

# Impact de la non prise en compte des conditions aux bords sur la qualité du modèle de vague WAVEWATCH III

Amine KHEDIM <sup>1\*</sup>, Nacer KESSALI <sup>1</sup>

## Abstract

Cette étude a pour but d'évaluer l'impact de la non prise en compte des conditions aux bords sur les performances du modèle de vague WAVEWATCH III. Pour se faire, deux configurations du modèle WW3 sont mises en place. La première consiste à forcer le modèle du vague par les vents ARPEGE avec la fermeture de chaque coté sur toute la méditerranée. Tandis que la deuxième configuration utilise le forçage des vents ALADIN sans tenir compte des conditions aux limites sur le coté Est de la Méditerranée occidentale. On a choisi la situation de 1 au 2 février 2022, caractérisée par une mer forte sur le Nord-ouest de la Méditerranée. La comparaison entre les deux forçages effectuée par rapport aux données analysées issues du modèle MFWAM de Météo France. Les résultats montrent que la configuration WW3-ARPEGE donne de meilleures estimations que celle de WW3-ALADIN dû à la non prise en compte des conditions aux bords sur l'ouverture d'Est de la Méditerranée occidentale.

## Keywords

forçage, ALADIN, ARPEGE, WAVEWATCH III, Méditerranée occidentale

<sup>1</sup>Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

\*Correspondant: aminekhedim10@gmail.com

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction:</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Description des expériences et de la méthodologie</b>	<b>2</b>
2.1	La configuration WW3 - ALADIN : . . . . .	2
2.2	La configuration WW3 - ARPÈGE : . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Résultats et discussion</b>	<b>4</b>
3.1	Simulation de la situation 1 et 2 février 2022 : . .	4
3.2	Calcul des scores sur la Méditerranée occidentale (grille 2) . . . . .	4
3.3	Évaluation de l'impact des conditions aux bords sur les performances du modèle WAVEWATCH III . .	5
<b>4</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>6</b>
	<b>References</b>	<b>6</b>

## 1. Introduction:

Les informations sur les vagues de la surface de l'océan, souvent appelées 'l'état de la mer', sont essentielles pour les opérations navales et en mer, le routage des navires, la conception et le développement des ports, la protection et l'aménagement des côtes, l'évaluation du climat des vagues et les loisirs . . . etc [1].

La modélisation de l'atmosphère et des vagues en mer Méditerranée rencontre des problèmes spécifiques par rapport aux océans ouverts, en raison de la complexité de l'orographie environnante, qui implique des caractéristiques météorologiques fortement locales ainsi que la bathymétrie complexe et les interactions des vagues avec le fond et les petits obstacles

[2]. Mais ce qui diffère beaucoup les océans avec les bassins fermés est que la dynamique des vagues océaniques est généralement caractérisée par une prédominance de la composante houle, tandis que dans les petits bassins fermés comme la mer Méditerranée, la croissance locale des vagues dû à l'action du vent semble être plus importante (Ardhuin et al., 2007) [3]. Les progrès réalisés dans la compréhension de la base physique des modèles vent-vague (par exemple, l'interaction vent-vague, les interactions non linéaires vague-vague, le déferlement des vagues...etc), ainsi que les progrès des capacités de calcul ont conduit au développement des modèles de vagues de troisième génération tels que le modèle WAVEWATCH III (WW3) (Tolman 2009) qui est développé par la NOAA 'National Oceanic and Atmospheric Administration' et NCEP 'National Centers for Environmental Prediction' dans l'esprit du modèle WAM 'WAVE MODEL FORECAST', ainsi que le modèle MFWAM 'Météo France Wave Model'. Ces modèles produisent une meilleure représentation de la dynamique locale des vagues et fournissent des informations sur l'état de la mer plus précises à une résolution spatiale beaucoup plus élevée que les modèles de la génération précédente grâce à l'introduction de nouveaux termes sources pour la croissance et la dissipation des vagues (Ardhuin et al. 2010). Ces termes sont basés, respectivement, sur une théorie de la croissance des vagues (Miles, 1957), améliorée ensuite par Janssen (1982) ainsi que la formulation semi-empirique des phénomènes de blanchiment d'eau 'whitecapping' et sur des approches de spectre de saturation (Ardhuin et al., 2008, 2010 ; Hasselmann, 1974 ; Komen et al., 1984 ; Phillips, 1985). Un terme innovant permettant l'estimation de la dissipation de la houle en fonction de la vitesse de traînée a été également introduit par Ard-

huin et al. (2008). L'introduction de ces nouveaux termes de source sur les modèles de vagues de troisième génération a permis d'améliorer significativement les simulations à l'échelle global, régional et côtière, par rapport aux observations des bouées et satellites (Arduin et al., 2008, 2010). [3] Alors que les modèles de première et seconde génération étaient moins performants dus à leur ancienne physique.

Depuis janvier 2017, l'ONM exploite le modèle de vague de troisième génération WW3 en mode opérationnel. Initialement, cette configuration a été forcée par le modèle ALADIN (Area Limited Dynamic Adaptation Inter National Development) à 8 km de résolution. Le domaine est centré sur la méditerranée occidentale. Cependant cette configuration montre ses limites à cause du défaut d'initialisation, l'absence de l'assimilation de données et la non prise en compte des conditions aux frontières notamment pour la borne orientale du domaine. Afin de remédier au problème des conditions aux bords, une configuration WW3 sur toute la méditerranée forcée par les vents du modèle ARPEGE (Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle) à 10km [7] de résolution est mise en place en 2021.

Dans ce travail, nous allons évaluer l'impact de la non prise en compte des conditions aux bords sur les performances du modèle WW3 dans deux cas de situations typiques en utilisant les vents du modèle ARPEGE et ceux du modèle ALADIN. l'évaluation et le calcul des scores des deux configurations se fera uniquement sur la partie occidentale du bassin méditerranéen.

En premier lieu, nous allons comparer les scores des deux configurations de WW3 forcées par les vents ALADIN et ARPEGE par rapport aux analyses du modèle MFWAN utilisé comme référence.

La deuxième partie sera consacrée à l'évaluation de l'impact des conditions aux frontières sur les performances de modèle WW3 en calculant les erreurs quadratiques moyennes sur des sous-domaines bien définis.

## 2. Description des expériences et de la méthodologie

Le modèle WW3 est lancé avec deux configurations différentes:

### 2.1 La configuration WW3 - ALADIN :

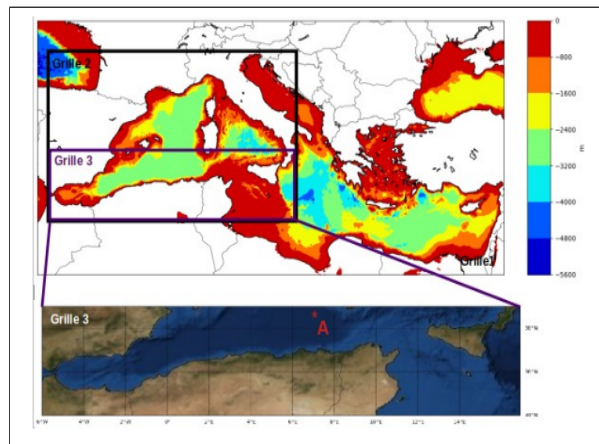
Il s'agit de la configuration forcée par les vents du modèle ALADIN. Le domaine d'intégration s'étend du 34°N au 46°N et du 6°W au 16.9°E avec une résolution de 8km [4].

### 2.2 La configuration WW3 - ARPEGE :

c'est le système opérationnel actuel de prévision des vagues mise en place à l'ONM depuis 2021 [5]. Cette configuration est forcée par les vents ARPEGE à 10m avec une résolution de 10 km. Le domaine d'intégration couvre toute la Méditerranée.

Chaque configuration est exécutée sur son domaine de calcul (voir la figure 1):

1. Grille 1: Le domaine de la nouvelle configuration «WAVEWATCH III-ARPEGE» couvrant toute la Méditerranée.
2. Grille 2: Le domaine de l'ancienne configuration «WAVEWATCH III-ALADIN» qui couvre la Méditerranée occidentale.



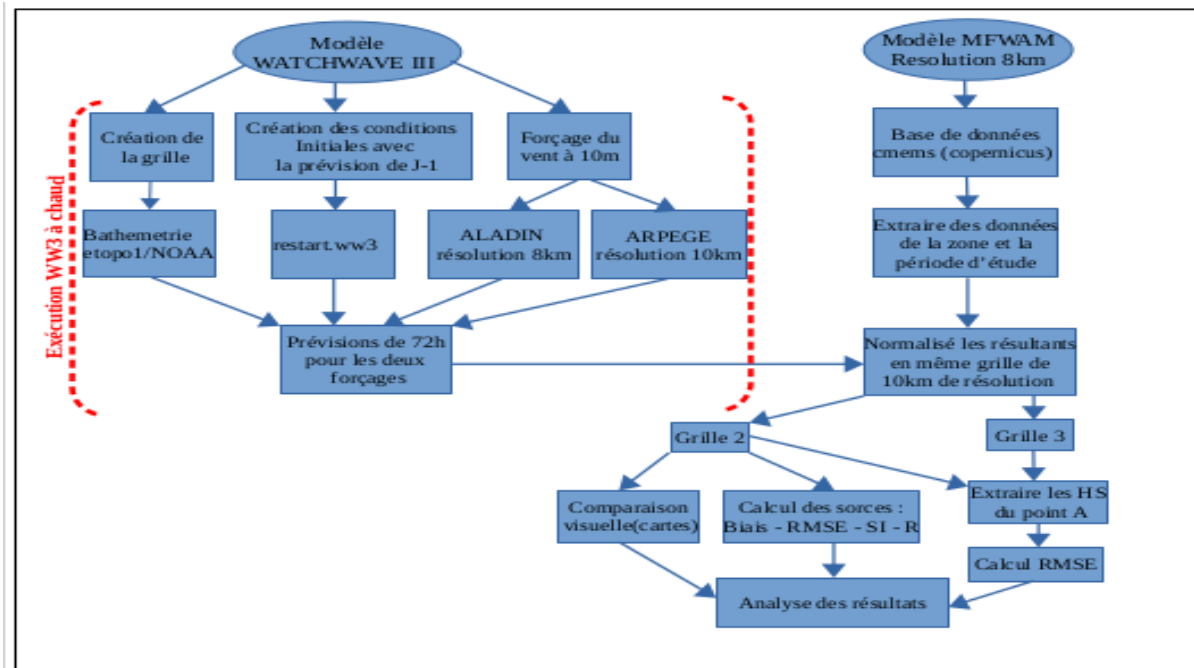
**Figure 1.** Carte de bathymétrie ETOPO1 de la mer Méditerranée à 1 minute de résolution (source: Etopo 1/NOAA)

Afin d'évaluer l'impact de la non prise en compte des conditions aux bords sur les hauteurs significatives prévues par le modèle WAVEWATCH III, nous avons calculé les erreurs quadratiques moyennes de ces hauteurs sur la grille 2 ainsi que sur le point de repère 'A' lors de la fermeture (grille 3) et l'ouverture (grille 1 et grille 2) des entrées des vents du Nord. Ce point est situé au milieu de la zone de perturbation avec les coordonnées géographiques suivantes 38.7°N et 7°E comme le montre la figure 1.

Dans notre cas, vu l'absence des données des bouées d'observations sur la zone de la perturbation, Nous avons pris comme références les données analysées du modèle MFWAM disponibles sur la base de données COPERNICUS <https://marine.copernicus.eu/fr>. En effet, le modèle MFWAM est basé sur la version ECWAM-IFS-38R2 de ECMWF (Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme) [6], avec une dissipation par déferlement de vague développée par Arduin et al (2010), et un terme d'amortissement de la houle induit par la friction de l'air à la surface de la mer. MFWAM a été mis à jour en novembre 2014 avec des améliorations majeures grâce au projet de recherche européen « My wave » (Janssen et al.2014). La technique d'assimilation de ce modèle est basée sur l'interpolation optimale en utilisant des données altimétriques comme Jason3 et Saral/Altika...etc, avec pour les informations spectrales, l'assimilation des paramètres principaux des vagues (hauteur significative, période moyenne et direction) jusqu'à 3 partitions du spectre bidimensionnel complet [7]. Les deux configurations de WW3 ont été exécutées à chaud en les initialisant par la prévision précédente (généralement J-24h) pour minimiser la période spin-up.

**Table 1.** Les caractéristiques des simulations d'étude

domaines d'études	Grille 2	La Méditerranée occidentale latitude «34°N à 46° N» / longitude «6°O à 16.9°E»		
	Grille 3	latitude «34°N à 38.8° N» / longitude « 6°O à 16.9°E»		
La période d'étude	2 jours « de 01 au 02 février 2022 »			
Le modèles utilisés	WAVEWATCH III (v5.16)	WAVEWATCH III (v5.16)	MFWAM (Réf)	
Le forçage de vent	ALADIN	ARPEGE	IFS-ECMWF	
Résolution spatiale	8km	10km	8.33km	
Résolution spectrale	0.04hz - 0.4hz	0.04hz t- 0.4hz	0.035hz - 0.58hz	
Échéances	72h pour chaque journée	72h pour chaque journée	72h pour chaque journée	
Bathymétrie	Etopo 1/NOAA	Etopo 1/NOAA	Etopo 2/NOAA	
Fréquence des sorties	Chaque 3h	Chaque 1h	Chaque 3h	
Assimilation	Sans assimilation	Sans assimilation	Avec assimilation	
Condition initiale	Fetch-lim JONSWAP	Fetch-lim JONSWAP	/	

**Figure 2.** Organigramme de la stratégie d'étude

Pour faciliter la comparaison, nous avons projeté tous les résultats des simulations et ceux de référence sur une grille commune de 10km de résolution.

Les indicateurs statistiques utilisés pour l'évaluation des deux configurations sont définis ci-dessous:

**L'erreur moyenne (le biais) :** permet d'évaluer la sur ou la sous-estimation du modèle de la prévision.

$$bi = \frac{1}{n} \sum_i (p_i - o_i) \quad (1)$$

**L'erreur Quadratique Moyenne:** permet d'estimer la taille des écarts entre l'observation et les prévisions.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (p_i - o_i)^2} \quad (2)$$

**Le Coefficient de Corrélation :** permet de mettre en

évidence, une liaison entre deux types de séries de données statistiques. Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1.

$$R = \frac{\sum_i (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o})}{\sigma_o * \sigma_p} \quad (3)$$

**Indice de dispersion :** c'est une mesure normalisée de l'erreur, souvent exprimée en pourcentage. Des valeurs plus faibles de SI indiquent une meilleure performance du modèle.

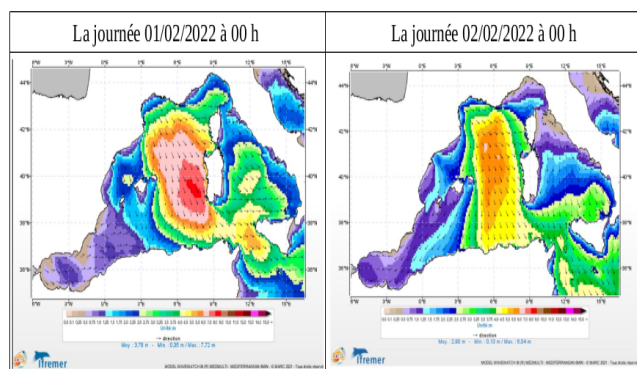
$$SI = \frac{RMSE}{\bar{o}} \quad (4)$$

La figure 2 schématise la méthodologie et les différentes étapes suivies pour réaliser les simulations ainsi que le calcul des scores sur les différents sous-domaines et le point de repère A.



### 3. Résultats et discussion

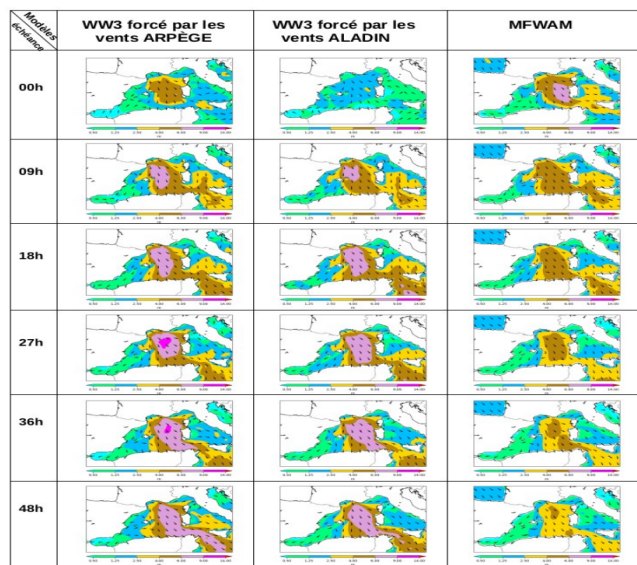
Les situations du 1 et 2 février sont caractérisées par des vents violents qui génèrent une mer forte sur la Méditerranée occidentale, la figure 3 montre les hauteurs significatives et les directions des vagues enregistrées pour le modèle WAVEWATCH III durant les journées du 01 et 02 février 2022 à 00h. On constate que les hauteurs significatives maximales enregistrées sont 7.72 m et 6.04 m respectivement pour les deux situations.



**Figure 3.** Hauteurs significatives et les directions des vagues enregistrées par WAVEWATCH III selon Ifremer (source : <https://marc.ifremer.fr>)

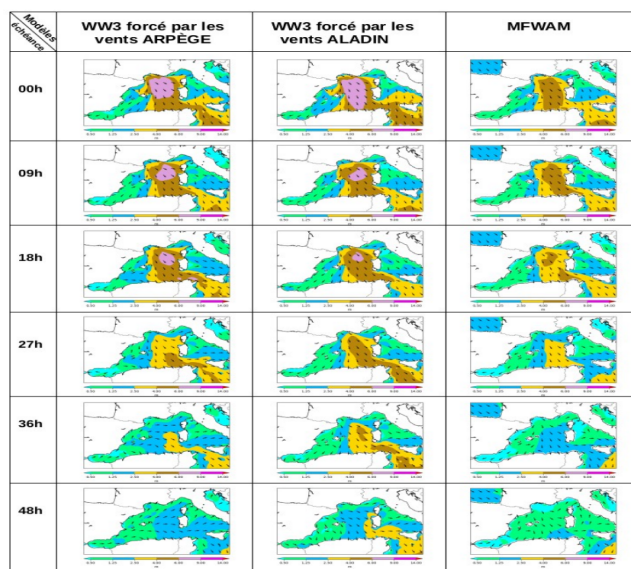
#### 3.1 Simulation de la situation 1 et 2 février 2022 :

En premier lieu, pour une comparaison objective, nous allons représenter dans les figures 4 et 5 les hauteurs significatives simulées par les deux configurations de WW3 et les données de MFWAM.



**Figure 4.** Comparaison les hauteurs significatives entre les simulations du modèle WAVEWATCH III forcées par les vents de ALADIN et ARPEGE et les données du modèle MFWAM pour la situation. de 01/02/2022)

On constate qu'au début de la simulation, le modèle WW3 forcé par les vents des modèles ALADIN et ARPEGE saisissent mal les hauteurs significatives dû à l'état initial non assimilé contrairement au modèle MFWAM. Entre l'état initial et les premiers 27 heures, les simulations du modèle WW3 avec les deux forçages surestiment les hauteurs significatives comparées à les données analysées de modèle MFWAM. Entre l'échéance 27 jusqu'à la fin, les Hs enregistrées par le modèle WW3 divergent par rapport aux celle du modèle MFWAM.



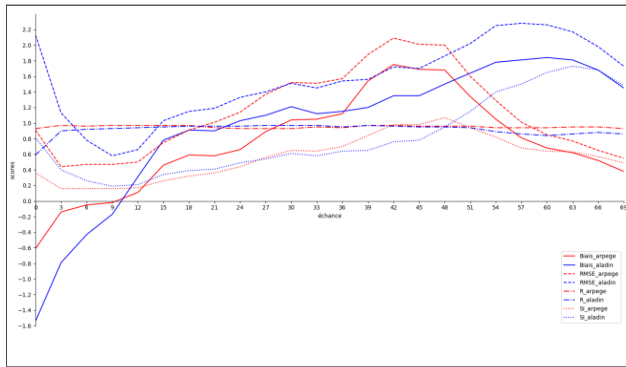
**Figure 5.** Comparaison les hauteurs significatives entre les simulations du modèle WAVEWATCH III forcées par les vents de ALADIN et ARPEGE et les données du modèle MFWAM pour la situation de 02/02/2022

#### 3.2 Calcul des scores sur la Méditerranée occidentale (grille 2)

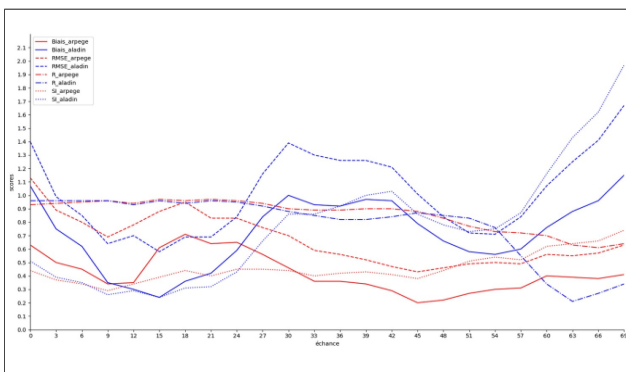
Les scores calculés sur la grille 2 sont représentés sur les figures 6 et 7.

Nous constatons qu'à l'état initial, les hauteurs significatives obtenues par le forçage ALADIN sont caractérisées par un biais et un RMSE importants (d'ordre supérieur à 1m) comparées à celles obtenues avec le forçage ARPEGE. À l'exception de l'échéance 00H pour la configuration WW3-ALADIN, les coefficients de corrélation calculés pour les deux simulations sont très satisfaisants avec des valeurs d'ordre de 0.9 à 0.95. Par contre, pour les coefficients de dispersion, on remarque que ceux de la configuration WW3-ALADIN sont plus forts (SI= 0.8), notamment pour la journée du 01/02/2022 à 00H. Tandis que la configuration WW3-ARPEGE enregistre des faibles dispersions.

Les scores statistiques obtenues par configuration WW3-ARPEGE sont globalement meilleurs par rapport ceux de WW3-ALADIN à l'exception pour les échéances 36h à 49h pour la journée du 01/02/2022 et les échéances du 9h à 24h pour la journée du 02/02/2022.



**Figure 6.** Les scores des hauteurs significatives obtenus par les deux configurations WW3-ARPEGE et WW3-ALADIN sur la grille 2 pour la situation du 01/02/2022



**Figure 7.** Les scores des hauteurs significatives obtenus par les deux configurations WW3-ARPEGE et WW3-ALADIN sur la grille 2 pour la situation du 02/02/2022

### 3.3 Évaluation de l'impact des conditions aux bords sur les performances du modèle WAVEWATCH III

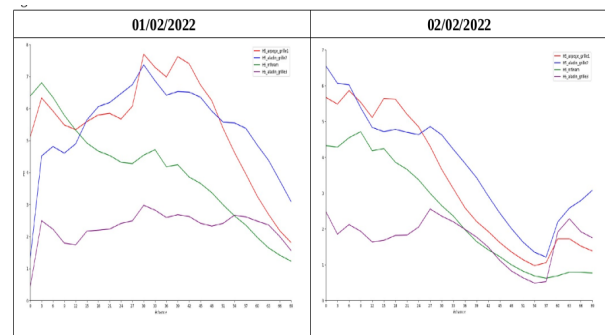
Pour voir l'impact des conditions aux bords sur les performances de modèle WW3, nous avons eu recours au calcul des RMSE au point A dans les différentes grilles.

Les figures 8 et 9 montrent une allure similaire des hauteurs significatives enregistrées par les deux modèles MFWAM et WW3. Ils ont donc saisi les mêmes pics mais avec des valeurs différentes. Pour la journée de 01/02/2022 à 00h, le modèle WW3 forcé par les vents ALADIN sur la grille 2 a cessé en retard la mer forte car la différence des Hs entre la configuration WW3-ALADIN et le modèle du référence 'MFWAM' sur le point « A » est d'ordre de 6m, ce qui confirme le résultat précédent (voir la figure 4).

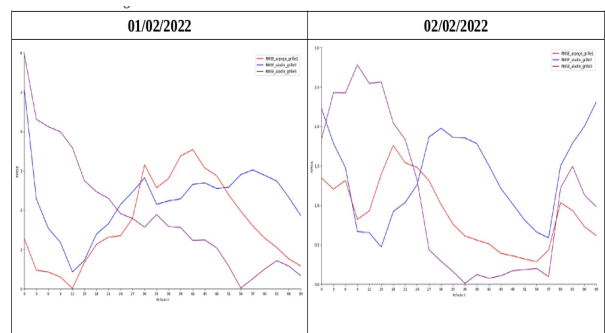
Pour les premiers 24 heures ; les hauteurs significatives au point de repère, forcés par les vents ARPEGE sont globalement proches aux celles du modèle de référence MFWAM. Comparant les sorties du modèle ALADIN avec et sans tenir compte des conditions aux bords « représentés sur la grille 2 et la grille 3 respectivement », nous remarquons que les hauteurs significatives obtenues sur la grille 2 ont des valeurs proches à notre référence. Cela est confirmé par des erreurs

quadratiques moyennes très importantes calculés sur la grille 3 au cours des 24 échéances. A partir de ces résultats on constate que les conditions aux bords améliorent la qualité de la prévision.

Au delà des premières 24 heures, le comportement de modèle WAVEWATCH III devient instable et insignifiant par rapport modèle MFWAM, et par conséquence l'effet des conditions aux bords n'apparaît pas.



**Figure 8.** Les hauteurs significatives au point A lors de la fermeture (grilles 1 et 2) et l'ouverture (grille 3) du côté Nord de la Méditerranée occidentale



**Figure 9.** les RMSE des hauteurs significatives au point A lors de la fermeture (grilles 1 et 2) et l'ouverture (grille 3) du côté Nord de la Méditerranée occidentale

## 4. Conclusion générale

La modélisation numérique des états de mer est un domaine fondamental dans le dimensionnement des ouvrages côtiers, la sécurité de la navigation, et l'étude de la stabilité des plages. Dans notre étude, des simulations numériques de l'état de mer d'état pour la situation ventuse de 01 au 02 février 2022 ont été réalisées par le modèle de vague WAVEWATCH III « opérationnel au sein de service de la PNT / DEM de Météo Algérie » sur la Méditerranée occidentale en utilisant des différentes grilles. Nous avons utilisé comme forçage le vent zonal et méridien de 10m des deux modèles atmosphériques : ALADIN (Area Limited Dynamic Adaptation Inter National Development) avec une résolution de 8 km et ARPEGE (Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle) de résolution 10km, avec une bathymétrie ETOPO 01 et les conditions initiales de Fetch-lim JONSWAP. Ce travail avait pour objectif d'étudier l'impact des conditions aux bords sur la Méditerranée occidentale. Il a permis de réponses a deux questions:

1. La première que la nouvelle configuration «WW3-ARPEGE» opérationnel dans ONM donne des meilleurs estimations que l'ancienne système de prévisions des vagues «WW3-ALADIN» car elle permet d'éviter le problème des conditions aux bords.
2. La secondes est que la non prise en compte des conditions aux bords sur modèle à aire limité comme le modèle ALADIN peut erronés la prévision, surtout lorsque le domaine de calcule couvre juste une partie de la zone perturbatrice.

## References

- [1] J Swain, PA Umesh, AN Balchand, and BP Kumar. Wave hindcasting using wam and wavewatch iii: A comparison study utilizing oceansat-2 (oscat) winds. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 5(10.4172):2572–3103, 2017.
- [2] Lorenzo Mentaschi, Giovanni Besio, Federico Cassola, and Andrea Mazzino. Performance evaluation of wavewatch iii in the mediterranean sea. *Ocean Modelling*, 90:82–94, 2015.
- [3] Lorenzo Mentaschi, Giovanni Besio, Federico Cassola, and Andrea Mazzino. Developing and validating a forecast/hindcast system for the mediterranean sea. *Journal of Coastal Research*, (65 (10065)):1551–1556, 2013.
- [4] Nasser KESSALI. Development of a high-resolution nearshore wave forecasting system for the algerian coasts. *JAMA*, 1:61–63, 2017.
- [5] N Kessali, M Bouhamadouche, and Y Hemdane. Implémentation et validation d'un système de prévision des vagues près des côtes. *JAMA*, 4:49–53, 2020.
- [6] Eva Le Merle, Danièle Hauser, Charles Peureux, Lotfi Aouf, Patricia Schippers, and Christophe Dufour. Directional and frequency spread of surface ocean waves from cfosat/swim measurements. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, pages 7390–7393. IEEE, 2021.
- [7] Lotfi Aouf, Danièle Hauser, Céline Tison, and Alexis Mouche. Perspectives for directional spectra assimilation: Results from a study based on joint assimilation of cfosat synthetic wave spectra and observed sar spectra from sentinel-1a. In *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pages 5820–5822. IEEE, 2016.