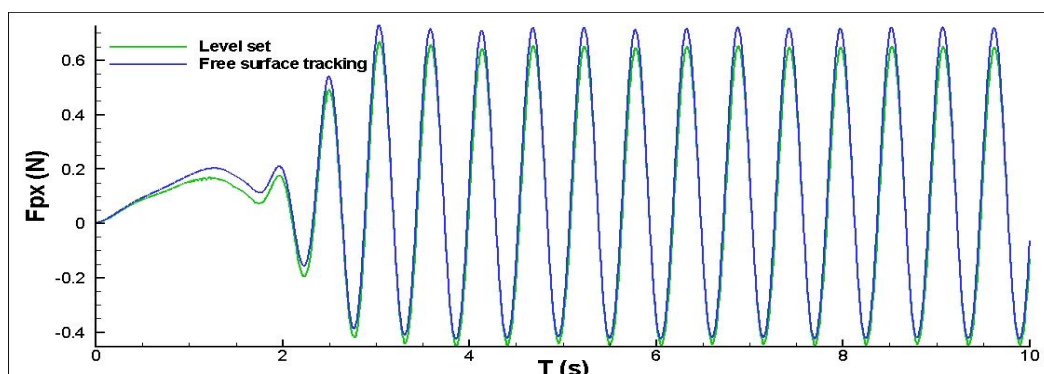


Figure 8 : Comparaison de l'effort de pression dans la direction x entre la version avec suivi d'interface et la version Level Set

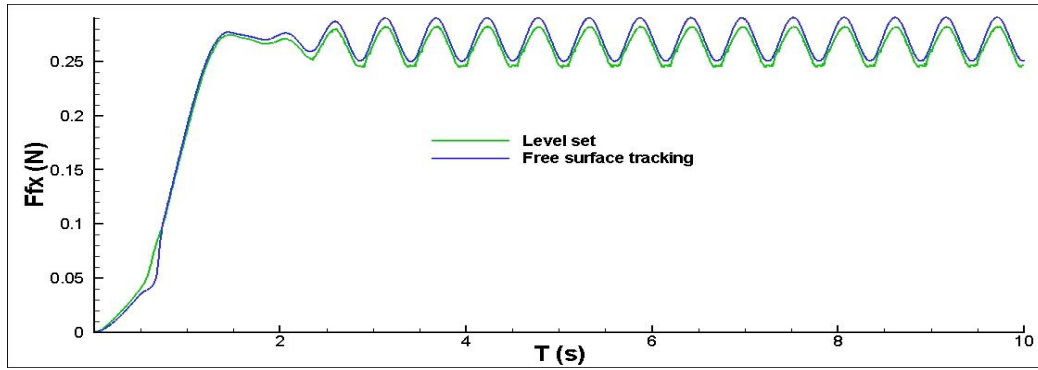


Figure 9 : Comparaison de l'effort de visqueux dans la direction x entre la version avec suivi d'interface et la version Level Set

La comparaison des efforts montre un bon accord entre la surface libre Level Set et le suivi d'interface mais quelques différences apparaissent lors de l'étude du champ de vagues et de l'écoulement en proche carène avec des structures assez différentes du champ diffracté et donc du champ total au niveau de l'étrave et du tableau arrière. Même si les deux maillages sont de taille identique, l'approche Level Set oblige à mailler l'air et donc la partie « utile » du maillage est nettement plus faible.

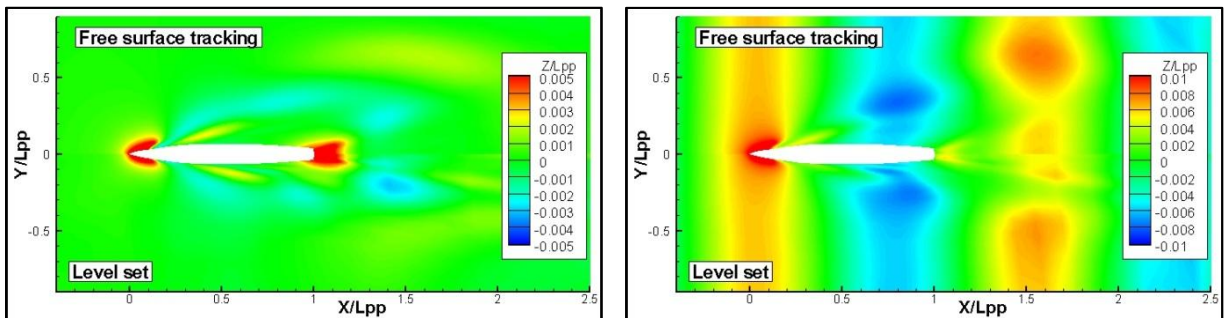


Figure 10 : Comparaison du champ diffracté (à gauche) et du champ total (à droite) à $T/Te=0$

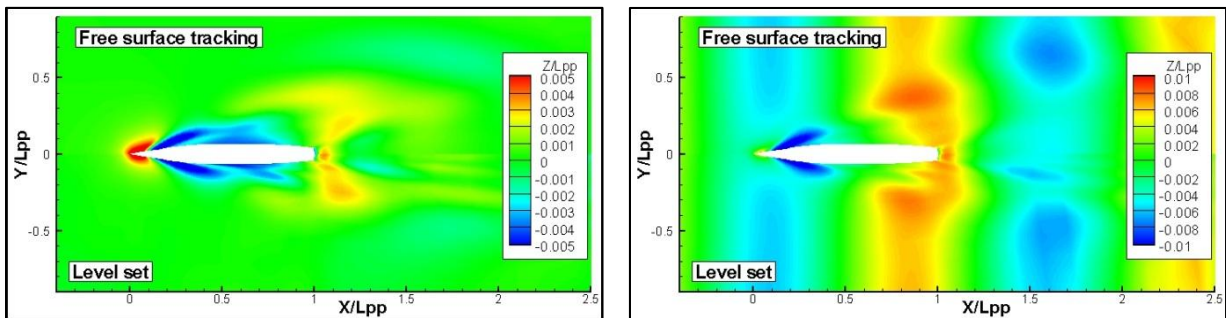


Figure 11 : Comparaison du champ diffracté (à gauche) et du champ total (à droite) à $T/Te=1/2$

	CFD	EFD
Amplitude de l'harmonique 0	0.00469 (+1.5%)	0.00462
Amplitude de l'harmonique 1	0.00735 (+20.9%)	0.00608

Analyse harmonique du coefficient de trainée totale

L'analyse harmonique du coefficient de trainée totale montre un très bon accord sur la composante moyenne du signal. Par contre l'erreur est plus importante pour la première harmonique mais correspond à la valeur moyenne de l'erreur obtenue par l'ensemble des différents codes pour ce cas lors du CFD WORKSHOP 2010, à l'exception de l'IIHR dont l'erreur était de 2% avec un maillage de 114 millions de points.

IV – Conclusion

Dans cet article, les développements récents autour du code ICARE sont présentés. La méthode Level Set monophasique retenue pour l'interface permet de traiter des problèmes complexes, tout en conservant un formalisme proche de la méthode de suivi de surface libre. La principale difficulté se situe au niveau du schéma de pression, et en particulier avec un positionnement entrelacé, obligeant à différencier le traitement suivant la position de l'interface. Des validations encourageantes ont été réalisées sur la frégate DTMB 5415 et montre le potentiel de la méthode. En plus de la parallélisation du code, de nouveaux développements sont prévus afin d'améliorer l'étape de redistanciation et des nouvelles validations sur d'autres structures avec houle régulière et irrégulière sont envisagées.

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du LHEEA dans le cadre d'une thèse CIFRE-défense financée conjointement par la société Hydrocean et la Direction Générale de l'Armement.

Références

- D. Adalsteinsson, J.A Sethian, “*The Fast Construction of extension velocities in Level Set methods*”, Journal of Computational Physics, vol 148, pp 2-22, 1995
- B. Alessandrini, G. Delhommeau, “*A fully coupled Navier-Stokes solver for calculations of turbulent incompressible free surface flow past a ship hull*”, International Journal for Numerical Methods in Fluid, vol 29, pp 125-142, 1999
- C. Burg, “*Single-Phase Level Set Simulations for Unstructured Incompressible Flows*”, AIAA Paper 2005-5350, 17th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, Toronto, Ontario, June, 2005
- P.M. Carrica, R.V. Wilson, F. Stern, “*An unsteady single-phase Level Set method for viscous free surface flows*”, International Journal for Numerical Methods in Fluid, vol 53, pp 229-256, 2007
- A. Di Mascio, R. Broglia, R. Muscari, “*On the application of the single-phase Level Set method to naval hydrodynamic flows*”, Computers & Fluids, vol 36, pp 868-886, 2007
- A. Drouet, “*Apports de la résolution multi-blocs pour la simulation de la manœuvrabilité des sous-marins et des bâtiments de surface*”, thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2011
- G. Ducrozet, F. Bonnefoy, D. Le Touzé, P. Ferrant, “*Implementation and Validation of Nonlinear Wave Maker Models in a HOS Numerical Wave Tank*”, Int. Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.14, n°3, pp 202-209, 2006.
- P. Ferrant, L. Gentaz, B. Alessandrini, D. Le Touzé, “*A potential / RANSE approach for regular water wave diffraction about 2D structures*”, Ship Technology Research, Vol. 50, N°4, 2003.
- C.W. Hirt, B.D. Nichols, “*Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*”, Journal of Computational Physics **39** (1), 201–225, 1981

- L. Larsson, F. Stern, M. Visonneau, “*A Workshop on numerical ship hydrodynamics*”, Proceedings du CFD Workshop 2010, Göteborg, 2010
- R. Luquet, L. Gentaz, P. Ferrant, B. Alessandrini, “*Viscous flow simulation past a ship in waves using the SWENSE approach*”, 25th Symposium on Naval Hydrodynamics, St. John’s, Canada, 2004
- R. Luquet, “*Simulation numérique de l’écoulement visqueux autour d’un navire soumis à une houle quelconque*”, thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2007
- A. Olivieri, F. Avallone, F. Stern, R. Penna, “*Towing tank experiments of resistance, sinkage and trim, boundary layer, wake, and free surface around a naval combatant INSEAN2340 Model*”, IIHR, University of Iowa, Report No 421, 2001
- C. Monroy, G. Ducrozet, F. Bonnefoy, A. Babarit, L. Gentaz, P. Ferrant, “*RANS Simulations of a calm buoy in regular and irregular seas using the SWENSE method*”, Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, China, 2010
- C. Monroy, “*Simulation numérique de interaction houle-structure en fluide visqueux par décomposition fonctionnelle*”, thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2010
- S. Osher, J.A. Sethian, “*Fronts propagating with Curvature-Dependent Speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi Formulations*”, Journal of Computational Physics, vol 79, pp 12-49, 1988
- C.M. Rhie, W.L. Chow, “*A numerical study of the turbulent flow past an isolated airfoil with trailing edge separation*”, AIAA Journal, vol. 21, 1983, pp. 179-195
- M.M. Rienecker, J.D. Fenton, “*A Fourier approximation method for steady water waves*”, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 104, 1981, pp. 119-137
- D.C. Wilcox, “*Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models*”, **AIAA Journal**, Vol. 26, No. 11, 1988, pp. 1299-1310