

Étude de l'effet des courants de surface sur les caractéristiques des vagues simulées par WW3

Kartouche Fatima^a

Résumé

Cet article présente une étude comparative visant à évaluer l'effet des courants de surface sur la hauteur significative des vagues (Hs) et la période des vagues (TM02) simulées par le modèle Wavewatch III durant le mois de février 2017. Pour cette étude, nous avons utilisé deux configurations : la première configuration est forcée, simultanément, par les courants de surface et les vents ERA5. La deuxième configuration est forcée, uniquement, par les vents ERA5. Les résultats ont été comparés par rapport aux données observées du réseau de bouées espagnol REDEXT. Les résultats montrent que l'effet des courants de surface sur les prévisions des hauteurs et des périodes de vagues est relativement mineur dans les sites d'observation, avec une différence statistique de 0,01 entre les modèles. Cependant, l'analyse de la différence sur l'ensemble du domaine d'intégration pour la situation du 6 février 2017 à 13h révèle un impact notable dans certaines régions, notamment à Gibraltar et dans la partie Est de la Méditerranée.

Mots Clés : Courants de surface, WavewatchIII, WW3, ERA5, REDEXT.

^aDirection de l'Exploitation Météorologique (DEM-ONM), Dar El Beida, Alger

Table des matières

1	Introduction :	1
2	Matériel et Méthodologie	2
3	Résultats et Discussion	2
3.1	Évaluation de WW3 par rapport aux observations	2
3.2	Évaluation de la performance du modèle WW3	7
4	Conclusion	9
	Références	9

1. Introduction :

Les courants de surface sont des mouvements horizontaux de l'eau à la surface des océans, des mers et des lacs, résultant de diverses forces telles que les vents, la friction avec la surface, la force de Coriolis due à la rotation de la Terre, les marées, et les gradients de température et de salinité. Ils sont généralement influencés par des facteurs météorologiques et océanographiques locaux et globaux. Ces courants jouent un rôle crucial dans le transport des chaleur et des éléments nutritifs, ainsi que dans la distribution des organismes marins. Ils ont également un impact significatif sur les phénomènes météorologiques et climatique [1]. L'interaction entre les courants de surface et les vagues est un processus dynamique. Les courants peuvent agir comme des forces modifiant la trajectoire et la taille des vagues, les organisant en motifs distincts ou en traînées. Parallèlement, ils peuvent influencer la propagation des vagues, les accélérant ou les ralentissant en fonction de leur propre vitesse

et direction [2]. Des études telles que celle menée par Zodiatis et al. (2015) ont montré que l'impact des courants de surface de la mer est assez significatif dans la modélisation de l'énergie des vagues, et qu'il dépend du temps et de l'espace [3]. De plus, des recherches récentes comme celle de Benetazzo et al. (2013) ont démontré que les variations induites par le courant sur le champ de vagues sont significatives lors de conditions météorologiques extrêmes telles que les tempêtes intenses [4]. Dans ce contexte, notre objectif consiste à étudier l'impact des courants de surface sur les caractéristiques des vagues simulées par le modèle Wavewatch III durant le mois de février 2017, en particulier dans la région occidentale du bassin méditerranéen. Pour ce faire, nous avons utilisé deux configurations du modèle WW3 : la première configuration est forcée par les courants de surface à une résolution de 1/24 degré (environ 4-5 km) et les vents ERA5 du centre Européen (ECMWF Reanalysis 5th Generation) à une résolution de 0.25° désormais appelée WW3 (avec-cour). La seconde configuration, appelée WW3 (sans-cour), est forcée uniquement par les vents ERA5. Dans un premier temps, nous avons comparé les sorties tri-horaires du modèle WW3 pour les deux configurations avec les données tri-horaires des bouées météorologiques du réseau espagnol REDEXT. Par la suite, nous avons évalué la performance de ces résultats en utilisant quatre indicateurs d'écart : le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (R), le biais, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et l'écart type (ECT).

2. Matériel et Méthodologie

Wave Watch III est un modèle de vagues de troisième génération développé par la NOAA/NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration / National Centers for Environmental Prediction). Il est utilisé de manière opérationnelle au sein de l'Office National de la Météorologie depuis 2017. Ce modèle est initialisé par des données de vent d'Arpège et des données bathymétriques contenues dans la base de données ETOPO1, disponibles sur le site du NGDC (National Physicaliste Data Center).

La configuration utilisée dans cette étude est forcée par les champs horaires de vent et de courants de surface fournis par ERA5 et le modèle hydrodynamique NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean), respectivement. Les données ERA5, développées par l'ECMWF, fournissent une analyse complète et détaillée du climat à l'échelle du globe [6], avec une résolution spatiale de 0.25 degré et une résolution temporelle horaire. Les données de courants de surface proviennent du produit de réanalyse physique Med MFC généré par NEMO avec un cycle d'assimilation de données variationnelles (OceanVAR) pour les profils verticaux de température et de salinité et les anomalies du niveau de la mer issues des données satellitaires à une résolution de 1/24 degré et 141 niveaux verticaux [7]. (https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1).

Les données de vagues mesurées en février 2017 ont été obtenues du réseau espagnol REDEXT, qui fait partie du service Copernicus Marine. Ces données sont fournies avec une fréquence horaire et sont systématiquement soumises à un contrôle et une évaluation par un coefficient de qualité (QC). Nous avons pris soin de n'utiliser que les données présentant un bon coefficient de qualité (good_data) [8], garantissant ainsi leur fiabilité dans notre analyse. Ces données ont été collectées et mises gratuitement à disposition par le projet Copernicus et ses programmes associés. Pour cette étude, nous avons sélectionné les données de quatre bouées spécifiques : Tarragona, Cabo Bégur, Mahon et Dragonera. Ces bouées ont été choisies pour leur qualité et la disponibilité de leurs données sur l'intervalle de temps étudié. La figure 1 montre le domaine d'intégration du modèle WW3 et la position géographique des bouées utilisées.



FIGURE 1. Domaine d'intégration du modèle WW3 et la position géographique des bouées utilisées)

3.1 Évaluation de WW3 par rapport aux observations

Les simulations des hauteurs de vagues et des périodes moyennes, obtenues à partir du modèle WW3 ont été comparées aux données observées des bouées Tarragona, Dragonera, Cabo Begur et Mahon. Les graphiques de la figure 2 illustrent respectivement les hauteurs de vagues significatives prévues et mesurées par ces bouées. De même, les graphiques de la figure 4 représentent les périodes moyennes observées et prédites par le modèle WW3.

L'analyse des résultats révèle que durant le mois de février 2017, les modèles WW3 (avec-cour) et WW3 (sans-cour) présentent une allure similaire à celle des observations, mais avec une sous-estimation marquée pendant cette période. En ce qui concerne les valeurs maximales, les deux modèles reproduisent des hauteurs généralement supérieures à 2 mètres, atteignant jusqu'à 4 mètres. Pour les périodes moyennes maximales, les deux modèles reproduisent des périodes moyennes atteignant jusqu'à 6 secondes. Cependant, une exception notable se produit le 06/02/2017, où les deux modèles sous-estiment le pic avec une différence remarquable d'environ 1.5 pour les deux paramètres (Hs et TM02).

Les figures 3 et 5 illustrent les diagrammes de dispersion représentant les hauteurs de vague significatives et les périodes moyennes des vagues mesurées par les quatre bouées, ainsi que leurs prédictions par les deux configurations.

3. Résultats et Discussion

L'évaluation des performances a été menée en comparant les simulations des deux configurations du modèle WW3 aux mesures des bouées chaque trois heures en calculant les différents indicateurs d'écart : le biais, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le coefficient de corrélation (R) et l'écart-type (ECT) [8].

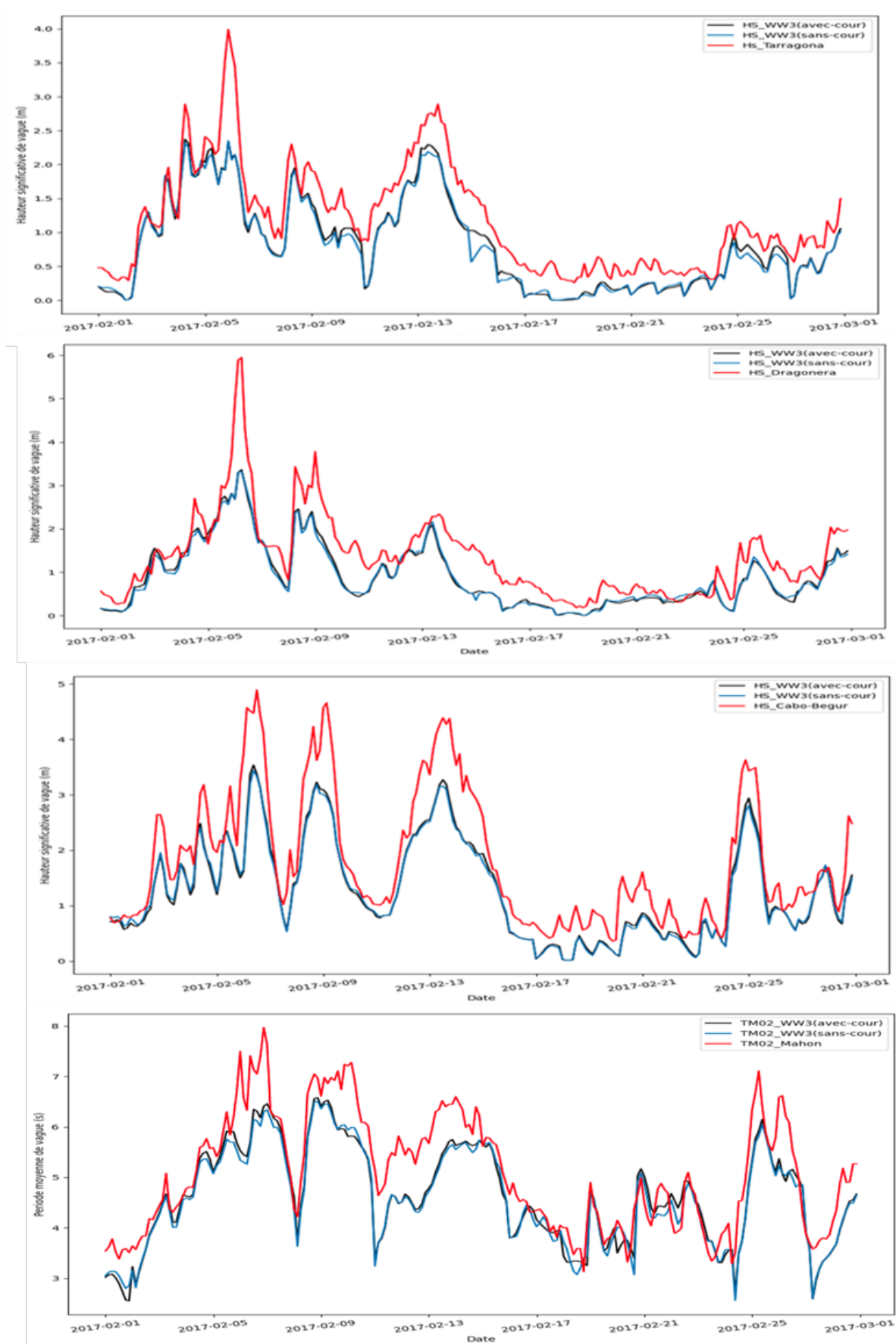


FIGURE 2. Hauteurs de vague significative mesurées et prévues à (du haut en bas) : Tarragona, Dragonera, Cabo Begur et Mahon, respectivement..

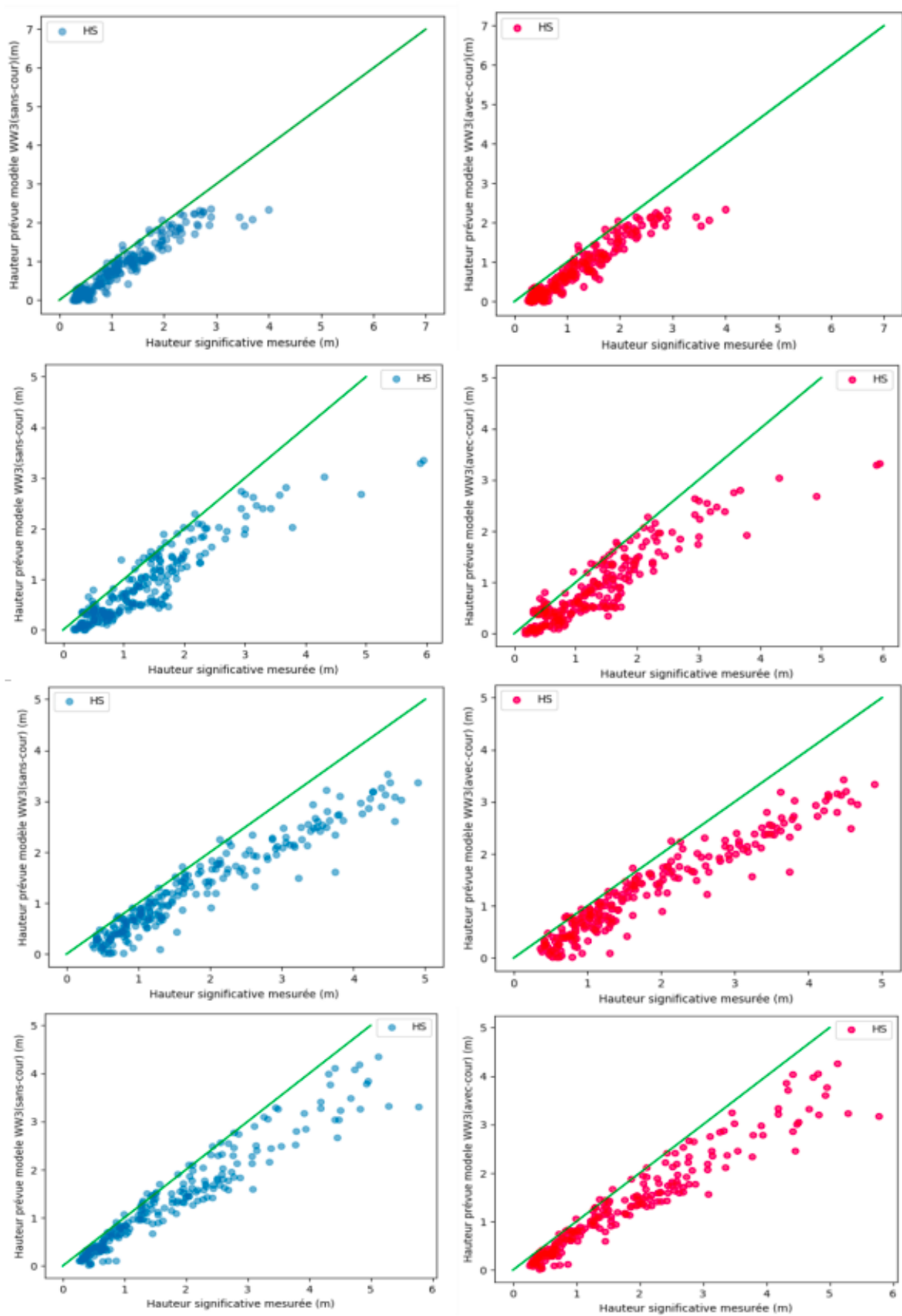


FIGURE 3. Diagrammes de dispersion des hauteurs de vague obtenus par WW3 (sans-cour) à gauche et WW3 (avec-cour) à droite pour les quatre sites, du haut en bas respectivement : Tarragona, Dragonera, Cabo Begur et Mahon.

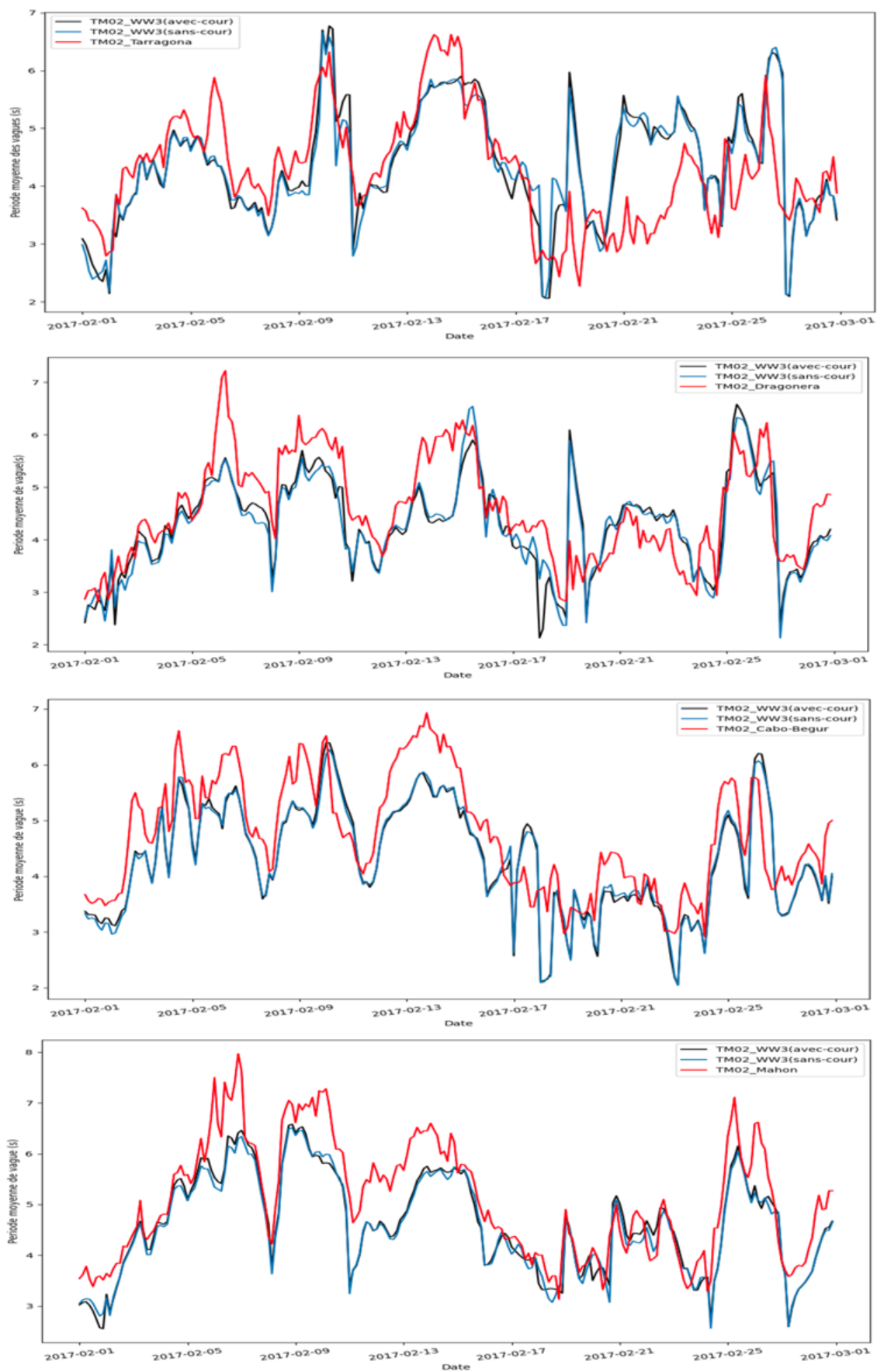


FIGURE 4. Périodes moyennes des vagues mesurées et prévues à (du haut en bas) : Tarragona, Dragonera, Cabo Begur et Mahon, respectivement.

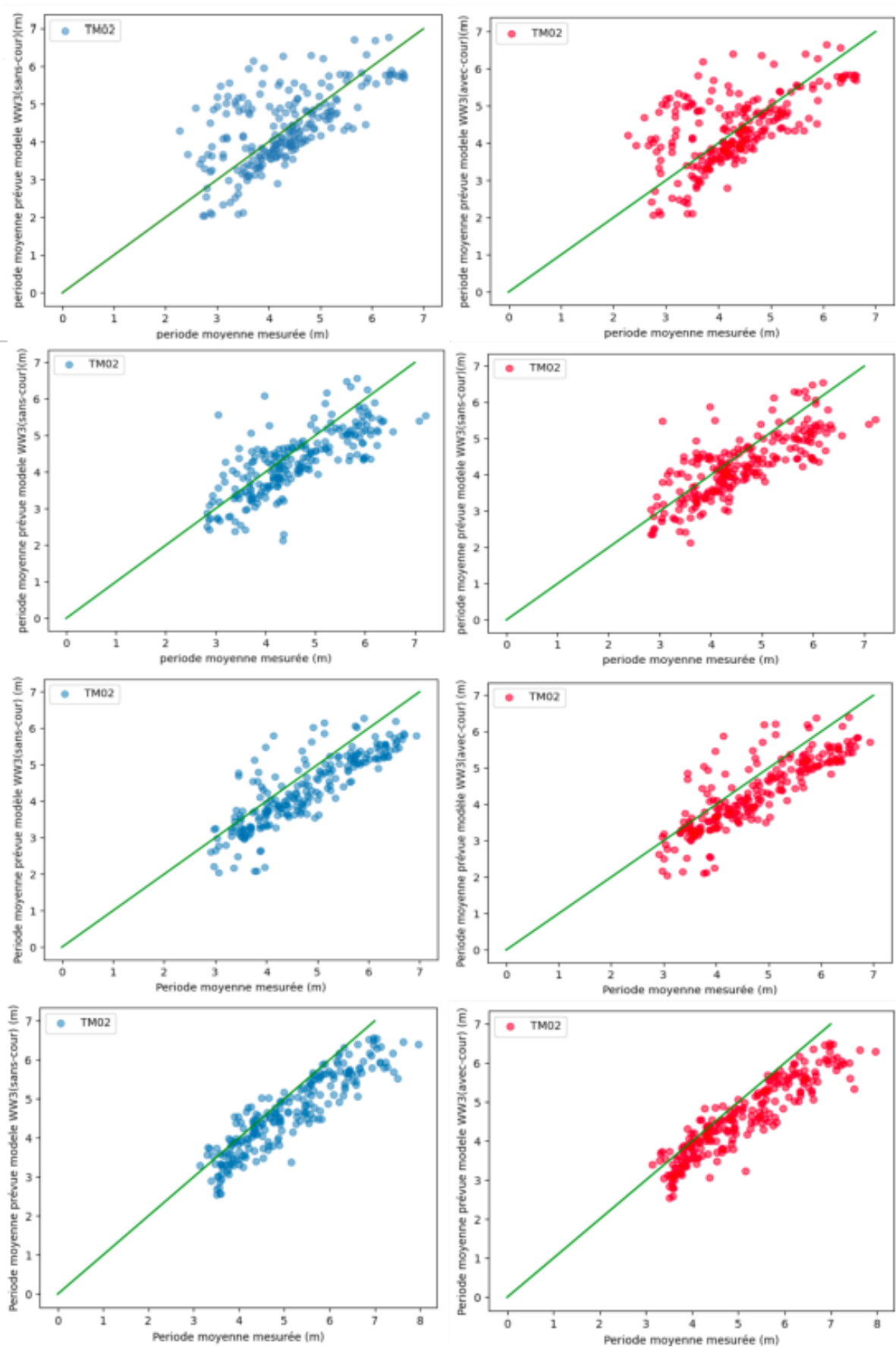


FIGURE 5. Diagrammes de dispersion de la période moyenne obtenus par WW3 (sans-cour) à gauche et WW3 (avec-cour) à droite pour les quatre sites, du haut en bas respectivement : Tarragona, Dragonera, Cabo Begur et Mahon.

3.2 Évaluation de la performance du modèle WW3

Les résultats statistiques du modèle WW3 pour les deux paramètres, hauteur et période de la vague, aux échéances de 12h et 21h, sont présentés dans les Tableaux 1, 2, 3 et 4. Ces résultats indiquent que les deux modèles affichent des coefficients de corrélation moyens élevés. Concernant les hauteurs de vague, les deux modèles présentent des moyennes de corrélation de 0.94 pour l'échéance de 21h. De même, pour l'échéance de 12h, les modèles WW3(sans-cour) et WW3 (avec-cour) affichent des moyennes de corrélation respectives de 0.97 et 0.98.

En outre, le modèle WW3 (sans-cour) présente une erreur quadratique moyenne de 1.38, tandis que le modèle WW3 (avec-cour) montre une erreur quadratique moyenne de 1.37 à l'échéance de 12h. Pour l'échéance de 21h, le modèle WW3 (sans-cour) présente une erreur quadratique moyenne de 1.35, par contre le modèle WW3 (avec-cour) affiche une erreur quadratique moyenne de 1.33.

Pour la période de la vague, les modèles WW3 (sans courant) et WW3 (avec courant) montrent des moyennes de corrélation respectives de 0.81 et 0.82 pour les deux échéances. En outre, les deux modèles présentent une même erreur quadratique moyenne de 1.38 à l'échéance de 12 h et de 1,4 à l'échéance de 21 h.

Les graphiques de la figure 6 présentent la prévision des hauteurs de vagues significatives par le modèle WW3(sans-cour) à gauche, et les courants moyens à droite. En bas, on observe la différence entre les modèles WW3(avec-cour) et WW3(sans-cour) pour la situation du 6 février 2017 à 13h. Ces figures montrent que, dans les sites d'observation, l'effet des courants est faible. En revanche, à Gibraltar et dans la partie est de la Méditerranée, l'effet des courants est significatif et dépasse parfois un mètre. À ces endroits, les différences constatées entre les hauteurs significatives simulées par les deux configurations de WW3 sont de l'ordre de -0.6 mètres.

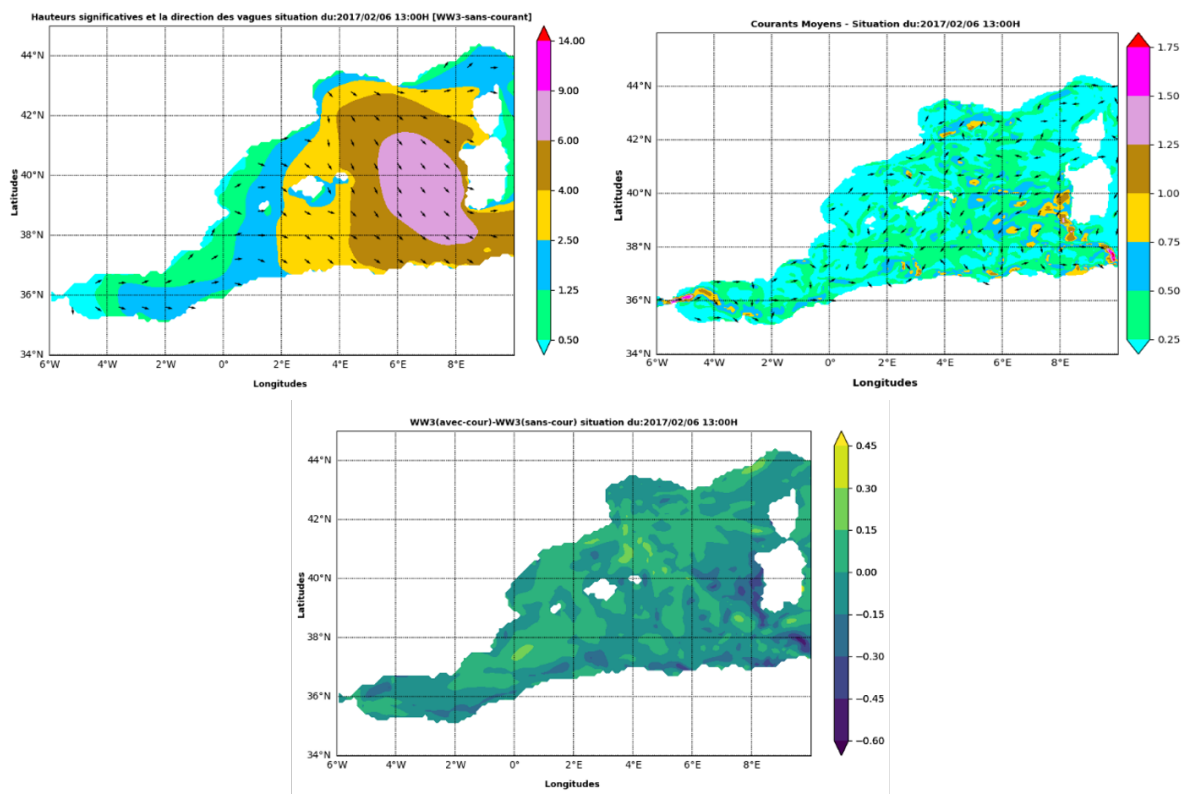


FIGURE 6. Prévision des hauteurs de vagues significatives par le modèle WW3 (sans-cour) à gauche.

Indicateurs d'écart/Observations	Tarragona		Dragonera		Cabo Begur		Mahom		Moyennes	
	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour
Biais	0.32	-0.33	0.38	-0.38	0.53	-0.53	0.44	-0.49	0.42	-0.43
RMSE	1.09	1.09	1.11	1.10	1.49	1.48	1.69	1.67	1.35	1.33
R	0.93	0.94	0.91	0.91	0.95	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94
ECT	1.04	1.04	1.04	1.03	1.39	1.38	1.63	1.60	1.28	1.28

(a) Statistiques des deux configurations WW3 à l'échéance 12H pour le paramètre Hs durant le mois de Février 2017.

Indicateurs d'écart/Observations	Tarragona		Dragonera		Cabo Begur		Mahom		Moyennes	
	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour
Biais	0.32	-0.33	0.38	-0.38	0.53	-0.53	0.44	-0.49	0.42	-0.43
RMSE	1.09	1.09	1.11	1.10	1.49	1.48	1.69	1.67	1.35	1.33
R	0.93	0.94	0.91	0.91	0.95	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94
ECT	1.04	1.04	1.04	1.03	1.39	1.38	1.63	1.60	1.28	1.28

(b) Statistiques des deux configurations WW3 à l'échéance 21H pour le paramètre Hs durant le mois de Février 2017.

Indicateurs d'écart/Observations	Tarragona		Dragonera		Cabo Begur		Mahom		Moyennes	
	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour
Biais	0.32	-0.33	0.38	-0.38	0.53	-0.53	0.44	-0.49	0.42	-0.43
RMSE	1.09	1.09	1.11	1.10	1.49	1.48	1.69	1.67	1.35	1.33
R	0.93	0.94	0.91	0.91	0.95	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94
ECT	1.04	1.04	1.04	1.03	1.39	1.38	1.63	1.60	1.28	1.28

(c) Statistiques des deux configurations WW3 à l'échéance 12H pour le paramètre TM02 durant le mois de Février 2017.

Indicateurs d'écart/Observations	Tarragona		Dragonera		Cabo Begur		Mahom		Moyennes	
	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour	Sans cour	Avec cour
Biais	0.14	-0.09	-0.32	0.28	-0.40	0.39	-0.51	0.49	-0.27	0.27
RMSE	1.41	1.44	1.23	1.21	1.45	1.42	1.51	1.53	1.4	1.4
R	0.60	0.62	0.81	0.83	0.90	0.91	0.92	0.90	0.81	0.82
ECT	1.40	1.44	1.18	1.18	1.39	1.37	1.42	1.45	1.35	1.36

(d) Statistiques des deux configurations WW3 à l'échéance 21H pour le paramètre TM02 durant le mois de Février 2017.

TABLE 1. Comparaison des statistiques des deux configurations WW3 pour les paramètres Hs et TM02 durant le mois de Février 2017.

4. Conclusion

Dans cette étude, nous avons examiné l'effet des courants de surface sur la qualité de la prévision des hauteurs des vagues par le modèle WW3 durant le mois de février 2017. Nos analyses montrent que les modèles WW3(sans-cour) et WW3(avec-cour) présentent des coefficients de corrélation moyens élevés pour les paramètres de hauteur et de période des vagues. Plus précisément, pour la hauteur des vagues, les deux modèles affichent des corrélations moyennes de 0.94 pour l'échéance de 21h, et de 0.97 et 0.98 à l'échéance de 12h pour les modèles WW3(sans-cour) et WW3(avec-cour), respectivement.

En termes d'erreur quadratique moyenne, le modèle WW3 (sans-cour) présente une erreur moyenne de 1.38 à l'échéance de 12h et de 1.35 à l'échéance de 21h, tandis que le modèle WW3(avec-cour) montre des erreurs moyenne de 1.37 et 1.33 pour les mêmes échéances. Concernant la période des vagues, les deux modèles présentent des corrélations moyennes de 0.81 et 0.82, avec une erreur quadratique moyenne de 1.38 à l'échéance de 12h et de 1.4 à l'échéance de 21h. Concernant la période de la vague, les modèles WW3 (sans-cour) et WW3(avec-cour) montrent des moyennes de corrélation respectives de 0.81 et 0.82 pour les deux échéances. En outre, les deux modèles présentent une même erreur moyenne de 1.38 à l'échéance de 12 h et de 1.4 à l'échéance de 21 h.

Les résultats statistiques montrent une différence de 0.01 entre les deux configurations du modèle WW3 dans les sites d'observation. Cependant, l'analyse de la différence sur l'ensemble du domaine d'intégration pour la situation du 6 février 2017 à 13h révèle une variation plus significative. En effet, les courants de surface ont un impact notable dans certaines régions, notamment à Gibraltar et dans la partie est de la Méditerranée, bien que cet impact soit faible dans les sites d'observation. Cela indique que l'effet des courants de surface sur les prévisions des hauteurs et des périodes de vagues est relativement mineur dans les sites d'observation, mais significatif dans d'autres régions.

Références

- [1] Knauss, J. A., 1996. *Introduction to Physical Oceanography*. Waveland Press.
- [2] Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J., Swift, J. H., 2011. *Descriptive Physical Oceanography : An Introduction* (6th ed.). Academic Press.
- [3] Zodiatis, G., Galanis, G., Kallos, G., et al., 2015. The impact of sea surface currents in wave power potential modeling. *Ocean Dynamics*, 65, 1547–1565. <https://doi.org/10.1007/s10236-015-0880-4>.
- [4] Tolman, H., et al., 2014. User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 4.18.
- [5] Kalverla, P. C., Steeneveld, G., Ronda, R., Holtslag, A. A. M., and M, A. A., 2019. Evaluation of three mainstream numerical weather prediction models with observations from meteorological mast IJmuiden in the North Sea. *Wind Energy*, 22, 34–48.
- [6] Copernicus Marine Service, 2016. *MED-SEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1*. https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1.
- [7] Copernicus Marine In Situ Tac Data Management Team, 2020. *Copernicus In Situ TAC, Real Time Quality Control for WAVES*. <http://doi.org/10.13155/46607>.
- [8] Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., Mazzino, A., 2015. Performance evaluation of Wavewatch III in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling*, 90, 82–94.