

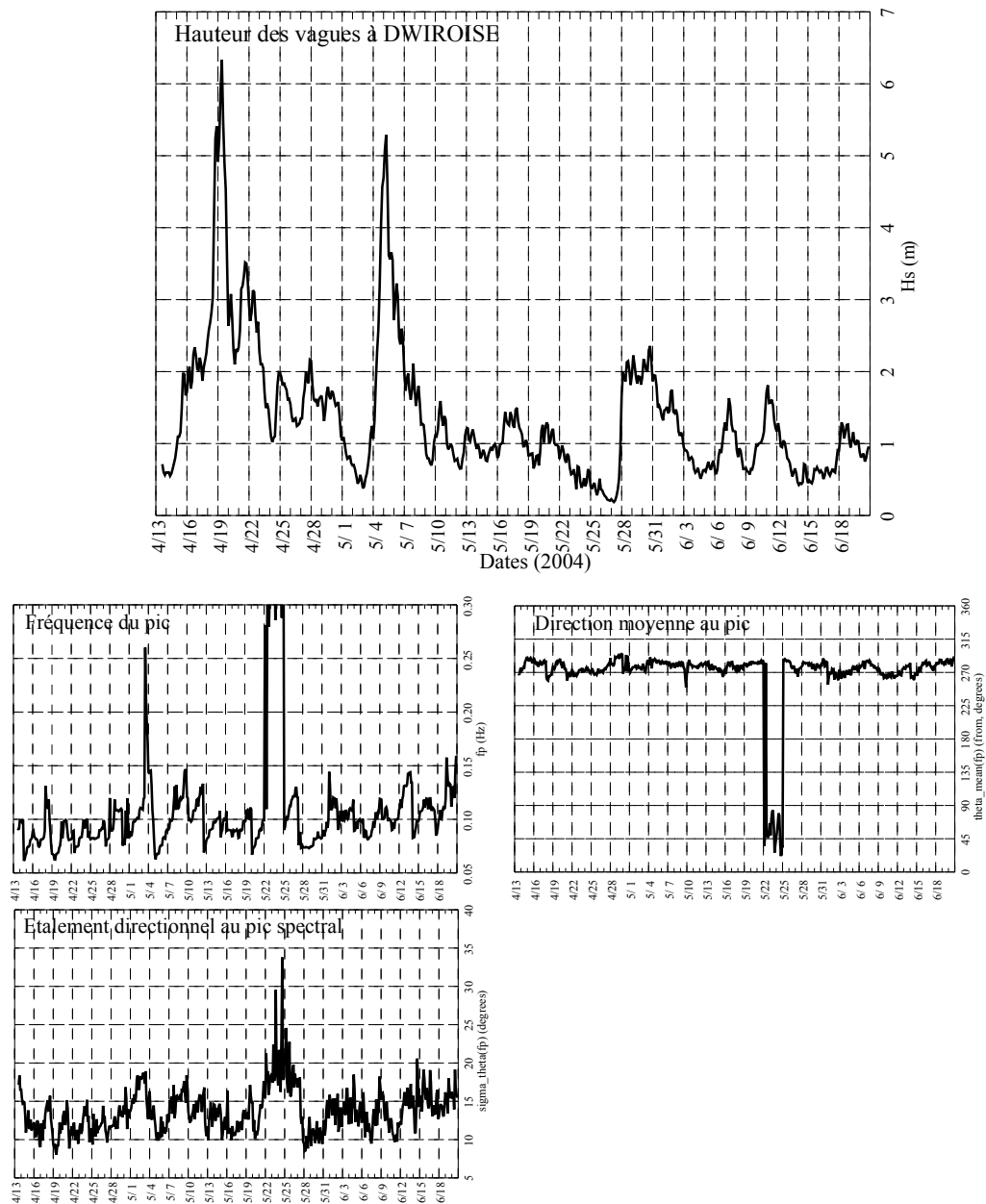


Fig. 1. Paramètres principaux lors de mesures au large de Crozon en 2005

## Vagues-hydrodynamique. TD1

Ces travaux dirigés s'appuient, pour les aspects théoriques, sur le document [waves\\_in\\_geosciences](#).

## 1 Spectre et superposition d'ondes sinusoidales

Dans cette partie nous utiliserons des mesures faites par une bouée ancrée au large de Hawaï (bouée numéro 51001, voir le site <http://www.ndbc.noaa.gov> pour plus de détails). L'intérêt de cette région du Pacifique est de montrer la superposition de différents trains de houle. On pourra refaire ensuite la visualisation et les calculs pour une bouée française, par exemple celle des Pierres Noires (numéro WMO 62069), au large de Brest, qui, elle présente des fortes variation de vagues causées par les courants. Pour une liste des bouées existantes et des résultats de modèle disponible sur le ftp de l'Ifremer, vous pouvez ouvrir avec google-earth le fichier <http://tinyurl.com/iowagaftp/HINDCAST/IOWAGA.WWATCH.MULTI.output.points.kmz>

On utilisera les fonctions matlab et données disponibles dans [http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD\\_ECN](http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD_ECN) pour lire et afficher un spectre. Le spectre représente la distribution de l'énergie des vagues sur différentes directions et fréquences.

Il s'agit d'utiliser le programme [http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD\\_ECN/spectrum\\_to\\_surface.m](http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD_ECN/spectrum_to_surface.m) pour lire un spectre et le visualiser. Cette version utilise des fichiers au format ASCII. Pour pouvoir lire des fichiers 'nc' (NetCDF) voir les commentaires dans le code. . Le programme calcule ensuite des amplitudes à partir du spectre et, avec des phases aléatoires, simule une surface en trois dimensions correspondant à ce spectre. Voir page 39 du cours pour le pas de temps 86.

- 1) Calculez puis affichez la direction moyenne des vagues en fonction de la fréquence (eq. 3.27) puis l'étalement directionnel ?
- 2) On peut remarquer la présence de plusieurs trains de houle. Comment filtrer le spectre pour ne sélectionner qu'une houle? Représenter une surface de mer ne contenant qu'une seule houle puis la mer du vent seule.

## 2 Analyse de données réelles: mesures d'un houlographe Datawell directionnel au large de Crozon, mai 2004

Le programme `anavague1.m` réalise l'analyse des données du 5 mai 2004 à 6h09 UTC (le nom de fichier est défini par `name=['2004-05-05_06h09.raw']` en ligne 27. D'autres fichiers sont disponibles dans le répertoire `DATA`, présentant des états de mers variés (houle longue le 5 mai, mer croisée le 23 mai...).

Le programme effectue une lecture des données puis affiche plusieurs résultats

intermédiaires (avec une pause à chaque fois: en appuyant sur une touche le programme continue).

les données sont des séries temporelles de déplacements  $x, y$ , et  $z$  en centimètres, la première colonne est un indicateur d'erreur, le tout échantillonné à 1,28 Hz.

Le principe de l'analyse est la décomposition des 2304 mesures consécutives en un ensemble d'échantillons de longueur `nfft` (initialement `nfft=256`). La moyenne des spectres permettant d'obtenir un spectre moins bruité. Les données initiales  $x, y, z$  sous forme de vecteur sont donc transformée en une matrice de taille `nfft`×`NS`. La transformée de Fourier est ensuite appliquée ligne par ligne.

En plus des spectres, les co-spectres sont aussi calculés entre les différentes quantités (voir chapitre 16), ce qui permet ensuite de trouver des paramètres directionnels.

On suivra donc le détail du calcul qui amène, in fine, au calcul des moments directionnels  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$ . Ensuite la méthode statistique du maximum d'entropie est utilisée (programme `MEM_calc.m` pour estimer la distribution angulaire de l'énergie. Cette méthode produit un spectre directionnel dont les moments sont bien  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$ , et qui est le plus étroit possible. Cette méthode donne de bons résultats pour des spectres avec un ou deux pics directionnels... au delà il n'y a pas assez d'information dans les observations.

### 3 Spectres modélisés: validation et utilisation

On va examiner les résultats de différentes versions du modèle WAVEWATCH III. On travaille désormais avec des spectres en fonction de la fréquence. On dispose de trois simulations

- `mww3.51001_freq.dat` : simulation sur une grille régulière à  $0.5^\circ$  de résolution utilisant les vents analysés du Centre Européen (ECMWF) et le paramétrage physique de Bidlot et al. (2005).
- `mww3.51001_freq_MULTI.dat` : simulation multi-grilles ( $0.5$  et  $0.17^\circ$  dans le Pacifique), utilisant les analyses ECMWF et le paramétrage de Ardhuin et al. (2010).
- `mww3.51001_freq_MULTI_CFSR.dat` : simulation multi-grilles ( $0.5$  et  $0.17^\circ$  dans le Pacifique), utilisant les vents du Climate Forecast System Reanalysis (Saha et al. 2010), et le paramétrage de Ardhuin et al. (2010).

Ces trois simulations seront comparées aux mesures de la bouée 51001, contenues dans le fichier `NDBC_51001_2008_fw3_avg3h_freq.obs`. On note que les

mesures de directions ne sont pas correctes avant le 26 aout.

On pourra utiliser et adapter le programme

[http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD.ECN/model\\_validation.m](http://tinyurl.com/iowagaftp/pub/COURS/TD.ECN/model_validation.m)

1) Comment les trois simulations se comparent-elles aux observations? Quels sont les biais (erreur moyenne) et l'erreur moyenne quadratique, la corrélation linéaire? Le changement de paramétrage est-il plus important en terme d'erreur que le changement de champ de vent? Quand est-ce que l'erreur est maximale pour la hauteur significative? Est-ce que cela est très différent dans les différentes simulations?

2) Les erreurs peuvent être très différentes pour différentes bandes de fréquence. La bouée est de type 'disque' de 3 mètres de diamètre. On peut considérer que ses mesures sont correctes jusqu'à une fréquence de 0.4 Hz (soit une longueur d'onde de 10 m).

Estimez les erreurs sur des hauteurs 'filtrées', en limitant l'intégration sur des bandes de fréquence 0 à 0.08 Hz, 0.08 à 0.2 Hz et 0.3 à 0.4 Hz. Commentez les résultats: la houle est-elle mieux représentée par tel ou tel paramétrage? Qu'en es-t-il de la partie haute fréquence du spectre?

Calculez ensuite les périodes moyennes  $T_{m0,2}$  et estimez les erreurs du modèle.

4) Contexte global et autres sites.

Les erreurs estimées au 1) sont-elles cohérentes avec la validation présenté sur les pages du site web iowaga?

<http://wwz.ifremer.fr/iowaga/News/swell-dissipation>

Peut-on s'attendre à des erreurs plus fortes ou plus faibles sur les côtes Atlantiques françaises? Et en Méditerranée? Pourquoi?

à comparer avec les cartes et courbes sur le site Prévimer,

<http://www.previmer.org/previsions/vagues/>.

5) Autre site, autre paramètre.

Calculez le paramètre de votre choix, cf

[https://forge.ifremer.fr/plugins/mediawiki/wiki/ww3/index.php/En:parametres\\_en\\_sortie](https://forge.ifremer.fr/plugins/mediawiki/wiki/ww3/index.php/En:parametres_en_sortie) à l'endroit de votre choix, et interprétez le résultat. Les rejeux à l'échelle globale sont dans <http://tinyurl.com/iowagaftp/HINDCAST/GLOBAL>

6) Propriétés directionnelles Les fichiers données et modèle contiennent aussi la direction moyenne et l'étalement directionnel, ce sont les deux premiers champs dans Edir\_\*. Si vous avez le courage, vous pouvez y jeter un oeil.

## 4 Récréation: calcul de la cinématique des vagues linéaires...

Utiliser l'applet <http://www.coastal.udel.edu/faculty/rad/linearplot.html> de R. A. Dalrymple. Cette application calcule les propriétés de vagues d'Airy. Attention toutefois, le déplacement des particules n'est calculé qu'à l'ordre 1, et il n'y a donc pas de dérive.

- visualiser le mouvement de vagues de 1 m de hauteur, 5 s de période par 10 m de fond (valeurs par défaut). - arrêter l'animation et augmenter la période à 10 s, puis 20 s, et revenir à 3 s. Quelles sont les changements qualitatifs du mouvement. - Augmenter la période à 12h et 30 minutes: on trouve la cinématique de l'onde de Kelvin le long d'une côte rectiligne placée sur l'axe ( $Ox$ ). En effet comme  $v = 0$  à la côte, la force de Coriolis n'intervient pas dans l'équilibre des forces dans la direction, et la cinématique de l'onde est celle d'une onde de gravité comme les vagues.

- Pour une période et une amplitude fixe (10 s), décrire quantitativement les variations de vitesse lorsque la profondeur diminue, par exemple de 20 à 3 m.

## 5 Vagues et groupes: visualisation

Afin de bien comprendre l'effet de la dispersion et la nature des groupes, utiliser le programme <http://www.coastal.udel.edu/faculty/rad/superplot.html> pour visualiser le mouvement associé aux groupes. Les valeurs par défaut (périodes de 2.9 et 3 s) donnent des groupes très longs. Si vous accélérez le mouvement en cliquant plusieurs fois sur "calculate", qu'arrive-t-il aux vagues qui sont à l'avant du groupe? Le groupe est-il plus lent ou plus rapide que les vagues?

En changeant les valeurs des périodes à 2.7 et 3.3 s on a une surface beaucoup moins régulière qui se rapproche plus d'une mer du vent (sauf que les crêtes sont toujours aussi arrondies ...)

## 6 Les vraies vagues ne sont pas tout à fait linéaires

Pour vérifier que la forme des vagues de forte amplitude est effectivement mal prévue par la théorie d'Airy, on peut lire le chapitre 13 (figure 13.2) ou utiliser <http://www.coastal.udel.edu/faculty/rad/streamless.html>

En changeant la hauteur à 5.3 m on peut faire le calcul (avec la théorie

d'ordre  $N = 10$ , par défaut) et varier ensuite l'ordre pour examiner l'effet de la meilleure approximation, de l'ordre 1 (théorie d'Airy) à l'ordre 30 par exemple. Avant chaque calcul, cliquer sur "Reset".

Le cadre de gauche affiche les coefficient du développement limité de la fonction de courant

$$\psi = \sum_{n=2}^N a_n \sinh[(n-1)k_0(z+h)] \cos[(n-1)k_0x] \quad (1)$$

avec  $k_0 = 2\pi/L$ . La longueur  $L$  est le Stream Function Coefficient 0.