

MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DANS UN PORT

Mimoun OUKADR¹, Mustapha MOUHID¹,
Mohamed CHAGDALI¹

1. Université Hassan II Casablanca - Faculté des Sciences Ben M'Sik – LPPPC, Casablanca, Maroc.
oukadr@gmail.com, mouhidmustapha@gmail.com,
chagdalinomohamed@gmail.com

Résumé :

La gestion des structures portuaires nécessite la connaissance des jours d'exploitations et des jours à risque pour les navires amarrés et les structures adjacentes. Ce type de problème peut être étudié par la modélisation numérique qui doit prendre en considération l'ensemble des phénomènes pertinents de la déformation de la houle à l'intérieur d'un port. (Les houles entrantes et radiées à travers la passe ouverte sur l'océan, les phénomènes de réflexion multiples, la diffraction – réfraction de la houle). L'équation dite de Berkhoff [2] est en mesure de prendre en compte ces phénomènes physiques associés à l'agitation hydrodynamique. L'une des difficultés associées à la modélisation de cette équation est l'écriture des conditions d'entrée de la houle à travers la passe du port.

Dans ce travail, on présente une méthodologie qui consiste à construire une fonction de transfert numérique entre le large et la passe d'entrée du port. Cela consiste à traiter les données du large et de les faire propager numériquement jusqu'au port. Ensuite, elles seront reprises par le code d'agitation. L'ensemble des codes utilisés sont basés sur la méthode des éléments finis et ce sont des codes Open source.

Mots clés : Agitation portuaire – Equation de Berkhoff, Méthode des Eléments finis – Agitation dans le port de Casablanca

1. Introduction

La houle se propageant du large vers le port peut engendrer des amplifications importantes de l'élévation de la surface libre pour les périodes propres de ce port. Ce phénomène connu sous le nom de l'agitation portuaire, seiche ou déferlante portuaire, peut causer une navigation aléatoire et des dommages assez significatifs pour les navires amarrés et les structures adjacentes. Dans le but de corriger ce type de problème ou de concevoir un nouveau port dépourvu de ces problèmes, le concepteur doit être en mesure de calculer la réponse de ce port sollicité par les houles existantes dans l'environnement du site. Le principe du calcul de l'agitation portuaire est d'évaluer, à tous points, l'agitation résiduelle

(la hauteur des vagues résiduelles à l'intérieur du port) pour différentes configurations de houles (hauteur, direction, période) et déterminer, en fonction de la base de données des houles, le taux d'indisponibilité due à cette agitation pour chaque poste à quai

Ce calcul peut se faire par la résolution de l'équation dite de Berkhoff.

2. Equation de Berkhoff

L'équation de Berkoff est construite dans le cadre de la théorie potentielle de la houle. Les étapes de sa construction sont :

- Formulation potentielle de la houle en tenant compte de la variation du fond.
- Intégration des équations du mouvement suivant la verticale (entre le fond et la surface libre).
- Application de l'hypothèse de la pente douce. Afin de préciser cette hypothèse, on définit un paramètre sans dimension ε et deux variables réduites \bar{x} et \bar{y} par : $\bar{x} = \varepsilon x$ et $\bar{y} = \varepsilon y$ et on suppose que les pentes réduites, c'est à dire les dérivées de la profondeur d par rapport à \bar{x} et \bar{y} sont au plus de l'ordre de l'unité. Le paramètre ε caractérise alors l'importance de la pente des fonds, et nous supposons que l'on peut négliger les termes en ε^2 .

Si l'on revient aux variables d'espace réelles x et y , cette équation peut se mettre sous la forme :

$$\text{div} \left[c_g \vec{\text{grad}} \phi \right] + k^2 c_g \phi = 0$$

$$c_g = \frac{c}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right] \quad \text{et} \quad C = \frac{L}{T}$$

C est la célérité, L la longueur d'onde et c_g la célérité du groupe. ϕ est le potentiel des vitesses défini dans le plan et k le nombre d'onde.

Cette équation est dite de Berkhoff. Elle contient les variations lentes de la vitesse de phase et de la vitesse de groupe, et intègre les phénomènes combinés de diffraction et de réfraction. Sur fond plat, elle rejoint directement l'équation d'Helmholtz. Elle s'applique aussi pour les ondes longues linéaires.

Cette équation est de type elliptique, ce qui nécessite d'imposer les conditions aux limites sur toutes les frontières. L'une des difficultés est l'écriture des conditions

aux limites à l'entrée du port c'est-à-dire la connaissance des conditions naturelles auprès du site.

Par la présente étude, nous déterminons les conditions d'entrée à partir d'une étude statistique des mesures enregistrées au large. Il s'agit ensuite de rapporter les conditions de houle jusqu'au pied du port, et ce, à travers un modèle de propagation, ce qui permettra par la suite de calculer l'agitation à l'intérieur du port.

3. Résolution numérique

3.1 Analyse vague à vague et paramètres représentatifs de la houle :

Les enregistrements de la houle sont fournis par la télédétection spatiale. La méthode du passage par le niveau moyen permet de séparer les vagues individuelles : Chaque fois que le signal d'enregistrement de la houle traverse le niveau moyen de la mer dans le même sens, on compte une nouvelle vague. La période individuelle, T_j , de la vague j est le temps qui s'écoule entre deux passages au niveau moyen successifs (dans le même sens) et la hauteur correspondante entre le creux le plus bas et la crête la plus élevée définit la hauteur, H_j , de cette vague individuelle

La hauteur de la houle représentative d'un état de mer d'une durée donnée correspond à la valeur moyenne des $1/n$ supérieurs des hauteurs de vagues de l'état de mer. Pour le dimensionnement, les hauteurs de ce type les plus importantes sont la hauteur significative de la houle $H_{1/3}=H_s$ (moyenne du $1/3$ supérieur des hauteurs de vagues de l'état de mer). On utilise aussi $H_{1/10}$, $H_{1/100}$ et $H_{1/250}$.

La période significative de la houle T_s est la moyenne des périodes associées au $1/3$ supérieur des hauteurs de vagues de l'enregistrement ;

3.2 Déformation de la houle au cours de sa propagation :

Le code SWAN développé à L'Université de Technologie de Delft (Pays-Bas), est un modèle numérique spectral de troisième génération, il permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtières.

Le modèle est basé sur l'équation Bilan de la densité d'énergie reliant le terme advection aux termes sources et puits. Ainsi, l'énergie des vagues évolue dans les deux espaces géographique et spectral et change d'aspect suite à la présence de vent en surface, de courant ambiant, de frottement avec le fond ou de déferlement.

Toute l'information reliée à la surface de la mer est contenue dans la densité d'énergie $E(t, x, y, \sigma, \theta)$ où t représente le temps, x et y étant les composantes horizontales de l'espace géographique, σ la fréquence relative et θ la direction. Toutefois, le spectre considéré

dans le modèle SWAN est celui de la densité de l'action des vagues $(t, x, y, \sigma, \theta) = \frac{E(t, x, y, \sigma, \theta)}{\sigma}$, Plutôt que le spectre de la densité d'énergie $E(t, x, y, \sigma, \theta)$.

Ainsi, l'évolution du spectre des vagues est déterminée par l'équation bilan du spectre de la densité d'action liant le terme de propagation aux effets des termes sources et puits :

En coordonnées cartésiennes, cette équation s'écrit sous la forme suivante (Hasselmann *et al.* 1973) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

Où c_x , c_y , c_σ et c_θ sont les composantes de la vitesse de propagation obtenues à partir de la théorie linéaire des vagues [1].

S_{tot} représente l'ensemble des termes sources et puits. Dans les eaux peu profondes, six processus contribuent dans S_{tot} :

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br}$$

Ces termes dénotent, respectivement, la croissance sous l'effet du vent, le transfert d'énergie dû à l'interaction non linéaire entre trois vagues, puis quatre vagues, et la dissipation de l'énergie à cause du moutonnement, de la friction des fonds ainsi que le déferlement.

3.3 Couplage des modèles numérique

Pour les introduire dans le modèle numérique d'agitation portuaire, une première méthode consiste à égaliser les hauteurs calculées par le code de calcul à celle obtenue par la formule de déferlement. C'est la méthode dite du simple **écrêtage**. Une seconde méthode consiste à calculer un terme de **dissipation** d'énergie que l'on ajoute dans

3.4 Calcul de l'agitation :

L'agitation à l'intérieur du port se calcule à l'aide du logiciel REFONDE [2], pour pouvoir déterminer les périodes de l'année où le port ne sera pas fonctionnel.

Le modèle REFONDE est un code d'agitation de houle qui résout l'équation de réfraction-diffraction de Berkhoff, il a été conçu par le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques, Maritimes et Fluviales) en France.

4. Résultats

4.1 Bathymétrie et maillage du domaine

La bathymétrie associée au projet portuaire est présentée sur la figure 1.

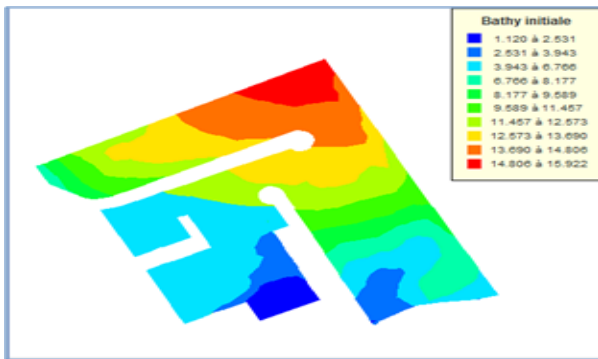


Figure 1 Bathymétrie du domaine

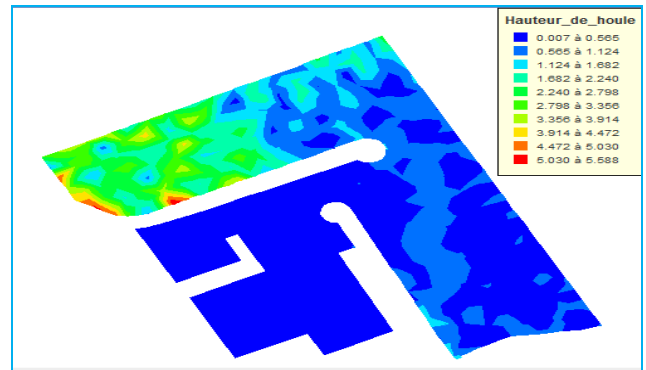


Figure 4 Calcul pour H=6.3m et T=11s

4.2 Maillage du domaine

Le maillage du domaine d'étude est donné sur la figure 2.

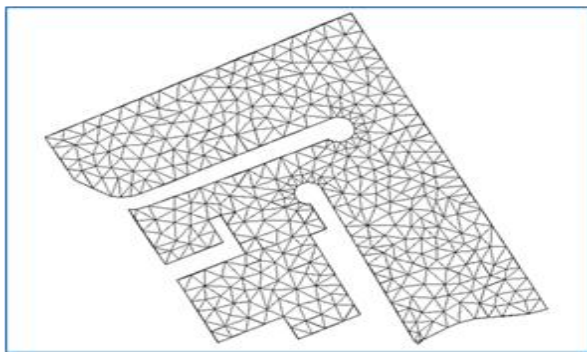


Figure 2 Maillage du domaine

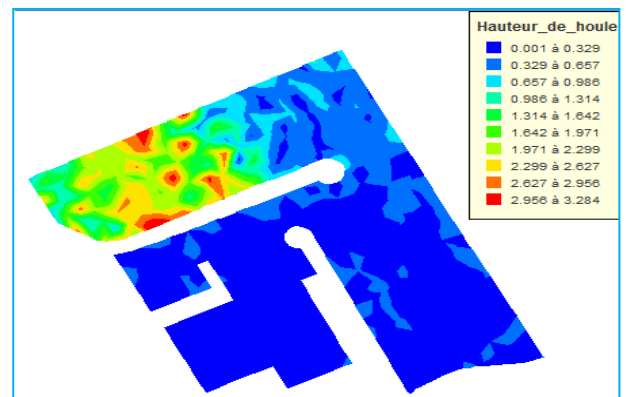


Figure 5 Calcul pour H=7.6m et T=12.9s

4.3 Paramètres de calcul

Le tableau suivant présente les trois scénarios de simulation de l'agitation à l'intérieur du port :

	Hauteur	Période	Niveau de mer	Direction
S 1	5.24m	10s	2.17m	320°
S 2	6.3m	11s	2.17m	320°
S3	7.6m	12.97s	2.17m	320°

Tableau 1 de paramètre de calcul

4.4 Résultats

Les résultats sont présentés sur les figures 3,4 et 5.

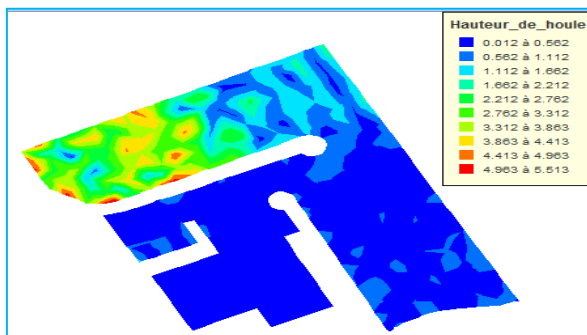


Figure 3 Calcul pour H=5.24m et T=10s

5. Conclusion

Nous avons testé plusieurs scénarios de houles, avec des hauteurs maximales et des périodes variables le but est de déterminer les conditions d'agitation les plus défavorables à l'intérieur du port. En partant des hauteurs significatives, directions et périodes comme paramètres d'entrées, les tests ont fourni des résultats importants : la houle est fortement atténuée dans le port (l'agitation ne dépasse pas 0.6 m sur la totalité du bassin pour $H < 6.3$ m).

Pour une houle de 7.6 m de hauteur, on remarque que l'agitation dépasse 0,6 m dans quelques endroits du bassin notamment à l'entrée du port et aux alentours de la digue principale, dans ce cas la navigation devient difficile. Le port sera donc hors service pendant quelques jours de l'année (jours de fortes tempêtes).

6. Références bibliographique

- [1] SWAN Simulating Waves Nearshore, Booij et al. 2004 DELFT Université: *Manuels d'utilisation SWAN*.
- [2] ROFONDE code développée par le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques, Maritimes et Fluviales) en France. CETMEF : *Manuel d'utilisation Refonde*.