

# CONTRIBUTION À LA RESOLUTION DES EQUATIONS D'ÉCOULEMENT À SURFACE LIBRE PAR LA METHODE CFD

G. Benahmed, M.C.Khellaf

Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene - USTHB - Faculté de génie civil, laboratoire LEGHYD, BP 32 El Alia 16111, Bab Ezzouar 16111, Algérie  
[ghania.benahmed@yahoo.fr](mailto:ghania.benahmed@yahoo.fr) , [mckhellaf@yahoo.fr](mailto:mckhellaf@yahoo.fr)

**Résumé :** Le but de ce travail est la contribution à la résolution des équations d'écoulement à surface libre par la méthode CFD (computational fluid dynamique) , cet article expose les résultats en terme d'élévations de la surface libre, de la position et de la profondeur obtenus de la modélisation 2D des deux types de déferlement de la houle , déferlement glissant et plongeant. L'outil de simulation numérique utilisé pour modéliser cet écoulement diphasique entre deux fluides non miscibles l'air et l'eau, est le code ouvert OpenFOAM , écrit dans un langage de programmation objet (C++) destinées à résoudre les équations de la mécanique des milieux continus. Les équations de Navier-Stokes sont résolues à la fois dans l'air et dans l'eau en utilisant la méthode des volumes finis. L'approche sera basée sur la combinaison de la simulation des grandes échelles (Large Eddy Simulation "LES") et la méthode de suivi de l'interface VOF (Volume Of Fluid) qui permet les reconnections de l'interface. Les résultats de la simulation en terme d'élévations de la surface libre, de la position et de la profondeur du déferlement sont comparés avec les données expérimentales mesurées par Ting et Kirby (1996) et avec une autre étude numérique établie par Zhihua Xie (2012). Finalement les résultats sont en accord avec ceux de Ting et Kirby (1996) et de Zhihua Xie (2012).

**Key words:** déferlement glissant , déferlement plongeant, OpenFoam, CFD, LES.

## 1. INTRODUCTION :

La CFD ( computational fluid dynamique) a grandi d'une curiosité mathématique pour devenir un outil essentiel dans pratiquement toutes les branches de la dynamique des fluides. La CFD, consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets par la résolution numérique des équations régissant le fluide, en fonction des approximations choisies , qui sont en général le résultat d'un compromis en termes de besoin en représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles. Les équations résolues peuvent être les équations de Navier-Stokes , Euler etc...

Dans le domaine de la recherche ,l'approche CFD est l'objet d'un effort important , car elle permet l'accès à toute les informations instantanées ( vitesse , pression , concentration...), pour chaque point du domaine de calcul pour un coût global généralement modique par rapport aux expériences correspondantes.L'intérêt de l'approche numérique réside dans la possibilité d'apporter une description complète et précise des évolutions de la surface libre et du champ de vitesse, à la fois dans l'air et dans l'eau.

Les exemples d'écoulement à surface libre sont présents partout autour de nous . Il suffit de penser à la mer qui met en jeu l'air et l'eau ( écoulement liquide-gaz), à la fumée d'une cigarette (écoulement gaz-gaz) ou encore à un déversoir de pétrole dans l'océan ( écoulement liquide-liquide).

Dans ce travail nous proposons d'illustrer l'exemple de la modélisation du déferlement des vagues qui est un phénomène fascinant qui joue un rôle de première importance dans les processus côtiers. Or, bien que largement étudié depuis une trentaine d'années, le déferlement est un phénomène encore très difficile à appréhender, aussi bien numériquement qu'expérimentalement. Des progrès significatifs ont été apportés à la

compréhension générale du déferlement de la houle ou de l'hydrodynamique de la zone de surf dite « interne » avant l'impact ainsi que quelques mètres après l'impact, (voir Peregrine (1983), Battjes (1988), Christensen et al. 2002, Ting et Kirby (1996)). Or la majeure partie de la dissipation de la vague a lieu dans la zone dite de transition, c'est à dire immédiatement après l'impact. Du point de vue numérique, on peut aborder cette zone de transition à l'aide de modèles reposant sur les équations de Navier-Stokes et un suivi d'interface autorisant les reconnexion (voir Abadie et al., (1998), Lin & Liu, (1998), Chen et al.,(1999), Christensen & Deigaard, (2000), Guignard et al., (2001), Lubin, (2004),...).

L'intérêt de ce projet réside donc dans la possibilité d'apporter la description des évolutions de la surface libre pour chaque point du domaine de calcul devant nous conduire à une meilleure compréhension des mécanismes complexes intervenant lors du déferlement des vagues.

## **2 . PRESENTATION DE LA METHODE :**

Plusieurs types d'approches peuvent être employés à fin d'appréhender l'étude du déferlement des vagues. Dans ce travail, notre approche sera basée sur la combinaison des captures d'interfaces Volume of Fluid "VOF" et de la simulation des grandes échelles (Large Eddy Simulation "LES") où elle a déjà été présentée comme étant une méthode fiable et précise pour la simulation des équations de Navier-Stokes dans le cadre d'écoulements instationnaires tel que le déferlement des vagues. (Lubin (2004), Watanabe et al. (2005), Christensen (2006),Lubin et al, (2010) ...).

L'approche que nous avons choisi d'explorer est celle de la simulation numérique des grandes échelles (Large Eddy Simulation, LES) , De ce fait l'implémentation d'une méthodologie numérique nouvelle pour l'étude de cet écoulement turbulent à surface libre de deux fluides non-miscibles, l'air et l'eau , nécessite le recours à la CFD.

Pour cela nous avons choisi d'utiliser un outil de simulation numérique libre et totalement ouvert; OpenFOAM. Ce code est constitué d'un ensemble de bibliothèques écrites dans un langage de programmation objet (C++) destinées à résoudre les équations de la mécanique des milieux continus, il résout les équations de Navier-Stokes filtrées par la méthode des volumes finis. Plus récemment, OpenFoam est largement utilisé dans le domaine de la dynamique des fluides et en particulier dans le domaine côtier .où il à déjà été utilisé pour la simulation des processus d'ingénierie côtières (voir Pablo Higuera et al, 2012) et pour d'autre travaux de développement dans le domaine côtier (Jasak, H. et al (2007), Jacobsen, N.G et al (2012), Amini Afshar et al (2010), Lambert, RJ (2012)).

## **3. MODILISATION DU DEFERLEMENT**

Dans cet article nous proposons d'illustrer la modélisation de deux types de déferlement de houle, dont le glissant et plongeant. Pour cela la boîte à outils Wave2Foam est utilisée pour générer une onde régulière à deux dimensions, à savoir la théorie des ondes Airy ou Stokes vague de premier ordre. La boîte à outils WaveProperties est également utilisé pour modifier les propriétés des ondes comme le niveau de la mer, nombre d'onde, les fréquences des ondes entre autres pour obtenir les conditions souhaitables.

### 3.1. Présentation des résultats

Dans la simulation, le modèle de calcul est configuré pour reproduire les études des modèles au laboratoire, réalisées et déclarées par Ting et Kirby (1996), où les houles sont générées à l'entrée, sur la gauche du canal à houle (inlet), la pente de la plage  $\alpha = 1/35$  pour les deux types de déferlements, le bas du canal est considéré comme limite solide (bottom) le haut en atmosphère tandis que la droite du canal est la sortie (outlet). Le domaine de calcul (démarre à partir  $x = -4,3$  m pour le modèle de Ting et Kirby (1996) et démarre de  $x=0$ , dans notre cas, voir fig1) est de 22 m de long et 0,8 m de haut, et il est discrétisé par une grille uniforme avec  $\Delta x = 0,02$  m et  $\Delta z = 0,08$  m, ce qui est similaire aux études antérieures [30,32, Zhihua Xie 2012]. Afin d'obtenir le détail lors du déferlement des vagues, le pas de temps est réglé automatiquement avec une valeur maximale  $0,2\Delta t^{CFL}$  au cours de la simulation, où  $\Delta t^{CFL}$  est le pas de temps pour satisfaire le critère de stabilité Courant-Friedrichs-Lewy (CFL). Le tableau 1 ci-dessous montre les conditions de houle pour le déferlement glissant et le déferlement plongeant dans l'expérience, où  $T$  est la période de la houle,  $H_0$  est la hauteur des vagues en eau profonde, et  $x_b$  et  $d_b$  sont la position et la profondeur d'eau au déferlement de la houle.

Tableau 1  
Conditions expérimentales de la houle de Ting et Kirby (1996)

| Type de déferlement | $H_0$ (m) | $H$ (m) | $T$ (s) | $X_b$ (m) pour $X_0 = -4m$ | $d_b$ (m) |
|---------------------|-----------|---------|---------|----------------------------|-----------|
| Glissant            | 0,127     | 0,125   | 2,0     | 6,400                      | 0,196     |
| Plongeant           | 0,089     | 0,128   | 5,0     | 7,795                      | 0,156     |

Les indices 0 et b décrivent l'eau profonde et le point de déferlement.

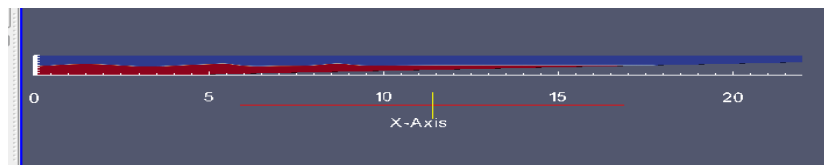


Fig1 : Canal à houle de la simulation 2D du déferlement glissant et plongeant

#### 3.1.1. Résultat du déferlement glissant

La fig2 montre la simulation 2D du déferlement glissant en appliquant LES, cette figure exprime les résultats suivants : la position du déferlement est à  $X_b = 10,7$  m, la profondeur au déferlement est à  $d_b = 0,2$  m et  $H_b = 0,1$  m.

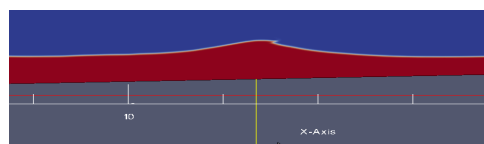


Fig2 : Simulation 2D du déferlement glissant en appliquant LES

#### 3.1.2. Résultat du déferlement plongeant

La fig3 montre la simulation 2D du déferlement plongeant en appliquant LES, elle traduit l'évolution de la surface libre de la houle en fonction du temps cette figure

exprime les résultats suivants : la position du déferlement est à  $X_b = 11,7 \text{ m}$  , la profondeur au déferlement est à  $d_b = 0.158\text{m}$  et  $H_b = 0,15 \text{ m}$  .

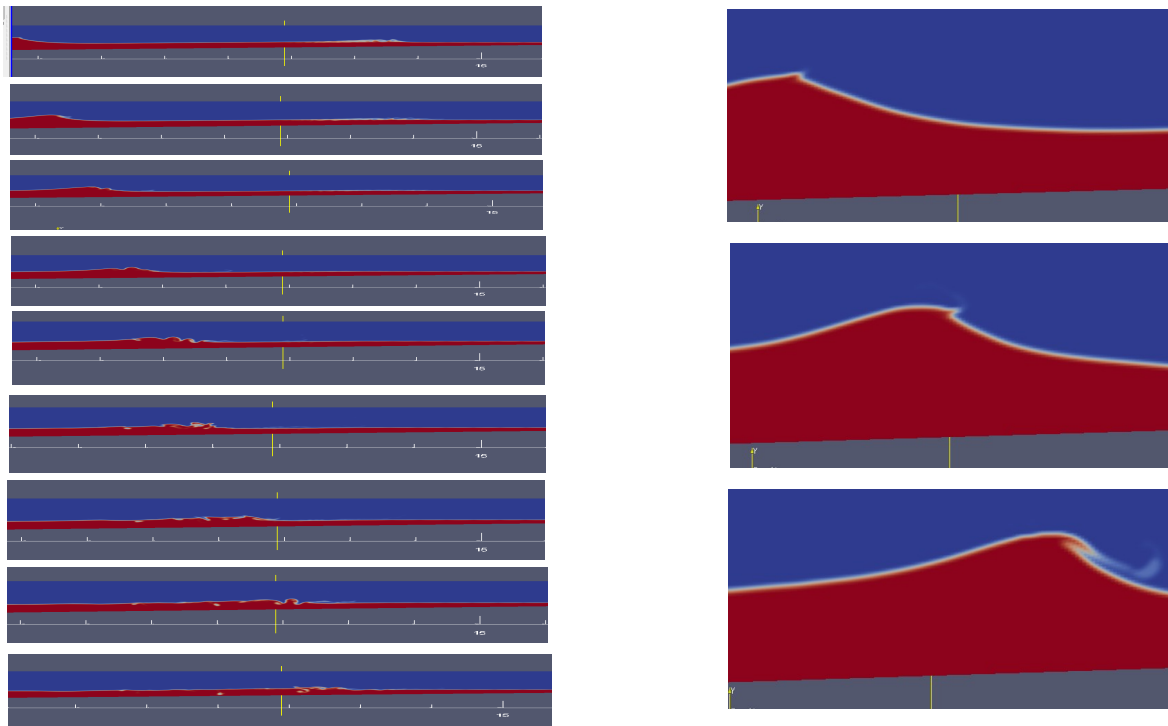


Fig3 : Simulation 2D du déferlement plongeant en appliquant LES

#### 4 . CONCLUSION

Dans cet article nous avons exposé les résultats en terme d'élévations de la surface libre, de la position et de la profondeur obtenus de la modélisation 2D des deux types de déferlement de la houle , déferlement glissant et plongeant.

Les résultats de la simulation ont été comparés avec les données expérimentales mesurées par Ting et Kirby (1996) et avec une autre étude numérique établit par Zhihua Xie (2012). Finalement les résultats sont en accord avec ceux de Ting et Kirby (1996) et de Zhihua Xie (2012).

#### Référence bibliographique

- D. H. Peregrine. Breaking waves on beaches. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 15:149{178}, 1983.
- J. A. Battjes. Surf-zone dynamics. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 20:257{293}, 1988.
- E. D. Christensen, D.-J. Walstra, and N. Emerat. Vertical variation of the across the surf zone. *Coastal Eng.*, 45:169{198}, 2002.
- F.C.K. Ting, J.T. Kirby, Dynamics of surf-zone turbulence in a spilling breaker, *Coast. Eng.* 27 (1996) 131–160.
- S. Abadie. *Modélisation numérique du déferlement plongeant par méthode VOF*. PhD thesis, Université Bordeaux I, 1998.
- Lin and P. L.-F. Liu. A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics*, 359:239{264}, 1998a.
- Lin and P. L.-F. Liu. Turbulence transport, vorticity dynamics, and solute mixing under plunging breaking waves in surf zone. *J. of Geophysical Research*, 103(C8): 15,677{15,694}, 1998b.
- G. Chen, C. Kharif, S. Zaleski, and J. J. Li. Two-dimensional navier-stokes simulation of breaking waves. *Physics of Fluids*, 11:121{133}, 1999.
- E. D. Christensen and R. Deigaard. Large eddy simulation of breaking waves. *Coastal Eng.*, 42:53{86}, 2001.
- Guignard. *Suivi d'interface de type VOF - application au déferlement des ondes de gravité aux variations bathymétriques*. PhD thesis, Université de Toulon et du Var, 2001.
- Jasak, H., Jemcov, A., and Tukovi'c, Ž. (2007), OpenFOAM: A C++ Library for Complex Physics Simulations, in International Workshop on Coupled Methods in Numerical Dynamics: Dubrovnik, Croatia.
- Jacobsen, N G and Fuhrman, D R and Freds, A Wave Generation Toolbox for the Open-Source CFD Library: OpenFoam, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS, vol.70, No9(2012), pp. 1073-1088.
- Amini Afshar, M, Numerical Wave Generation In OpenFOAM, Master of Sciences Thesis, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Department of Shipping And Marine Technology, Goteborg, sweden. 2010.
- Lambert, RJ, Development of Numerical Wave Tank Using OpenFOAM, Universidade de Coimbra, Master of Science Thesis, 2012.