

**CARAC**

**TÉRIS**

**TIQUES ET**

**MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE**

**ÉTAT**

**ÉCOLO**

**GIQUE**

# CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

## MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

JUIN 2012

### ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE Caractéristiques physiques États de mer et agitation sur le fond

Fabrice Ardhuin  
et Mickael Accensi  
(Ifremer, Brest).



## 1. REPRÉSENTATION DU CARACTÈRE ALÉATOIRE DES ÉTATS DE MER

Les états de mer – vagues et houles – sont la composante rapide de la dynamique océanique de surface, avec des périodes généralement inférieures à 25 s dans la région considérée. Ces états de mer ont pour conséquences : i) des élévations de la surface libre dont la variation, de crête à creux, peut dépasser 30 m, ii) des fluctuations de vitesse et de pression qui peuvent se faire ressentir jusqu’au fond, en fonction de la longueur d’onde des vagues, iii) une dérive moyenne. Cette liste n’est pas exhaustive. La présente synthèse traite essentiellement des hauteurs de vagues et des amplitudes d’agitation près du fond.

Les états de mer peuvent être considérés comme : i) une succession de vagues ou ii) une superposition de trains d’ondes de différentes périodes et directions. Dans les deux cas, il est indispensable de les décrire comme un phénomène aléatoire. On distingue alors des statistiques de court terme et de long terme.

Pour le court terme, ces statistiques sont valables sur une durée de quelques dizaines de minutes à quelques heures, durée pour laquelle les valeurs des variables physiques – élévation de la surface, vitesse, pression – sont essentiellement gaussiennes, du fait de la superposition d’un grand nombre de composantes indépendantes, avec de faibles déviations [1]. Ainsi, la hauteur significative est définie comme quatre fois la déviation standard de l’élévation de la surface, et on peut calculer les probabilités de dépassement de n’importe quelle valeur à partir d’une distribution gaussienne, prenant éventuellement en compte des corrections. En pratique, cela veut dire que la hauteur significative est nettement plus faible que la hauteur maximale et que cette hauteur maximale augmente avec la durée des observations. Par analogie, nous avons utilisé une amplitude significative de l’agitation sur le fond comme étant deux fois la déviation standard du module de la vitesse près du fond. Cette valeur correspond à la moyenne du tiers des amplitudes des vitesses les plus fortes. Cette échelle de vitesse est cohérente avec la mise en place de rides [2], mais elle doit être adaptée en fonction des applications. Cet aspect aléatoire est très important.

Au-delà de cette échelle de temps courte, les variances des différentes grandeurs évoluent dans le temps, et de nombreuses applications sont soucieuses de leurs valeurs extrêmes : houles décennales, centennales, etc. Ces valeurs extrêmes suivent généralement la théorie des valeurs extrêmes, et présentent une distribution de Gumbel généralisée [3]. Toutefois, à ces échelles de temps, il convient de prendre en compte les cycles quasi décennaux, comme l’oscillation nord-atlantique [4] et, peut-être, les tendances à long terme associées au changement climatique dont le signal est très faible pour les états de mer par rapport à la variabilité pluri-décennale [5].

## 2. SOURCE DES DONNÉES UTILISÉES

Afin de trouver un compromis entre la représentativité des paramètres et leur variabilité interannuelle, nous avons choisi d’illustrer la variabilité spatiale et l’ordre de grandeur des hauteurs et agitations sur le fond par les résultats des modèles numériques d’états de mer développés au SHOM, puis à l’Ifremer dans le cadre de IOWAGA [6]. Il s’agit du code de calcul WAVEWATCH III® [7], mis en œuvre dans des configurations à maillage régulier avec une résolution de 2 min, ainsi que, pour la mer d’Iroise, un maillage à éléments triangulaires de 12 000 nœuds avec une résolution de 150 m à la côte. Pour les autres zones côtières, les résultats des maillages irréguliers de résolution comparable n’étaient pas tous disponibles au moment de rédiger ce document, mais devraient l’être depuis 2012.

Ces modèles utilisent des paramétrages récents mais éprouvés [8] [9] [10] et ont été validés par une comparaison avec un grand nombre de mesures *in situ* [8] et spatiales [11] avant une calibration, en particulier pour les états de mer très forts. Les données brutes sont par ailleurs disponibles [12]. Le forçage de ces modèles utilise les analyses de vent de surface du Centre européen de prévision à moyen terme (CEPMMT). Le paramétrage du modèle de vagues a été adapté pour la Méditerranée [13] afin de compenser le biais des vents et la croissance relativement lente des vagues avec le paramétrage utilisé par ailleurs pour l’échelle globale.

### 3. VALIDATION ET CALIBRATION DE LA MODÉLISATION UTILISÉE

Les modèles ont tout d'abord été ajustés pour reproduire la variabilité spatio-temporelle des états de mer pour la prévision à court terme – 6 jours –, avec des biais faibles – moins de 20 cm pour la hauteur significative en Méditerranée occidentale. La comparaison avec les mesures altimétriques des satellites *Envisat*, *Jason-1*, *Jason-2*, et *Geosat Follow-On* permet de vérifier qu'il peut y avoir un biais négatif plus important en mer Ligure et au nord-est de la Corse – ce qui correspond généralement aux régions où le vent est plus fortement sous-estimé –, ainsi qu'entre Agde et Leucate, au débouché de la tramontane (figure 1) [14]. Dans ce dernier cas, le biais est surtout pour les vents de terre, et donc des hauteurs relativement faibles. Il est possible qu'un biais négatif de l'ordre de 10 % soit présent dans les hauteurs significatives pour les percentiles 90 et 99 en mer Ligure.

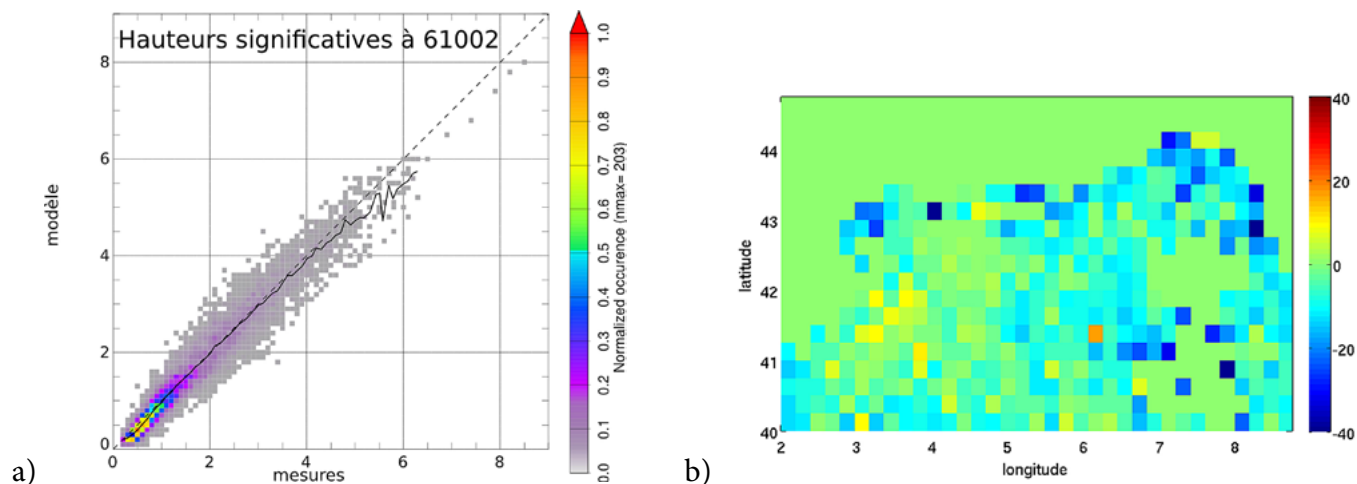


Figure 1 : (a) Diagramme de dispersion des erreurs entre les hauteurs de vagues modélisées et les mesures — moyennes sur 3 h — du 1<sup>er</sup> janvier 2007 au 31 décembre 2010 à la position de la bouée 61002 (42,1° N, 4,7° E). Mesures fournies par Météo-France et résultats de modèle de IOWAGA (12). Le trait plein relie les médianes des valeurs modèles pour chaque classe de valeur observée. (b) Carte des biais entre le modèle de résolution 6 min et les mesures altimétriques des satellites *Envisat*, *Jason-1*, *Jason-2* et *Geosat Follow-On* sur la période 2006-2009 (Sources : Ifremer, 2011).

Les états de mer moyens sont généralement faibles, du fait de la petite taille du bassin méditerranéen où les houles sont peu fréquentes et peu développées. Les états de mer les plus forts, en termes de hauteur, sont générés par les vents de secteur nord à nord-ouest – mistral et tramontane – et les hauteurs des percentiles 90 et 99 augmentent donc fortement de la côte vers le large, avec le fetch (figures 2a et 2b) [15]. Les états de mer les plus forts sur le littoral languedocien sont généralement associés à de forts vents d'est.

Les vitesses d'agitation près du fond, fortement influencées par la profondeur, augmentent depuis le rebord du talus continental jusqu'à la côte. Il faut savoir que la résolution horizontale du modèle utilisé ici, à savoir 3,5 km, est insuffisante pour étudier la frange littorale, où les vitesses d'agitation sont largement sous-estimées sur toutes les côtes rocheuses du Roussillon, de la Corse et de la Côte d'Azur. On peut noter que le percentile 99 dépasse les 15  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  pour les profondeurs < 30 m (figures 2c et 2d).

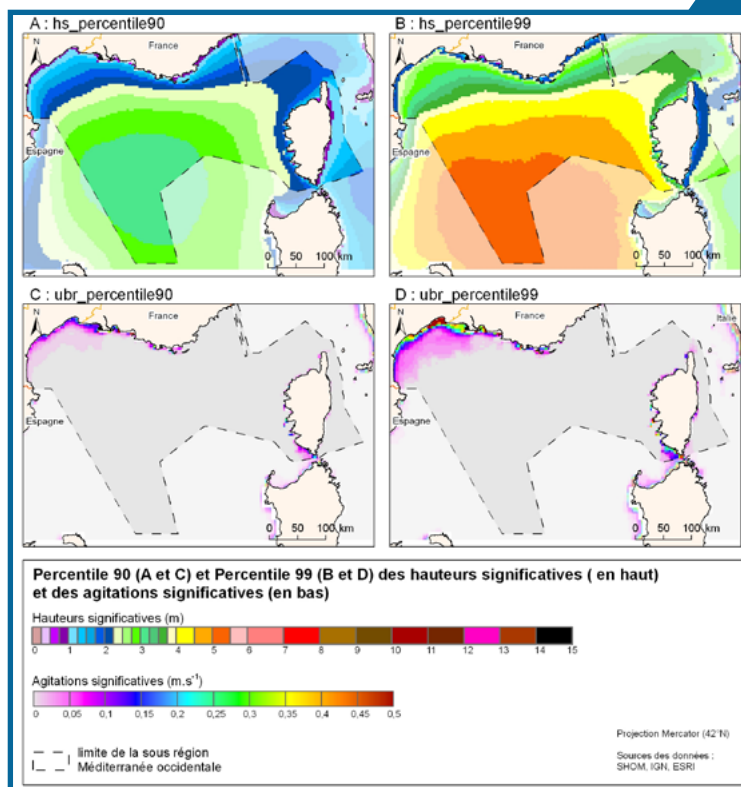


Figure 2 : Percentiles 90 et 99 des hauteurs significatives et des agitations significatives (Sources : SHOM, IGN, ESRI, 2011).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Tayfun A., 2006. Statistics of nonlinear wave crests and groups. *Ocean Engineering* vol. 33 pp. 1589–1622.
- [2] Traykovski P., Hay A.E., Irish J.D. et Lynch J.F., 1999. Geometry, migration, and evolution of wave orbital ripples at LEO-15. *J. Geophys. Res.*, vol. 104, pp. 1,505–1524.
- [3] Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P.J., Mansard E., Martín M.J., Peltier E., Thompson E.F., Van Vledder G., 1994. Recommended practice for extreme wave analysis, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 32, Issue 6, pp. 803 – 814.
- [4] Dodet G., Bertin X., Taborda R., 2010. Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades, *Ocean Modelling*, vol. 31, pp. 120–130.
- [5] Mori N., Yasuda T., Mase H., Tom T. et Oku Y., 2010. Projection of Extreme Wave Climate Change under Global Warming, *Hydrological Research Letters*, 4, 15–19.
- [6] <http://wwz.ifremer.fr/iowaga>
- [7] Tolman H.L., 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III TM version 3.14, Tech. Rep. 276, NOAA/NWS/NCEP/MMAB.
- [8] Ardhuin F., Rogers E., Babanin A., Filipot J.-F., Magne R., Roland A., van der Westhuysen A., Queffelec P., Lefevre J.-M., Aouf L. et Collard F., 2010. Semi-empirical dissipation source functions for wind-wave models : part I, definition, calibration and validation, *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 40, no. 9, pp. 1917–1941.
- [9] Ardhuin F., Tournadre J., Queffelec P. et Girard-Ardhuin F., 2011. Observation and parameterization of small icebergs : drifting breakwaters in the southern ocean, *Ocean Modelling*.
- [10] Ardhuin F., Stutzmann E., Schimmel M. et Mangeney A., 2011. Ocean wave sources of seismic noise, *J. Geophys. Res.*, vol. 115.
- [11] Queffelec P. et Croizé-Fillon D., 2010. Global altimeter SWH data set, version 7 tech. rep., Ifremer. <http://tinyurl.com/2cj5sez>
- [12] Serveur ftp de l'Ifremer, projet IOWAGA. <http://tinyurl.com/yetsofy>
- [13] Magne R., Ardhuin F. et Roland A., 2010. Prévisions et jeux des états de mer du globe à la plage, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 14, pp. 149–162.
- [14] Ardhuin F., Bertotti L., Bidlot J.-R., Cavaleri L., Filipetto V., Lefevre J.-M. et Wittmann P., 2007. Comparison of wind and wave measurements and models in the western Mediterranean sea, *Ocean Eng.*, vol. 34, pp. 526–541.
- [15] Hauser D., Branger H., Bouffies-Cloche S., Despiau S., Drennan W.M., Dupuis H., Durand P., Durrieu de Madron X., Estournel C., Eymard L., Flamant C., Graber H.C., Guerin C., Kahma K., Lachaud G., Lefevre J.-M., Pelon J., Pettersson H., Pigué B., Queffelec P., Tailliez D., Tournadre J. et Weill A., 2003. The FETCH experiment : An overview, *J. Geophys. Res.*, vol. 108, pp.8053.