

## Session 1 : Hydrodynamique côtière

### - Questions & Réponses -

- 1- *Question de P.Sergent (CETMEF Compiègne) à F.Ardhuin (SHOM Brest) :*  
 Pour le phénomène d'ensachage, dans les équations de couplage houle-courants, y a-t-il un terme supplémentaire dans l'équation de conservation de la masse ?

*Réponse :*

Il existe deux formes de la moyenne Lagrangienne généralisée. La première donne une équation d'évolution pour une variable de vitesse  $\hat{u}=u^L$ - P avec P égal à la dérive de Stokes (en première approximation) et  $u^L$  la vitesse de dérive. La seconde forme donne une équation pour  $u^L$ . Dans les deux cas la conservation de la masse prend la même forme :  $\text{div}( J u^L ) = 0$  avec J le jacobien lié à la transformation implicite que représente la moyenne. Comme c'est  $u^L$  et pas  $\hat{u}$  qui est dans la divergence on peut considérer qu'il y a un terme supplémentaire, la divergence de la dérive de Stokes.

- 2- *Question de S. Suanez (UBO Brest) à F.Ardhuin (SHOM Brest) :* Peut-on considérer que le paramètre set-up (comme étant la déformation du plan d'eau à la côte par l'agitation) est pris en compte dans les enregistrements marégraphiques (marée observée) ?

*Réponse :*

Oui, les marégraphes mesurent le set-up qui doit faire partie de la surcote. Par contre ce phénomène n'est sensible que dans les zones influencées par le déferlement. C'est par exemple le cas de la lagune de Venise lors de grosses tempêtes, dans ce cas les vagues déferlent au bout des jetées et le set-up se communique à la lagune, sinon il est limité aux plages de l'Adriatique.

*L. Bertotti and L. Cavaleri, "Coastal set-up and wave breaking," Oceanologica Acta, vol. 8, no. 2, pp. 237-242, 1985.*

- 3- *Question de A. Clément (ECN Nantes) à M.Benoit et al. (EDF-LNHE Chatou) :*  
 La base de données donnera-t-elle accès à l'étalement directionnel des spectres ou à des systèmes composites type « mer de vent-houle » ?

*Réponse :*

Parmi les paramètres caractéristiques de l'état de mer qui sont stockés dans la base d'états de mer ANEMOC (paramètres calculés à partir du spectre directionnel de variance de l'état de mer, noté  $F(f,\theta)$ ), figure l'étalement directionnel moyen noté  $\sigma$  et exprimé en degrés. Il est défini par :

$$\sigma = \sqrt{2(1 - \sqrt{a^2 + b^2})} * (180 / \pi)$$

où a et b sont les coefficients de Fourier du premier harmonique de la fonction de répartition angulaire de l'énergie, moyennés sur l'ensemble des fréquences :

$$a = \frac{\int_{\min}^{\infty} \int_0^{2\pi} \cos(\theta) F(f, \theta) df d\theta}{m_o} \quad \text{et} \quad b = \frac{\int_{\min}^{\infty} \int_0^{2\pi} \sin(\theta) F(f, \theta) df d\theta}{m_o}$$

En réponse à la deuxième partie de la question, pour cette première version de la base, nous n'avons pas effectué de post-traitement des spectres permettant de décomposer le spectre directionnel en plusieurs systèmes de vagues (du type une composante « Houle » + une ou plusieurs composantes de type « Mer de vent »), mais cela fait partie des sujets sur lesquels nous travaillons actuellement. Cela répond aussi à un besoin que nous avons identifié avec le CETMEF pour améliorer la qualité des paramètres décrivant l'état de mer archives. Les versions ultérieures de la base ANEMOC intégreront des paramètres relatifs aux différentes composantes d'un état de mer.

- 4- *Question de P. Le Hir (IFREMER Brest) à M.Benoit et al. (EDF-LNHE Chatou)* : Je confirme l'intérêt de la communauté scientifique pour avoir accès aux données de la base qui permettraient de forcer des modèles côtiers. Un avis critique du fournisseur de données sur l'utilisation pour forcer aux limites un modèle côtier serait aussi précieux.

*Réponse :*

Le site Internet de la base ANEMOC comportera un certain nombre d'informations relatives à la position spatiale et à la profondeur des points en lesquels ont été archivés les résultats de la simulation numérique. Les définitions et modes de calcul des paramètres caractéristiques déduits du spectre directionnel seront également rappelés.

Il est clair qu'il est préférable de forcer un modèle côtier par des spectres directionnels complets (en fréquence-direction), plutôt qu'à l'aide de quelques paramètres caractéristiques du spectre (à partir desquels on reconstruit un spectre directionnel à l'aide d'expressions analytiques pour les répartitions fréquentielle et directionnelle de la variance, de type JONSWAP ou autre). Pour cette version de la base, nous n'avons pas pu stocker l'ensemble des spectres directionnels au pas horaire en tous les nœuds des 2 grilles de calcul, car cela représentait un volume de données trop important.

- 5- *Question de R. Pedreros (BRGM Orléans) à M.Benoit et al. (EDF-LNHE Chatou)* : Quelles sont les améliorations physiques qui seront apportées à la modélisation, notamment – génération – (intégration des travaux de F. Ardhuin sur WW3) et en domaine profond (diffraction) ?

*Réponse :*

Afin d'améliorer la qualité de la base d'états de mer, nous travaillons suivant trois axes complémentaires :

1. Nous cherchons à améliorer la qualité des données de forçage issues des ré-analyses météorologiques en examinant l'apport d'un modèle atmosphérique à méso-échelle. Un tel modèle devrait permettre d'améliorer les résolutions spatiale et temporelle des champs de vent utilisés en entrée du modèle d'états de mer TOMAWAC.

2. En second lieu, nous travaillons à l'amélioration du modèle d'états de mer proprement dit, notamment sur la modélisation des processus physiques d'apport, de dissipation ou de transfert d'énergie au sein du spectre. Une thèse démarre au LNHE en Octobre 2006 sur ce sujet (en s'intéressant en premier lieu aux interactions non-linéaires vague-vague) et nous collaborons effectivement avec Fabrice Ardhuin du SHOM, qui travaille notamment sur le terme de dissipation par moutonnement. Nous collaborons avec le CETMEF pour ce qui concerne l'amélioration de la modélisation de la physique des états de mer par petits fonds.
  3. Le troisième axe d'amélioration concerne la prise en compte des interactions des vagues avec les courants, la marée et les surcotes-décotes (prise en compte des courants et du niveau moyen de mer hétérogène et instationnaires).
- 6- *Question de M. Sanchez (Université de Nantes) à M.Benoit et al. (EDF-LNHE Chatou)* : Envisagez-vous l'étude de la probabilité conjointe hauteur de houle – niveaux extrêmes (marée + surcotes) à l'approche du rivage ? (ceci en relation avec différentes périodes de retour).

*Réponse :*

La question soulevée, relative aux conjonctions d'aléas partiellement corrélés (vagues, marée, surcotes), est effectivement importante et nous y travaillons en interne EDF pour la maîtrise des risques inondations pour les sites côtiers. C'est une problématique pour laquelle il existe des méthodes statistiques pouvant déjà être utilisées, mais qui relève encore du domaine de la recherche. Par ailleurs, il est important de disposer en entrée de séries de données les plus longues possibles et avec le moins de trous possible. A cet égard, la modélisation numérique, comme c'est le cas avec la base ANEMOC, fournit de la donnée qui peut être utilisée (et que nous avons déjà commencé à utiliser), en complément des mesures in situ, pour examiner les apports et limitations de méthodes de traitement des conjonctions d'aléas.

- 7- *Question de P. Sergent (CETMEF Compiègne) à M.Benoit et al. (EDF-LNHE Chatou)* : La base de données prévue fournira-t-elle des climats statistiques de houle comme le propose actuellement la base de données du réseau CANDHIS ?

*Réponse :*

Le CETMEF travaille actuellement à la construction du site Internet qui hébergera la base ANEMOC. On y trouvera en une centaine de points le long de la façade Atlantique-Manche-Mer du Nord des produits d'analyse de climatologie moyenne des états de mer, comme c'est actuellement le cas pour la base des mesures de houlographes CANDHIS (histogrammes de la hauteur significative, de la période de pic et/ou de la période moyenne, diagramme de corrélation hauteur-période, etc.), mais aussi en une cinquantaine de points des informations sur les conditions d'états de mer associées à différentes périodes de retour.

- 8- *Questions de M. Benoit (EDF-LNHE Chatou) à A. Dehouck et al. (IUEM Brest)* : La formule pour calculer  $\gamma_s$  est très utile pour les applications pratiques. Pouvez-vous préciser les trois points suivants :
- Méthode de calcul de  $H_{m0}$  : intervalle de fréquence que l'on considère ? Comment sont traitées les ondes basses fréquences ?
  - Pour quelle période ( $T_p$ ,  $T_m$  ?) est calculé le nombre d'onde  $k$  ?
  - La variable  $h$  est-elle la hauteur d'eau « au repos » ou prend-elle en compte le set-up dû au déferlement des vagues ?

*Réponses :*

- 1-  $H_s$  est calculée comme l'intégrale du spectre de densité d'énergie des vagues entre 0.05-0.5 Hz, fréquences de coupure classiques définissant le domaine gravitaire.
- 2- Le nombre d'onde s'écrit tel que défini par Raubenheimer et al (1996) :  $k=2\pi/L$  où  $L=T(gh)^{0.5}$ =longueur d'onde en eaux peu profondes et  $T=1/f_c$  avec  $f_c$  la fréquence centroïdale égale au rapport des moments d'ordre 1 et 0. En d'autres termes, la fréquence centroïdale est aussi la fréquence moyenne des fréquences dans le domaine gravitaire pondérées par leur énergie.
- 3- En zone de déferlement, le capteur mesure les fluctuations instantanées de la surface libre et prend donc en compte le set-up. Cependant,  $h$  est ici définie comme la hauteur d'eau moyenne calculée sur un burst (de 10 ou 20 min selon les capteurs et les sites) et moyenne donc les variations horizontales des différentes zones d'action des processus hydrodynamiques. En quelque sorte,  $h$  est la hauteur d'eau « au repos ».

- 9- *Questions de V. Rey (ISITV Toulon) à A. Dehouck et al. (IUEM Brest)* : Classiquement, le paramètre de déferlement  $\gamma$  est exprimé en fonction de la profondeur d'eau adimensionnée lors qu'on cherche à quantifier sa dépendance vis-à-vis de la profondeur d'eau. Vous utilisez une représentation fonction de  $U$ , la vitesse mesurée par l'instrument. Qu'est-ce qui vous a motivé dans ce choix ? Avez-vous des données de vitesse à deux profondeurs d'immersion ?

*Réponse :*

La hauteur relative des vagues  $\gamma$  est connue pour être un bon indicateur de la dissipation de l'énergie des vagues dans les petits fonds. On a pensé qu'on pourrait identifier le type de processus hydrodynamiques actifs sur les plages en fonction de la hauteur relative des vagues, de la direction et de l'intensité des courants qu'ils induisent.

En effet, sachant que la hauteur du capteur au-dessus du fond varie au cours de la campagne de mesures, on peut avoir des données de vitesse à plusieurs profondeurs et reconstituer un profil vertical de vitesse.

- 10- *Question de J.P. Barrusseau (Université de Perpignan) à F. Dufois et al. (IFREMER Brest)* : Ne serait-il pas prudent de confronter vos résultats avec des données existantes : notamment celles qui concernent la répartition des sédiments (ex : limite sables-vases) dont la zonéographie réelle n'est pas reflétée par vos cartes de répartition de la contrainte de fond ?

*Réponse :*

Sans réponse de la part des auteurs

11- *Questions de P. Sergent (CETMEF Compiègne) à F. Dufois et al. (IFREMER Brest) :* Comment est traité l'effet combiné de la houle et du vent ? Cet effet est-il validé ?

*Réponses :*

Sans réponse de la part des auteurs

12- *Question de A. Sottolichio (Université de Bordeaux I) à F. Dufois et al. (IFREMER Brest) :* L'utilisation d'une formule de prédiction des rides ne doit-elle pas être accompagnée d'une connaissance de la répartition réelle des figures sédimentaires sur le fond ?

*Réponse :*

Sans réponse de la part des auteurs

13- *Question de P.Y. Valantin (SMNLR, Sète) à F. Dufois et al. (IFREMER Brest) :* Compte tenu de la taille du maillage (1.2 km), pouvez-vous considérer que ce modèle est fiable sur une section proche de la côte (golfe d'Aigues-Mortes par exemple) ou faut-il le raffiner ?

*Réponse :*

L'intervenant ne connaît pas précisément le secteur en question mais pense qu'il faudrait raffiner le modèle comme cela a été fait sur le pro-delta du Rhône.

14- *Questions de M. Benoit (EDF Chatou) à J. Dubranna et al. (ISABTP Anglet) :* Les simulations sont réalisées pour différentes hauteurs et périodes de vagues, mais qu'en est-il de la direction de provenance des vagues, dont on sait que c'est un paramètre important pour le transit littoral ? Quelle est la direction que vous avez considérée ? Avez-vous réalisé une étude de sensibilité à la valeur de cette direction dans un secteur de provenance réaliste ?

*Réponse :*

La direction de propagation considérée pour les calculs est 297°. C'est d'une part la direction de propagation moyenne des houles pour lesquelles le transport sédimentaire devient significatif ( $H_s > 1,7\text{m}$ , Brière (2005), [1]), mais également la direction de propagation la plus représentée pour ce type de houle (données WW3, 2°30'W, 44°N, Décembre 2001 à Février 2005).

Une étude de sensibilité est en cours en considérant des houles de 292° à 306°.

L'angle d'incidence de la houle est en effet très important dans le développement des courants à l'origine du transit littoral. Cependant, et dans ce cas précis, il semblerait que l'effet d'ombre généré par la grande digue nord joue un rôle primordial dans le développement du courant dirigé vers l'embouchure lors des fortes houles.

15- *Question de B. Camenen (Kyoto University-Japon) à J. Dubranna et al. (ISABTP Anglet)* : Le modèle statistique est validé avec le modèle numérique, est-ce que le modèle numérique a été validé avec des données expérimentales ?

*Réponse :*

Les modèles utilisés (TOMAWAC et TELEMAR2D) ont été testés et validés sur la zone par les travaux de Brière (2005), [1], à partir de mesures de courant et de pression (campagne de mesure d'une semaine, Dubranna *et al.* (2003), [2]). Les conditions d'agitation étaient faibles à moyennes ( $H_s < 1,80\text{m}$ ) au cours de la campagne. Les résultats du modèle n'ont pas été validés dans des conditions plus énergétiques, pour lesquelles les conditions de sécurité et de sauvegarde du matériel deviennent insuffisantes.

16- *Question de P. Le Hir (IFREMER Brest) à J. Dubranna et al. (ISABTP Anglet)* : La méthode peut-elle être appliquée en retenant des valeurs ( $u, v$ ) distribuées en 2D spatial ? (Possibilité alors de calculer des évolutions sédimentaires par divergence de flux).

*Réponse :*

L'analyse factorielle 2D existe. Elle n'a, à ma connaissance, pas encore été utilisée dans le cadre de modèles de courant. Une telle approche me semble tout à fait envisageable. La difficulté devrait cependant résider dans l'indexation des coefficients de pondération des modes sur un forçage particulier.

17- *Question de P. Sergent (CETMEF Compiègne) à J. Dubranna et al. (ISABTP Anglet)* : L'énergie de la houle est le paramètre déterminant pour la détermination des courants du modèle statistique. Une étude de sensibilité sur la direction de la houle ne permettrait-elle pas de valider cette hypothèse ?

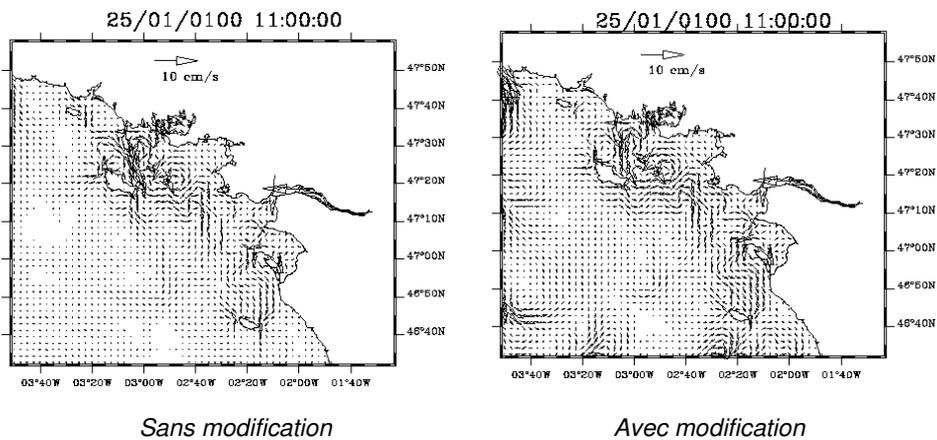
*Réponse :*

Se reporter aux questions 14 et aux réponses apportées.

18- *Questions de F. Ardhuin (SHOM Brest) à C. Herry et al. (IFREMER Brest)* : Quel est l'effet de la condition à la limite sur la circulation résiduelle ? Permet-elle aux courants résiduels de sortir du domaine ?

*Réponse :*

L'influence de la condition aux limites sur la circulation à l'intérieur du domaine a été illustrée sur la figure 5 de l'article. La correction de la hauteur d'eau réalisée aux limites induit une légère modification du transport près de la côte. Aux frontières, on constate une perturbation importante de la circulation résiduelle. Cette perturbation n'existe pas lorsqu'on utilise des hauteurs d'eau calculées par le modèle de grande emprise dont la bathymétrie est compatible avec le modèle de détail. Ceci n'est plus le cas lorsqu'on utilise les hauteurs d'eau corrigées.



19- Question de J.M. Hervouet (EDF Chatou) à C. Herry et al. (IFREMER Brest) :  
La condition à la limite hauteur imposée+gradient de vitesse nul est-elle correcte au regard de la théorie des caractéristiques ?

Réponse :

Le problème n'a pas été envisagé sous l'angle de la théorie des caractéristiques. La hauteur d'eau est imposée en tant que grandeur la mieux connue. Et on fait l'hypothèse de gradients nul loin de la côte. Il serait également possible de considérer l'hypothèse de Laplacien nul, ce qui n'a pas été fait ici.

20- Question de J.M. Hervouet (EDF-LNHE Chatou) à F. Marche et al. (Université de Bordeaux I) : A priori, les schémas cinétiques développés par Emmanuel Audusse fonctionnent sur les bancs découvrants sans traitement particulier. Quels sont les défauts de comportement qui ont mené à concevoir malgré tout une correction ?

Réponse :

Le modèle développé par E. Audusse fournit de très bons résultats pour les situations impliquant des phénomènes de « flooding » ou d'assèchement, principalement en hydraulique. Toutefois, les essais numériques ont montré des limitations pour les situations impliquant des situations plus complexes et spécifiques comme les mouvements périodiques ou oscillations aléatoires de la ligne d'eau. En particulier, toute micro-instabilité générée initialement, qui passait inaperçue sur des cas plus « académiques », se trouve amplifiée au cours des évolutions impliquant des mouvements continus de la ligne d'eau.

21- Question de F. Ardhuin (SHOM Brest) à D. Morellato et al. (UBO Brest) :  
Pouvez-vous préciser sur le cas où la correction de Lynett a l'air moins bonne, si les courants mesurés étaient effectivement de même ordre que les courants de marée connus ?

Réponse :

Lors du 3<sup>e</sup> cycle de marée, on constate que le courant mesuré est dirigé vers la plage lors du montant et vers le large par la suite. De plus ces courants mesurés sont de l'ordre de 5cm par seconde, l'ordre de grandeur des courants de marée.

- 22- *Questions de M. Benoît (EDF-LNHE Chatou) à D. Morellato et al. (UBO Brest) :*  
Pouvez-vous préciser l'intérêt de comparer un modèle déterministe à résolution de phases (FUNWAVE) et un modèle à phases moyennées (SWAN) ? Est-ce la prédiction des courants induits par les vagues ou l'amélioration de la prédiction des propriétés non linéaires ? Ne serait-il pas intéressant d'exploiter les mesures et la comparaison aux résultats de modèles pour examiner les paramètres non linéaires d'états de mer (de type skewness, asymétrie), et aller plus loin que l'analyse des paramètres tels que Hmo et Tp (pour lesquels les différences entre SWAN et FUNWAVE) ne sont pas flagrantes) ?

*Réponses :*

L'objectif de ce travail était de caler le modèle FUNWAVE sur des mesures que nous avons effectuées. L'introduction de SWAN n'avait qu'un but de comparaison et de vérification des mesures. Effectivement par la suite, nous souhaitons examiner d'autres paramètres telle que les non-linéarités.

- 23- *Questions de L. Delaby (Ingénieur) à D. Morellato et al. (UBO Brest) :* Ces vagues provoquent-elles un courant moyen dirigé vers le large ? L'équilibre d'une plage est-il alors dû au bilan entre le courant de retour et celui de marée ?

*Réponses :*

Les vagues provoquent un courant moyen dirigé vers le large localisé sur le fond. D'autres phénomènes comme les non-linéarités, la dérive de Stokes créent un courant dirigé vers la côte en amont du déferlement. L'équilibre des plages (ou encore la création des barres subtidales en milieu microtidal) est la résultante de ces courants opposés.

- 24- *Question de P. Le Hir (IFREMER Brest) à D. Morellato et al. (UBO Brest) :* Y a-t-il une différence de coût calcul entre le modèle spectral appliqué en faible profondeur et le modèle Boussinesq ?

*Réponse :*

Swan est utilisé en modèle multi-stationnaire donc on fait une simulation à chaque pas de temps désiré. Ici en faisant une simulation toutes les demies-heures, Swan est 2 fois plus rapides que Funwave.

- 25- *Question de P. Sergent (CETMEF Compiègne) à D. Morellato et al. (UBO Brest) :* La correction de Lynett pour l'estimation du courant de retour semble apporter une amélioration sensible. Comment expliquer simplement cette méthode de correction ?

*Réponse :*

La correction de Lynett s'applique en post-traitement du calcul hydrodynamique. On suppose que le flux calculé par Funwave est bon. Cette méthode introduit la vitesse du rouleau au niveau du déferlement et applique cette vitesse en surface. L'implantation d'un profil exponentiel dans le profil initial donné par Funwave avec (1) la vitesse en surface donnée et (2) la conservation du flux corrige donc le profil de vitesse de façon unique. La seule modification que l'on peut faire est sur la pente du profil exponentiel qui est différent selon la plage considérée.

- 26- *Question de F. Ardhuin (SHOM Brest) à N. Sénéchal et al. (Université de Bordeaux I)* : Les différences de cohérence entre les directions longshore et cross-shore de l'énergie infragravitaire peut-elle venir de la nature « libre » ou « liée » des ondes ?

*Réponse :*

Sans réponse de la part des auteurs

- 27- *Questions de J. Bougis (Ingénieur-conseil, Opio) à N. Sénéchal et al. (Université de Bordeaux I)* : Les ondes infragravitaires ont des périodes de 20 à 100 s et une hauteur métrique. Dans un contexte bathymétrique plus large, quel est le lien entre ces phénomènes et l'excitation des seiches ? Quelle relation y a-t-il entre ces ondes et le spectre basses fréquences, issu des différences de pulsations des ondes bichromatiques ?

*Réponses :*

Sans réponse de la part des auteurs

- 28- *Questions de A. Clément (ECN Nantes) à P. Sergent et al. (CETMEF Compiègne)* : Il semble que la linéarisation consiste à représenter la somme du terme de Darcy et du terme de Forchheimer comme un terme unique de « type Darcy ». Est-ce bien pertinent pour, au final, comparer les approches Darcy et Forchheimer ? La propagation dans le milieu poreux étant dissipative, est-il raisonnable de rechercher une solution périodique en espace ?

*Réponses :*

Le principe est de résoudre un problème non-linéaire par la résolution d'une succession de problèmes linéaires (principe de linéarisation de Lorentz).

En ce qui concerne la dissipation, elle apporte en effet un biais à la recherche de valeurs – vecteurs propres. On fait en fait l'hypothèse que le secteur d'étude est suffisamment court pour que la houle ne soit pas amortie et que l'on puisse chercher un couple valeur propre – vecteur propre avec une hauteur de houle constante.

- 29- *Question de P. Le Hir (IFREMER Brest) à P. Sergent et al. (CETMEF Compiègne)* : L'approche est-elle applicable sur lit sableux (plages) ?

*Réponse :*

L'approche est effectivement applicable sur les lits sableux mais le terme de Darcy est alors prépondérant sur le thème de Forchheimer. De plus les effets de dissipation

par frottement sur le fond et surtout par déferlement dominant les effets de dissipation par percolation.