



20 ans de rejoux d'états de mer à haute résolution sur les côtes méditerranéennes françaises

Thomas FAIDHERBE¹, Guiomar LOPEZ^{1,2}, Laurent LEBALLEUR¹,
Héloïse MICHAUD³, Marc PEZERAT¹

1. Shom, 13 rue du Chatelier, 29200 Brest, France.
thomas.faidherbe@shom.fr ; laurent.leballeur@shom.fr ; marc.pezerat@shom.fr
2. Sistema de Observación y Predicción Costera de las Islas Baleares (SOCIB), Parc Bit,
Palma de Mallorca, 07122, Espagne.
glopez@socib.es
3. Shom Toulouse, 42 avenue Gustave Gaspard Coriolis, 31100 Toulouse, France.
heloise.michaud@shom.fr

Résumé :

Afin d'accompagner le développement de l'éolien en mer Méditerranée, le Shom a été chargé par la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) des études préliminaires de caractérisation de sites et de dérisquage quant aux conditions d'états de mer. Dans le but d'obtenir des données sur les zones identifiées pour l'implantation d'éoliennes, et sur des périodes suffisamment longues pour permettre une étude statistique fiable, la modélisation numérique est utilisée pour compléter les observations d'états de mer sporadiques.

Un rejeu numérique a ainsi été réalisé à partir d'une configuration à haute résolution (~200 m à la côte) des côtes méditerranéennes françaises. Il est basé sur le modèle spectral d'états de mer WAVEWATCH III[®], et couvre une période de 20 ans (2003-2022).

Le maillage et la bathymétrie ont été construits dans le cadre du projet HOMONIM (Historique Observation MODélisation des Niveaux Marins). Le rejeu est forcé par la réanalyse atmosphérique ERA5, produite par le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF). La réanalyse ERA5 présente une résolution spatiale d'environ 30 km, pour des échéances horaires.

Le rejeu devrait être accessible librement en début d'année 2025. Il constitue pour la communauté scientifique une source de données importante pour l'étude des états de mer sur la façade méditerranéenne française.

Mots-clés :

Eolien en mer, Modélisation numérique, Rejeu d'états de mer, Façade méditerranéenne française, Vagues, Statistiques.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

1. Présentation du rejeu

Le rejeu d'états de mer sur la façade méditerranéenne française est basé sur le modèle spectral à phase moyennée de troisième génération WAVEWATCH III® v-6.07.1 (THE WAVEWATCH III® DEVELOPMENT GROUP, 2019). Il couvre 20 années, de 2003 à 2022. Cette partie s'attache à présenter ses principales caractéristiques.

1.1 La grille de calcul

La grille de calcul (Figure 1) est celle utilisée de façon opérationnelle par Météo-France dans le cadre de la Vigilance Vagues-Submersion (MICHAUD *et al.*, 2015). Elle couvre les côtes méditerranéennes françaises, du golfe du Lion à l'est à la mer Ligure à l'ouest, en incluant la Corse et le nord de la Sardaigne. Elle a pour extension 40°45'N - 44°30'N et 3°E - 11°45'E. Elle est caractérisée par un maillage non-structuré comportant 166 663 éléments triangulaires et 89 695 points de calcul.

Elle a été réalisée par le Shom, en partenariat avec Météo-France, dans le cadre du projet HOMONIM (Historique Observation MODélisation des Niveaux Marins). Elle permet un raffinement dans les zones de faible profondeur ou de fort gradient bathymétrique, atteignant ainsi une résolution d'environ 200 m à la côte, et entre 700 m et 1000 m dans les zones d'intérêt pour l'éolien en mer. Elle s'appuie en outre sur une bathymétrie à 500 m de résolution pour la zone hauturière, et sur une bathymétrie raffinée à 100 m de résolution dans la zone côtière.

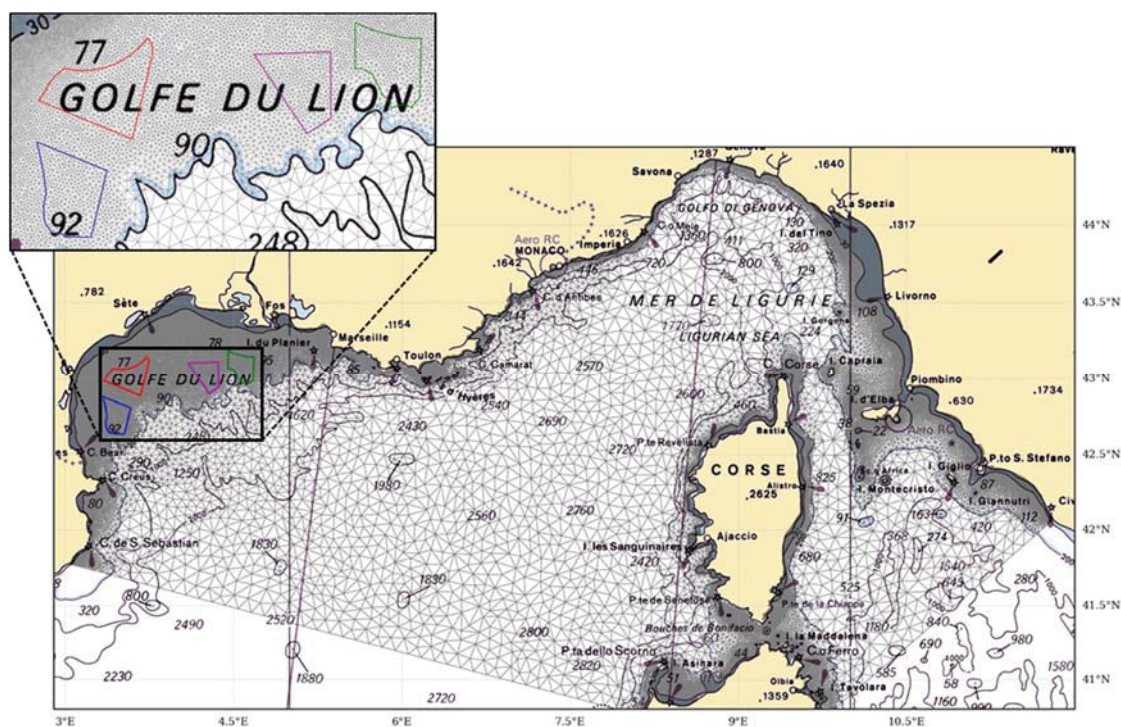


Figure 1. Maillage du modèle superposé à la carte marine Shom 7081.

En haut à gauche, un zoom du golfe du Lion avec 4 zones d'intérêt pour l'éolien en mer.

1.2 La discrétisation spectrale

Dans le modèle WAVEWATCH III[®], le spectre d'état de mer a été discrétisé en 24 directions linéairement réparties tous les 15°, et en 30 fréquences f_i exponentiellement réparties de $f_{\min} = 0,05$ Hz ($T_{\max} = 20$ s) à $f_{\max} = 0,7932$ Hz ($T_{\min} \approx 1,26$ s) telles que :

$$\forall i \in [1 ; 30], f_i = 1,1^{i-1} f_{\min} \quad (1)$$

1.3 Les paramétrisations physiques

Le package de termes source ST6 (ROGERS *et al.*, 2012 ; ZIEGER *et al.*, 2015) a été utilisé car il a démontré sa bonne capacité à simuler le développement rapide de vagues générées par des vents forts sur des fetch courts, comme le Mistral ou la Tramontane (VALIENTE *et al.*, 2021).

Une des principales particularités des paramétrisations ST6 est que le terme source de génération des vagues par le vent est une fonction non-linéaire du spectre d'état de mer, avec un taux de croissance dépendant de la cambrure des vagues, et donc du spectre lui-même. Les autres caractéristiques incluent une croissance des vagues diminuant en conditions de vents très forts, du fait du décollement de la couche limite atmosphérique à l'interface avec l'océan, et un terme source de génération des vagues par le vent augmentant pour des vagues déferlantes. En ce qui concerne la dissipation de l'énergie des vagues, en plus de celle induite par le déferlement, ST6 inclut un terme de dissipation cumulatif, et un terme lié à la génération de la turbulence par les vagues.

Pour ce jeu, la paramétrisation utilisée pour la croissance des vagues (DONELAN *et al.*, 2006 ; ROGERS *et al.*, 2012) a toutefois été adaptée en optimisant le coefficient de croissance des vagues de vent $CDFAC$ à 1,43 afin de représenter au mieux les paramètres d'états de mer sur la façade méditerranéenne française.

Par ailleurs, le paramètre $SINA0$, qui contrôle l'énergie des vagues se propageant dans la direction opposée au vent, a été ajustée à 0,06 (0,09 par défaut). La valeur du paramètre de dissipation de la houle $SWLBI$ a aussi été modifiée de 0,0041 à 0,002.

Finalement, les interactions entre quadruplets de vagues ont été paramétrées selon l'approche proposée par (HASSELMANN & HASSELMANN, 1985), qui constitue une approximation acceptable, pour un coût de calcul raisonnable.

1.4 Le forçage atmosphérique

Les champs de vent utilisés pour le forçage du modèle WAVEWATCH III[®] sont issus de la réanalyse ERA5 (HERSBACH *et al.*, 2023) produite par le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF).

La réanalyse ERA5 est connue pour sous-estimer les vents très forts (ALDAY *et al.*, 2021). Bien qu'une partie de cette sous-estimation puisse être partiellement corrigée par la paramétrisation du terme de croissance des vagues (LECKLER *et al.*, 2013), une augmentation très importante de ce paramètre peut induire une surestimation des états de mer modaux. Pour cette raison, les vents les plus forts ont été calibrés par rapport aux

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

mesures de la bouée Lion, opérée par Météo-France, et située au large du golfe du Lion (Figure 3). La correction appliquée s'inspire de celle utilisée dans (ALDAY *et al.*, 2021). La vitesse des vents supérieure à 19 m/s a ainsi été augmentée de 10%.

1.5 Les conditions aux limites

Le modèle a été forcé au large (voir Figure 1) par un rejeu d'états de mer issu de l'implémentation du même modèle sur une grille de calcul régulière couvrant toute la mer Méditerranée, à une résolution spatiale de 6' (environ 10 km).

1.6 Les dates rejouées

Le rejeu s'étend de 2003 à 2022. Les sorties du modèle sont archivées à une fréquence horaire pour chacun des points de la grille de calcul (paramètres spectraux intégrés), et à une fréquence de 30 minutes pour les spectres d'état de mer en certains points d'intérêt comme les bouées méditerranéennes du réseau CANDHIS (Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ) maintenues par le Cerema.

2. Validation du rejeu

Cette partie présente les résultats de la validation du rejeu numérique par comparaison, d'une part, à des observations satellitaires, et d'autre part, aux observations de deux bouées houlographes (Lion et Nice) opérées par Météo-France, ainsi qu'à celles des bouées méditerranéennes du réseau CANDHIS. Comme indiqué à la section 1.4, les données de la bouée Lion ont également été utilisées pour calibrer les vents de la réanalyse ERA5. En revanche, les observations satellitaires et celles réalisées par le reste des bouées constituent des données de validation indépendantes.

2.1 Validation par comparaison à des observations satellitaires

La base de données altimétriques *ESA Sea State Climate Change Initiative version 3* de l'agence spatiale européenne a été utilisée pour la validation du rejeu (PIOLLE *et al.*, 2022). La période comprise entre 2003 et 2021 a été considérée. Les données ont été exploitées après une inter-calibration des altimètres embarqués sur les différents satellites, et un dé-bruitage basé sur une technique développée dans (QUILFEN & CHAPRON, 2020). Pour chaque valeur de hauteur significative de vagues H_s donnée par la mesure altimétrique, la valeur de H_s colocalisée sous la trace du satellite au même instant a été extraite des résultats du modèle WAVEWATCH III[®]. Afin de minimiser le bruit présent dans les observations, une moyenne a ensuite été réalisée en latitude et longitude, tous les 0,5 degrés (QUARTLY & KUREKIN, 2020).

La Figure 2 présente les résultats de la comparaison entre le modèle et les observations satellitaires sur une région réduite au golfe du Lion, comprise entre 42,3°N - 43,3°N et 3°E - 5,5°E. La Figure 2a fournit le biais du modèle, l'erreur *RMSE* ainsi que l'indice de dispersion *SI* en fonction des valeurs de H_s issues des satellites. Les intervalles utilisés

pour le calcul sont de 0,5 m, et les résultats sont affichés à la borne inférieure de chaque intervalle. La Figure 2b donne la distribution des H_s observées et modélisées pour des intervalles de 0,5 m. Enfin, la Figure 2c représente le diagramme de dispersion des H_s observées et modélisées, ainsi que les scores associés.

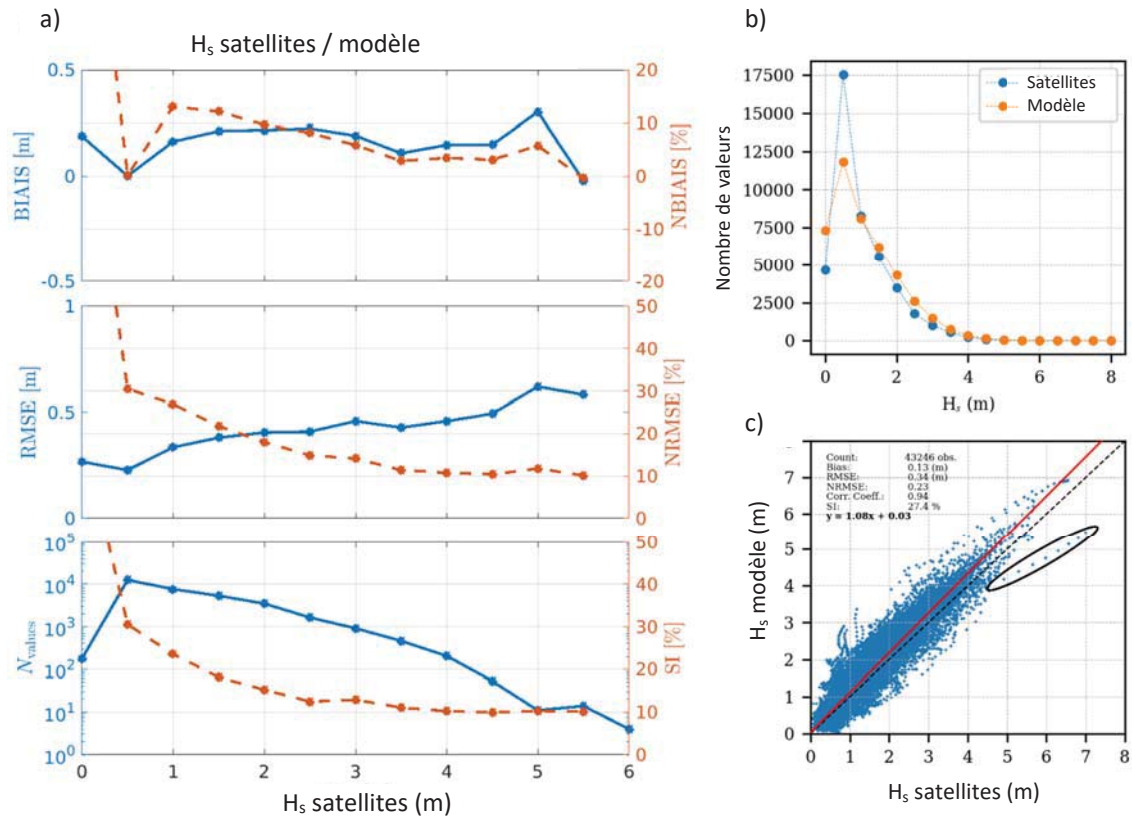


Figure 2. Résultats statistiques de la comparaison entre le rejeu et les observations satellitaires dans la région comprise entre $42,3^{\circ}\text{N}$ - $43,3^{\circ}\text{N}$ et 3°E - $5,5^{\circ}\text{E}$.

Sur la Figure 2a, on peut observer un léger biais positif du modèle, d'environ 5% pour les H_s supérieures à 3,5 m, et qui ne dépasse pas les 12%, excepté pour les H_s inférieures à 0,5 m. Les erreurs $RMSE$ sont autour de 0,5 m. L'indice de dispersion est d'environ 10% pour les H_s supérieures à 2,5 m, et augmente pour les états de mer moins énergétiques.

La Figure 2b illustre quant à elle une forte similitude des distributions des H_s observées et modélisées, à partir de 1 m. En dessous de cette valeur, les satellites mesurent plus fréquemment que le modèle des H_s comprises entre 0,5 m et 1 m, et inversement pour les H_s inférieures à 0,5 m. Ces résultats doivent néanmoins être interprétés avec prudence, étant donné la réduction de la précision des données altimétriques pour les hauteurs significatives de vagues inférieures à 0,75 m (DODET *et al.*, 2021).

Finalement, on peut constater sur la Figure 2c que la corrélation entre les H_s observées et modélisées est en général très satisfaisante (corrélation : 0,94 ; biais : 13 cm ; RMSE :

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

34 cm ; régression linéaire : 1,08 ; SI : 27%), avec des hauteurs légèrement plus élevées simulées par le modèle. Les H_s présentant les différences les plus significatives sont celles identifiées par une ellipse noire. Les points à l'intérieur de l'ellipse correspondent aux mesures réalisées par le satellite SARAL sur sa trajectoire du 5 mars 2015, pendant la tempête Anton. La comparaison des vents issus de la réanalyse ERA5 avec ceux mesurés par la bouée Lion indique que la durée de la tempête est plus courte dans la réanalyse que dans la réalité : les vents soutenus ne durent pas assez longtemps, ce qui semble être à l'origine de la sous-estimation des H_s par le modèle.

2.2 Validation par comparaison aux mesures de bouées houlographes

Les observations des bouées méditerranéennes du réseau CANDHIS ainsi que celles des deux bouées Lion et Nice opérées par Météo-France ont été utilisées pour valider le rejeu. La période considérée pour cette validation s'étend de 2003 à 2021. Elle couvre donc 19 des 20 années rejouées. Seuls les résultats pour la hauteur significative de vagues H_s sont présentés ici. La validation complète est toutefois disponible dans le rapport DGEC (LOPEZ *et al.*, 2023). La position des bouées considérées est donnée sur la Figure 3.

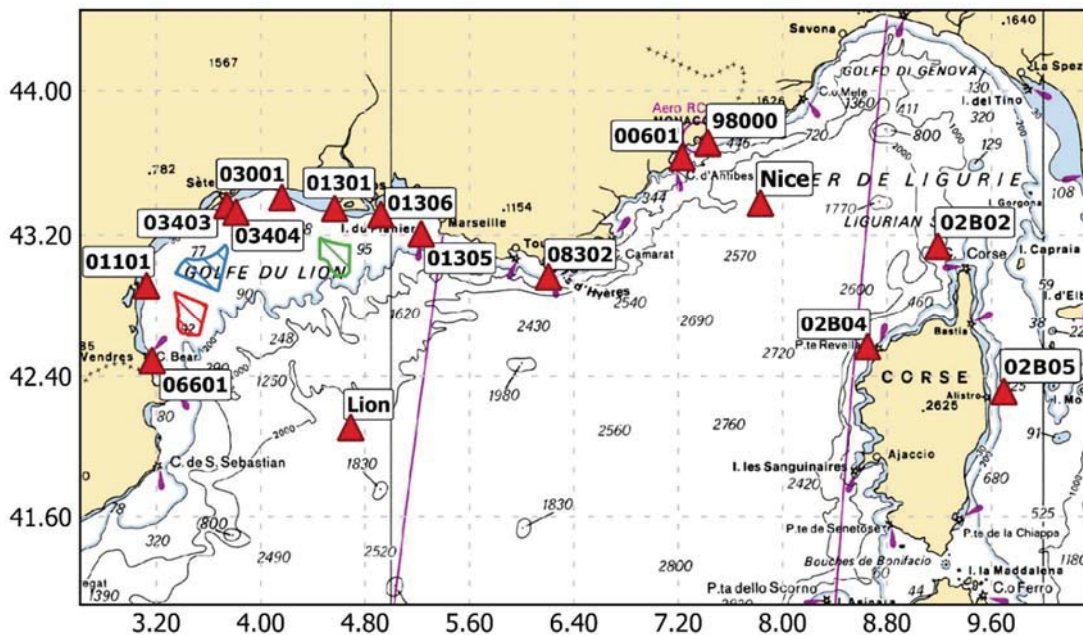


Figure 3. Position des bouées des réseaux CANDHIS et Météo-France (Lion et Nice).

Afin que la comparaison soit pertinente, les paramètres intégrés d'états de mer ont été calculés à partir des spectres simulés en utilisant la gamme de fréquences la plus similaire à celle utilisée par les instruments de mesure *in situ*. De cette manière, la bande fréquentielle comprise entre 0,05 Hz et 0,6 Hz a été utilisée pour comparer le modèle aux mesures des bouées du réseau CANDHIS d'une part. D'autre part, deux gammes

fréquentielles ont été utilisées pour les bouées Nice et Lion de Météo-France, puisqu'elles ont été remplacées respectivement en 2016 et 2015. Ainsi, les bandes fréquentielles utilisées sont 0,05 Hz - 0,38 Hz pour la première période, et 0,05 Hz - 0,6 Hz pour la seconde.

Le Tableau 1 présente les résultats de la validation pour la hauteur significative de vagues, et fournit notamment la moyenne des H_s modélisées $\overline{X_{mod}}$, la moyenne des H_s observées $\overline{X_{obs}}$, le biais, l'erreur $RMSE$, l'indice de dispersion SI , la pente de la droite de régression a , son ordonnée à l'origine b ainsi que le coefficient de la régression linéaire R .

Tableau 1. Scores des H_s modélisées par comparaison aux observations des bouées méditerranéennes des réseaux CANDHIS et Météo-France (Lion et Nice).

<i>Code campagne</i>	$\overline{X_{obs}}$ (m)	$\overline{X_{mod}}$ (m)	Biais (m)	$RMSE$ (m)	$NRMSE$	SI (%)	a	b (m)	R
00601	0,69	0,77	0,08	0,26	0,30	38,40	1,03	0,06	0,91
01101	0,66	0,65	-0,02	0,22	0,26	33,05	0,94	0,02	0,92
03403	0,74	0,78	0,04	0,24	0,23	32,48	1,04	0,01	0,96
03404	0,61	0,70	0,08	0,23	0,28	37,81	0,97	0,10	0,92
03001	0,69	0,77	0,08	0,22	0,26	32,81	0,96	0,11	0,93
01301	0,67	0,75	0,08	0,22	0,27	33,02	0,98	0,09	0,91
01305	0,90	0,99	0,09	0,27	0,25	29,75	1,06	0,04	0,93
01306	0,72	0,86	0,14	0,30	0,34	41,13	0,98	0,15	0,88
08301	1,26	1,15	-0,10	0,43	0,29	34,36	0,87	0,05	0,87
08302	1,03	1,18	0,15	0,35	0,28	34,45	1,08	0,06	0,93
00601	0,58	0,56	-0,02	0,21	0,30	35,53	1,00	-0,02	0,88
98000	0,67	0,61	-0,05	0,26	0,32	39,03	0,80	0,08	0,84
02B02	1,64	1,50	-0,14	0,48	0,24	29,35	0,87	0,07	0,92
02B04	1,10	1,19	0,09	0,33	0,23	30,05	1,01	0,08	0,94
02B05	0,61	0,59	-0,02	0,29	0,37	48,19	0,86	0,07	0,83
Nice	1,05	1,04	-0,01	0,29	0,23	27,97	1,13	-0,14	0,95
Lion	1,62	1,61	-0,01	0,31	0,15	19,34	0,99	0,01	0,97

Les résultats de la comparaison aux observations des bouées hauturières de Météo-France Lion et Nice montrent une très bonne capacité du rejeu à reproduire les caractéristiques des états de mer au large des côtes méditerranéennes françaises. Les résultats de la comparaison entre le modèle et la bouée Lion sont excellents, et les seules différences notables entre les deux ont été identifiées comme étant le résultat d'inexactitudes dans les données de vent issues de la réanalyse ERA5, notamment pendant une tempête en janvier 2015, mal représentée dans la réanalyse. La comparaison entre le rejeu et la bouée Nice,

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

elle aussi ancrée en eaux profondes, mais plus proche de la côte que la bouée Lion, est en outre très satisfaisante. Cependant, une légère réduction des valeurs de corrélation, ainsi que des indices de dispersion plus importants, démontrent la plus grande complexité de la modélisation des vagues dans des zones entourées par une orographie complexe.

Les résultats de la comparaison du rejeu aux observations des bouées du réseau CANDHIS montrent par ailleurs une bonne capacité du modèle à reproduire les caractéristiques des états de mer dans la zone côtière. Les comparaisons indiquent des hauteurs significatives simulées très similaires en moyenne aux mesures, avec un biais en général négligeable et des coefficients de corrélation au-dessus de 0,9 pour la majorité des bouées.

3. Application à la caractérisation de sites éoliens en mer Méditerranée

Le rejeu d'états de mer présenté dans cet article a été utilisé par le Shom dans le cadre des études préliminaires de caractérisation de sites éoliens en mer Méditerranée confiées par la DGEC. Ce rejeu de 20 ans permet notamment de caractériser les états de mer moyens et extrêmes dans les futures zones d'implantation d'éoliennes, ainsi que les variations saisonnières des conditions d'états de mer.

Les Figures 4, 5 et 6 donnent des exemples des statistiques produites dans le cadre de ces études de caractérisation de sites éoliens. La Figure 4 est une carte des H_s moyennes simulées dans le golfe du Lion sur la période 2003-2022. La Figure 5 illustre en outre un corrélogramme hauteur significative de vagues H_s / période moyenne $T_{m0,2}$ pour un point A particulier d'une zone étudiée en mer Méditerranée (à gauche), ainsi que la distribution associée des H_s en fonction de la direction moyenne de provenance des vagues (à droite).

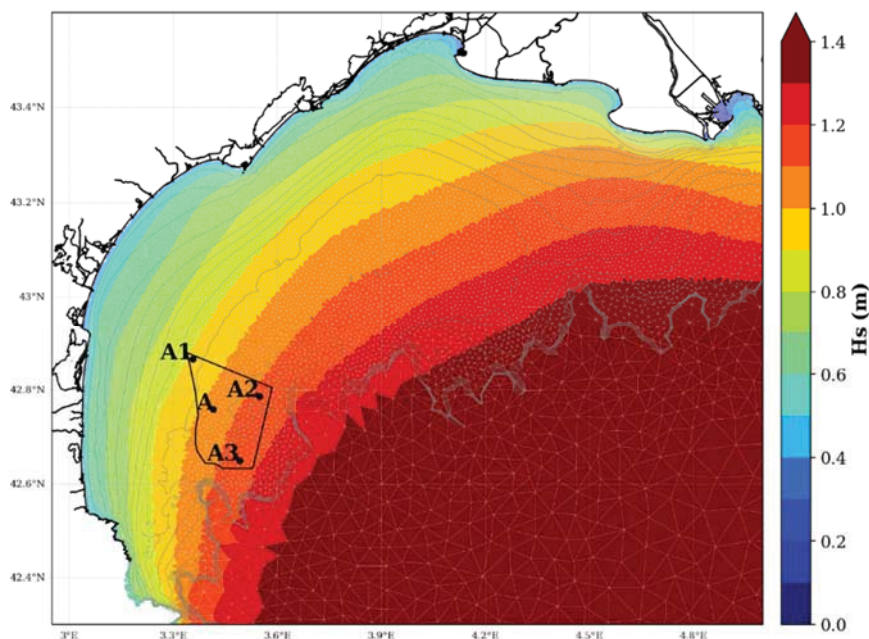


Figure 4. Carte des H_s moyennes modélisées dans le golfe du Lion.

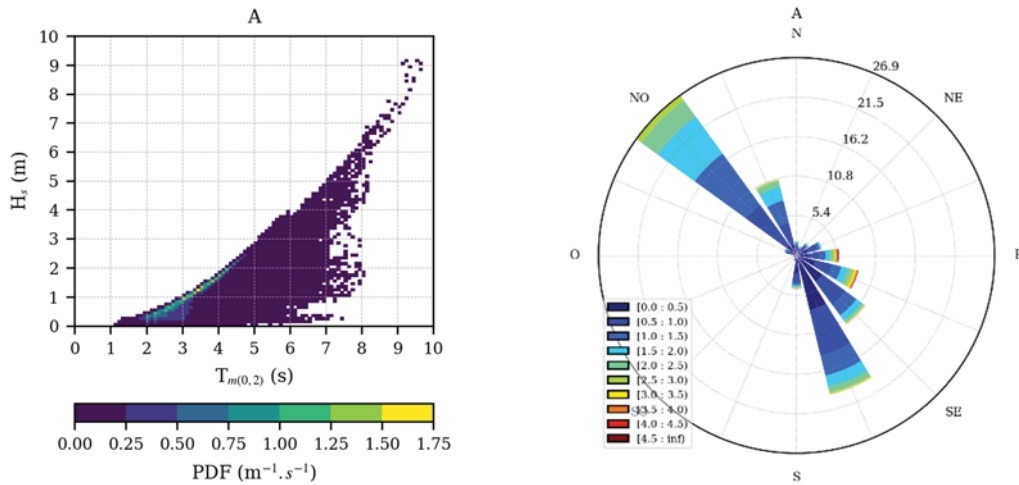


Figure 5. Corrélogramme $H_s / T_{m0,2}$ (à gauche) et rose des vagues (à droite) pour un point A particulier d'une zone étudiée en mer Méditerranée.

Enfin, la Figure 6 représente les variations mensuelles des H_s au même point A (à gauche), ainsi que l'ajustement d'une loi de Pareto généralisée aux H_s supérieures à un seuil de tempête convenablement choisi (à droite). Les hauteurs significatives extrêmes des vagues associées à différentes périodes de retour peuvent ainsi être obtenues.

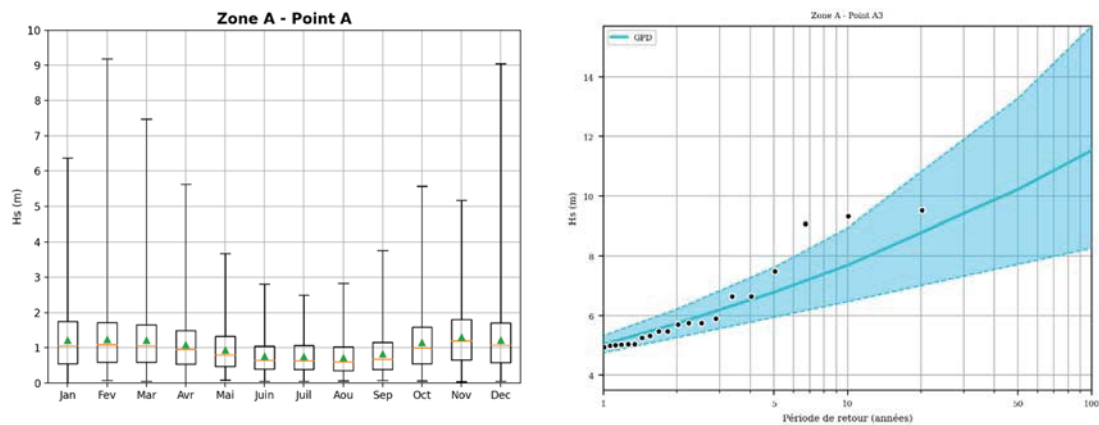


Figure 6. Variations mensuelles des H_s au point A (à gauche) et ajustement d'une loi de Pareto généralisée aux H_s supérieures à un seuil de tempête (à droite).

4. Conclusions

Le jeu d'états de mer présenté dans cet article a été réalisé à l'aide du modèle spectral WAVEWATCH III[®] à partir d'une configuration à haute résolution des côtes méditerranéennes françaises. Il couvre la période de 2003 à 2022, et a été validé en utilisant différentes sources d'observation : satellites altimétriques et bouées houlographiques. Les résultats de la validation démontrent la bonne capacité du jeu à

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

reproduire les propriétés statistiques des états de mer sur la façade méditerranéenne française, avec notamment de très bons résultats en ce qui concerne les hauteurs significatives de vagues.

Ce jeu d'états de mer permet au Shom de caractériser les conditions moyennes et extrêmes au sein des futures zones d'implantation d'éoliennes en mer Méditerranée, dans le cadre des études préliminaires de caractérisation de sites et dérisquage confiées par la DGEC. Il devrait être accessible librement en début d'année 2025.

5. Références bibliographiques

ALDAY M., ACCENSI M., ARDHUIN F., DODET G. (2021). *A global wave parameter database for geophysical applications. Part 3: Improved forcing and spectral resolution*. Ocean Modelling, Vol. 166. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101848>

DODET G., PIOLLE J.-F., PASSARO M., QUARTLY G., QUILFEN V., ARDHUIN F. (2021). *Recent developments in multi-mission altimeter sea state products: the ESA CCI dataset v2*. Sea State CCI 2nd User Consultation Meeting - March 23-25 2021.

https://climate.esa.int/media/documents/UCM2_poster_Dodet_CCIv2.pdf

DONELAN M.A., BABANIN A.V., YOUNG I.R., BANNER M.L. (2006). *Wave-follower field measurements of the wind-input spectral function. Part II: Parameterization of the wind input*. Journal of Physical Oceanography, Vol. 36, pp 1672-1689. <https://doi.org/10.1175/JPO2933.1>

HASSELMANN S., HASSELMANN K. (1985). *Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum. Part I: A new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral*. Journal of Physical Oceanography, Vol. 15, 1369-1377, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1985\)015<1369:CAPOTN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1985)015<1369:CAPOTN>2.0.CO;2)

HERSBACH H., BELL B., BERRISFORD P., BIAVATI G., HORANYI A., MUNOZ SABATER J., NICOLAS J., PEUBEY C., RADU R., ROZUM I., SCHEPERS D., SIMMONS A., SOCI C., DEE D., THEPAUT J.-N. (2023). *ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.adbb2d47

LECKLER F., ARDHUIN F., FILIPOT J.-F., MIRONOV A. (2013). *Dissipation source terms and whitecap statistics*. Ocean Modelling, Vol. 70, pp 62-74.

LOPEZ G., LEBALLEUR L., MICHAUD H. (2023). *Connaissance statistique des régimes de houle pour la zone Méditerranée*. AO6 lot 5 – référence T5.H1, 05/01/2023, convention Shom/MTES [DGEC].

MICHAUD H., PASQUET A., BARAILLE R., LECKLER F., AOUF L., DALPHINET A., HUCHET M., ROLAND A., DUTOUR-SIKIRIC M., ARDHUIN F., FILIPOT J.-F. (2015). *Implementation of the new French operational coastal wave forecasting system and application to a wave-current interaction study*. 14th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting & 5th Coastal Hazard Symposium, Key West, Florida.

PIOLLE J.-F., DODET G., QUILFEN Y. (2022). *ESA Sea State Climate Change Initiative (Sea_State_cci): Global remote sensing daily merged multi-mission along-track significant wave height from altimetry, L3 product, version 3*. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis, 11 October 2022.

<https://dx.doi.org/10.5285/e6af67fca81c40b7bb3eddaadde06909>

QUARTLY G.D., KUREKIN A.A. (2020). *Sensitivity of Altimeter Wave Height Assessment to Data Selection*. *Remote Sensing*, Vol. 12, No 16, p. 2608.

<https://doi.org/10.3390/rs12162608>

QUILFEN Y., CHAPRON B. (2020). *On denoising satellite altimeter measurements for high resolution geophysical signal analysis*. *Advances in Space Research*.

doi:10.1016/j.asr.2020.01.005

ROGERS W.E., BABANIN A.V., WANG D.W. (2012). *Observation-consistent input and whitecapping dissipation in a model for wind-generated surface waves: Description and simple calculations*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 29, pp 1329-1346. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00092.1>

VALIENTE N.G., SAULTER A., EDWARDS J.M., LEWIS H.W., CASTILLO SANCHEZ J.M., BRUCIAFERRY D., BUNNEY C., SIDDORN J. (2021). *The Impact of Wave Model Source Terms and Coupling Strategies to Rapidly Developing Waves across the North-West European Shelf during Extreme Events*. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 9, No 4, p. 403. <https://doi.org/10.3390/jmse9040403>

THE WAVEWATCH III[®] DEVELOPMENT GROUP (2019). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III[®] version 6.07*. Technical Note 333, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, 465 p.

ZIEGER S., BABANIN A.V., ROGERS W.E., Young I.R. (2015). *Observation-based source terms in the third-generation wave model WAVEWATCH*. *Ocean Modelling*, Vol. 96, pp 2-25. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.07.014>

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière