Rapport d'étude

Évaluation des risques de vent et vagues extrêmes

Zone Golfe du Lion Centre



Version A du 01/12/2025

Client Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Écologique	[redacted]	MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, DE LA BIODIVERSITÉ, DE LA FORÊT, DE LA MER ET DE LA PÊCHE

Responsable commercial : Météo-France D2C Toulouse	[redacted]	
Responsable technique : Météo-France DSM/CS	[redacted]	

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	*Nom document*	*Référence*	*Date*	*Version*
DR1	*Projet de parc éolien off shore Note technique Lots 1, 2 et 3*	*DGEC-ProjetParcsEolien-NoteTechnique_Lots1-2-3_V2.1_20250912*	*[Chatel et al, 2025]*	*23/04/2025*	*2.1*

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
L2.RA_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912	12/09/2025	B1	Création
L2.RA_MeteoF-DGEC_GLC_B2_20251104	04/11/2025	B2	Reprise du chapitre 3 et de l'annexe B : après découverte d'une erreur, certaines simulations des tempêtes ayant été rejouées.
L2.RA_MeteoF-DGEC_GLC_A_20251201	01/12/2025	A	version validée

Signatures

	Nom	*Service*	*Signature*
Rédacteur(s)	[redacted]		
Relecteur(s)			
Approbateur(s)			

Table des matières

1 Objectif et synthèse de l'étude 1
2 Recherche de tempêtes 1
2.1 Méthodologie 1
2.1.1 Données d'entrée et domaine 1
2.1.2 Sélection des tempêtes et traitement des paramètres 3
2.2 Tableau des 12 tempêtes analysées 4
2.3 Liste des tempêtes retenues pour les rejeux de vagues 7
3 Rejeux de situations 7
3.1 Méthodologie 8
3.2 Situation du 30 janvier 1986 8
3.2.1 Rappel des conditions météorologiques 8
3.2.2 Analyse des résultats 8
3.2.3 Caractéristiques principales 10
3.3 Situation du 14 janvier 1987 11
3.3.1 Rappel des conditions météorologiques 11
3.3.2 Analyse des résultats 11
3.3.3 Caractéristiques principales 13
3.4 Situation des 10 et 11 novembre 2001 (tempête Torsten) 14
3.4.1 Rappel des conditions météorologiques 14
3.4.2 Analyse des résultats 14
3.4.3 Caractéristiques principales 16
3.5 Situation du 31 janvier 2003 17
3.5.1 Rappel des conditions météorologiques 17
3.5.2 Analyse des résultats 17
3.5.3 Caractéristiques principales 19
3.6 Situation du 24 janvier 2009 (tempête Klaus) 20
3.6.1 Rappel des conditions météorologiques 20
3.6.2 Analyse des résultats 20
3.6.3 Caractéristiques principales 22
3.7 Situation du 5 mars 2015 (tempête Anton) 23
3.7.1 Rappel des conditions météorologiques 23
3.7.2 Analyse des résultats 23
3.7.3 Caractéristiques principales 25
Annexes 26

Index des figures

Illustration 1 : Points de grille des paramètres ERA5 et Med-Wav utilisés....2
Illustration 2 : Zone d'étude GLC en rouge avec son centroïde....2
Illustration 3 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 30/01/1986 simulée par le modèle WW3. (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 30 jan. à 06 UTC et le 31 jan. à 18 UTC) Le losange noir représente la position centrale de la zone....9

Illustration 4 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 14/01/1987 simulée par le modèle WW3. (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 13 jan. à 06 UTC et le 15 jan. à 06 UTC) Le losange noir représente la position centrale de la zone.....12
Illustration 5 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 14/01/1987 – simulée par le modèle WW3.....13
Illustration 6 : Hauteur significative de la mer totale (m) lors de la tempête des 10 et 11/11/2001 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 10 nov. à 06 UTC et le 12 nov. à 06 UTC) Le losange noir représente la position centrale de la zone.....15
Illustration 7 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la houle totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11/11/2001 – simulée par le modèle WW3.....15
Illustration 8 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11/11/2001 – simulée par le modèle WW3.....16
Illustration 9 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 31/01/2003 simulée par le modèle WW3. (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 30 jan. à 18 UTC et le 1er fév. à 12 UTC) Le losange noir représente la position centrale de la zone.....18
Illustration 10 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 31 janvier 2003 – simulée par le modèle WW3.....19
Illustration 11 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 24/01/2009 simulée par le modèle WW3. (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 jan. à 00 UTC et le 25 jan. à 12 UTC) Le losange noir représente la position centrale de la zone.....21
Illustration 12 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 24 janvier 2009 – simulée par le modèle WW3.....22
Illustration 13 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 5/03/2015 simulée par le modèle WW3.....24
Illustration 14 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 5 mars 2015 – simulée par le modèle WW3.....25

Index des tableaux

Tableau 1 : Echelle de Beaufort.....5
Tableau 2 : Echelle de Douglas.....5
Tableau 3 : Liste des tempêtes analysées.....6
Tableau 4 : Liste des tempêtes sélectionnées pour être rejouées.....7
Tableau 5 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 30/01/1986 – simulée par le modèle WW3.....10
Tableau 6 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 30 janvier 1986.....10
Tableau 7 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 14 janvier 1987.....13
Tableau 8 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11 novembre 2001.....16
Tableau 9 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 31 janvier 2003.....19
Tableau 10 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 24 janvier 2009.....22
Tableau 11 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 5 mars 2015.....25
Tableau 12: Synthèse des comparaisons des modèles MEDIWAT-SHOM et WW3-MF.....32

1 Objectif et synthèse de l'étude

L'objectif de cette étude est de sélectionner un échantillon d'épisodes de vents forts susceptibles de générer de très fortes vagues sur la zone d'intérêt, située dans le golfe du Lion. Pour cela, nous avons utilisé la réanalyse européenne ERA5 (Hersbach et al., 2018) qui fournit des estimations horaires d'un grand nombre de variables climatiques atmosphériques et terrestres à une résolution de 0,25° et de paramètres océaniques, à une résolution de 0,5°.

Plusieurs critères ont été employés pour effectuer la sélection des tempêtes. Ils sont décrits en § 2.1.2 .

Les tempêtes majeures ayant touché la zone sont ainsi identifiées et font l'objet d'une analyse plus approfondie via les fiches tempêtes (liste en annexe) qui accompagnent le présent rapport.

Parmi cet échantillon de tempêtes majeures, 6 tempêtes marquantes ont été sélectionnées pour être rejouées par un modèle d'état de la mer afin de fournir des jeux de données de vagues simulées couvrant un large panel de possibles sur la zone considérée.

2 Recherche de tempêtes

2.1 Méthodologie

La méthode de pré-sélection de tempêtes consiste en une recherche d'extrêmes à partir d'un échantillon multi-paramètres et multi-sources. Cette méthode est décrite en §8 du document [Chatel et al.,V2.1, 2025].

2.1.1 Données d'entrée et domaine

Les données atmosphériques tri-horaires ERA5 et les données marines issues des réanalyses du Mediterranean Sea Waves forecasting system (Med-WAV) du Copernicus Climate Data Store sont utilisées sur la période de calcul de **1985 à 2024**[1] :

- les données de vent sur une large zone à une résolution de 0.25 degré de latitude et de longitude (points noirs de l'Illustration 1)
- les paramètres d'état de la mer sur une zone plus réduite (en bleu foncé sur l'Illustration 1) autour de la zone Golfe du Lion Centre, à une résolution de 0.5 degré (croix rouges de l'Illustration 1).
- la zone d'étude est matérialisée par le polygone rouge de l'Illustration 2.

1 Période de disponibilité actuelle des données Med-WAV. Description Med-WAV en § 9.2 de [Chatel et al.,V2.1, 2025]



Illustration 1 : Points de grille des paramètres ERA5 et Med-Wav utilisés

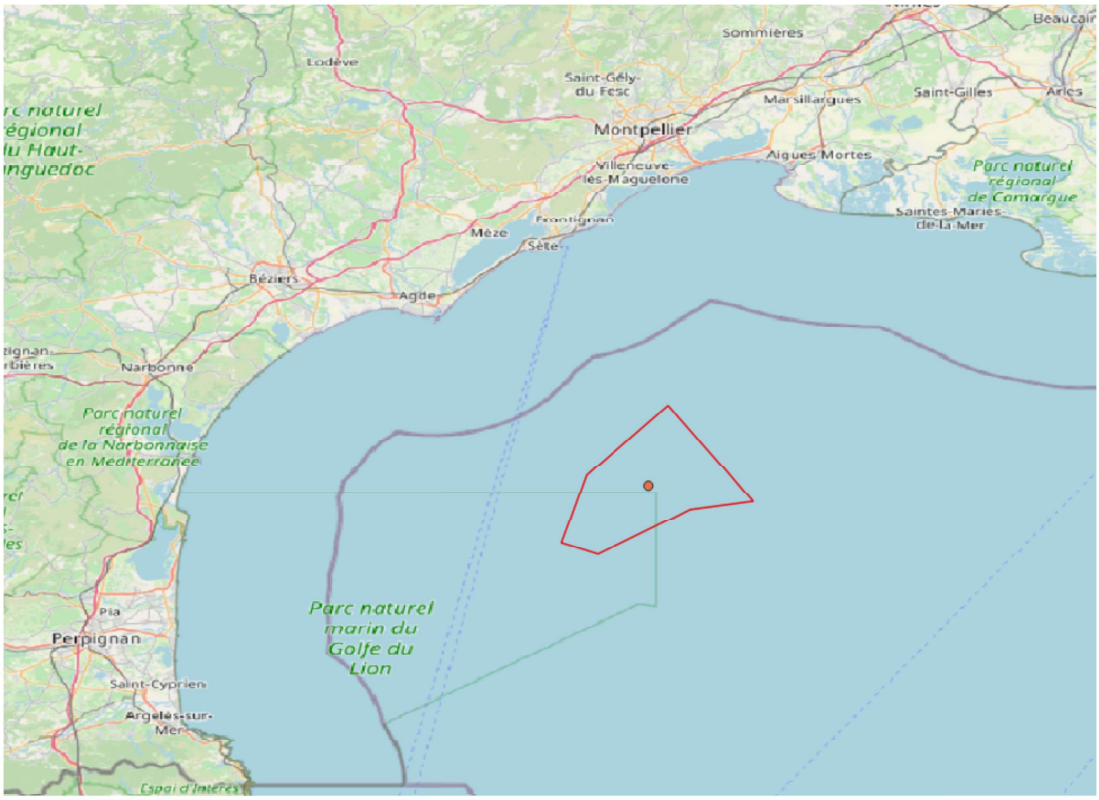


Illustration 2 : Zone d'étude GLC en rouge avec son centroïde

2.1.2 Sélection des tempêtes et traitement des paramètres

Quatre paramètres sont utilisés pour la sélection des tempêtes :

- la force du vent ;
- la hauteur significative de la mer du vent ;
- la mer totale ;
- la houle totale.

Ces quatre paramètres sont extraits au pas de temps tri-horaire, pour chaque jour de la période étudiée (1985-2024), en chaque point de la zone traitée (grande zone pour le vent, zone réduite pour les autres paramètres). Des valeurs quotidiennes pour chacun de ces paramètres sont également établies en prenant la valeur maximale des 8 données tri-horaires de la journée.

Traitement du paramètre vent

Un échantillon constitué des valeurs maximales quotidiennes de la force du vent sur le grand domaine est établi. Le percentile 99.9 de cet échantillon est calculé. Pour chaque jour de la période étudiée, le pourcentage de points de la grande zone dépassant la valeur du quantile 99.9 est calculé. Un tri sur ces ratios permet de ne garder que les dates combinant très forte tempête et extension spatiale importante. Arbitrairement nous ne gardons que les 40 premières dates issues de ce tri.

Traitement des paramètres marins

Pour chaque paramètre marin, on constitue un échantillon qui contient les valeurs maximales quotidiennes du paramètre sur la zone réduite. Un tri de ces valeurs permet de ne garder que les dates pour lesquelles la sévérité du paramètre est la plus forte sur la zone réduite. Arbitrairement nous ne gardons que les 40 premières dates issues de ce tri.

Le même traitement est effectué sur les données tri-horaires et conduit pour chaque paramètre marin à une liste de 40 date-heure, dont on ne retient au final que la date (la liste finale comporte donc potentiellement moins de 40 dates).

Sélection des tempêtes

Trois filtres, de plus en plus fins, sont ensuite appliqués pour affiner la sélection des dates de tempêtes.

Voici la description de ces filtres et leur résultat dans le cas spécifique de la zone GLC,

1) union des 4 listes établies au pas de temps quotidien. Pour GLC, 90 dates de tempêtes ont ainsi été sélectionnées.

2) intersection de la liste établie sur le paramètre vent et de l'union des trois listes établies au niveau quotidien des paramètres marins. Pour GLC, 12 dates de tempêtes ont ainsi été sélectionnées.

3) intersection de la liste établie sur le paramètre vent et de l'union des trois listes établies au niveau tri-horaires des paramètres marins. Pour GLC, 4 dates de tempêtes ont ainsi été sélectionnées.

Les résultats de ces filtres, obtenus de façon objective, sont croisés avec d'autres inventaires de tempêtes, mais aussi avec une analyse de données observées afin de valider, hiérarchiser et sélectionner les dates de tempêtes les plus pertinentes parmi celles issues de la méthodologie décrite ci-dessus.

Pour GLC, les douze situations retenues par le second filtre sont sélectionnées et décrites en annexe A.

2.2 Tableau des 12 tempêtes analysées

La force du vent est exprimée en Beaufort (Bf- échelle détaillée en section 10.1 de [Chatel et al. V2.1, 2025] et présentée dans le tableau 1 ci-dessous).

Les directions de vent sont exprimées en secteurs d'où vient le vent : N = nord, S = sud, W = ouest, E = est.

A noter que les vents maximum indiqués sont des vents moyens établis, au cours de plusieurs heures, et exprimés en force Beaufort. La hauteur de référence pour les mesures de vent est de 10 m au-dessus du sol (rappelons qu'aucune mesure de rafale n'est disponible sur la zone d'étude et que les valeurs des rafales maximales enregistrées par les sémaphores peuvent être influencées par un environnement de mesure divergeant de la norme prescrite : l'anémomètre peut être placé à une hauteur inadéquate ou l'emplacement du sémaphore, parfois en bord de falaise, peut entraîner des turbulences parasitant la mesure du vent (voir le §11.1 de la note [Chatel et al., V2.1, 2025] à ce sujet).

Parfois employée dans les commentaires relatifs à ces tempêtes et à l'état de la mer, l'échelle de Douglas est présentée dans le tableau 2.

Degré Beaufort (Bf)	Dénomination	Vitesse du vent à 10 m (en m/s)	État de la mer au large
0	*Calme*	*0 à 0,2*	*la mer est comme un miroir*
1	*Très légère brise*	*0,3 à 1,5*	*il se forme des rides, mais il n'y a pas d'écume*
2	*Légère brise*	*1,6 à 3,3*	*vaguelettes courtes ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse mais ne déferlent pas*
3	*Petite brise*	*3,4 à 5,4*	*très petites vagues ; écume d'aspect vitreux, apparition de moutons*
4	*Jolie brise*	*5,5 à 7,9*	*petites vagues devenant plus longues ; moutons nombreux*
5	*Bonne brise*	*8,0 à 10,7*	*vagues modérées, allongées ; moutons nombreux*
6	*Vent frais*	*10,8 à 13,8*	*des lames se forment ; crêtes d'écume blanche plus étendues, embruns*
7	*Grand frais*	*13,9 à 17,1*	*la mer grossit ; l'écume est soufflée en traînées ; lames déferlantes*
8	*Coup de vent*	*17,2 à 20,7*	*lames de hauteur moyenne ; de leurs crêtes se détachent des tourbillons d'embruns*
9	*Fort coup de vent*	*20,8 à 24,4*	*grosses lames ; leur crête s'écroule et déferle en rouleaux, visibilité réduite par les embruns*
10	*Tempête*	*24,5 à 28,4*	*très grosses lames à longues crêtes en panache ; déferlement en rouleaux intense et brutal*
11	*Violente tempête*	*28,5 à 32,6*	*lames exceptionnellement hautes ; mer recouverte de bancs d'écume blanche*
12	*Ouragan*	*+ de 32,7*	*air plein d'écume et d'embruns ; mer entièrement blanche ; visibilité très réduite*

Tableau 1 : Echelle de Beaufort

Échelle de Douglas	Termes descriptifs	Hauteur significative (en m)
0	calme	hauteur = 0 m
1	ridée	0 < hauteur < 0,10 m
2	belle	0,10 < hauteur < 0,50 m
3	peu agitée	0,50 < hauteur < 1,25 m
4	agitée	1,25 < hauteur < 1,50 m
5	forte	2,50 < hauteur < 4,00 m
6	très forte	4,00 < hauteur < 6,00 m
7	grosse	6,00 < hauteur < 9,00 m
8	très grosse	9,00 < hauteur < 14,00 m
9	énorme	Hauteur > 14,00 m

Tableau 2 : Echelle de Douglas

La sélection des tempêtes figure dans le tableau ci-après.

Événements	Vent max. sur zone GLC		Commentaires[2]
	Direction	Force en Beaufort	
30 janvier 1986	N à NE	5-6	Dépression en Méditerranée se creusant jusqu'à 969 hPa au large de Barcelone et générant un violent vent d'est à nord-est sur la Côte d'Azur, de nord-est très fort sur le Golfe du Lion. Mer très forte au large du Languedoc-Roussillon.
14 janvier 1987	NO	6-7	Dépression se déplaçant d'Espagne à la mer de Ligure en générant une forte Tramontane sur le golfe du Lion ainsi qu'une tempête de neige sur le Roussillon. Rafales de 86 km/h à Sète et 126 km/h à Perpignan. Mer forte à très grosse du large du golfe du Lion aux Baléares.
8 février 1996	NO	10	Dépression traversant la France de la Manche à la Méditerranée et engendrant une tempête avec des vents forts de nord-ouest. Rafale de 169 km/h enregistrée au sémaphore de Cap Béar (66).
15 et 16 décembre 1997	ESE	10	Vaste dépression au large du Portugal engendrant un flux d'est-sud-est très rapide. Rafale de 180 km/h enregistrée au sémaphore de Leucate (11).
10 et 11 novembre 2001	N	6	Tempête Torsten : Tramontane, Mistral et vent d'est forts de la côte d'Azur au golfe du Lion entre un anticyclone du proche Atlantique à l'Europe de l'Est et une dépression sur la Méditerranée. Rafales enregistrées de 137 km/h à Leucate et 130 km/h au cap Béar.
31 janvier 2003	N	5-6	Tempête de nord à nord-ouest sur le pourtour méditerranéen sous l'influence d'une dépression 995 hPa à l'ouest de la Sardaigne. Rafales de 104 km/h à Perpignan et Sète. Mer forte à très grosse, du large du golfe de Gascogne aux Baléares.
3 et 4 décembre 2003	E	9	Vaste système dépressionnaire sur le Sud de la France engendrant un flux d'est très rapide sur la partie nord de la Méditerranée occidentale. Rafale de 140 km/h enregistrée au sémaphore de Leucate (11). Mer forte à très forte autour de la zone.
20 et 21 février 2004	ESE	9	Dépression remontant le long de la côte orientale de l'Espagne générant de forts vents d'Est à Sud-Est ; rafale à 140 km/h mesurée au sémaphore de Leucate (11).
26 et 27 décembre 2008	ENE	9	Dépression se creusant et gagnant le sud-est de l'Espagne. Le soir du 26, elle génère la tempête Britta caractérisée par des vents forts d'Est-Nord-Est ; rafale à 112 km/h enregistrée au sémaphore du Cap Béar (66).
24 janvier 2009	NO à N	6-7	Tempête Klaus : dépression très creuse traversant la France d'ouest en est et générant une tramontane exceptionnellement forte ; rafale à 90 km/h à Sète (34) et 154 km/h à Leucate (11).
6 mars 2013	E	9-10	Dépression sur la côte Est de l'Espagne générant un flux de secteur Est rapide sur l'ouest de la Méditerranée ; rafale à 132 km/h relevée au sémaphore de Leucate (11). Mer forte à très forte autour de la zone ; une hauteur significative de 6,1 m avec une période de 10 s sont observées à la bouée de Leucate.
5 mars 2015	N	5-6	Tempête Anton avec un anticyclone 1 040 hPa sur l'ouest de la France et une dépression 998 hPa en mer Tyrrhénienne provoquant de violentes rafales de vent sur le sud-est du pays et une mer très forte à grosse sur la Méditerranée occidentale. Rafale de 114 km/h à Leucate (11).

Tableau 3 : Liste des tempêtes analysées

2 Les valeurs de houle proviennent du réseau de mesures Candhis.

Ces 12 tempêtes ont été analysées de façon plus précise : cette analyse est présentée sous forme de fiches - voir liste en annexe A.

Parmi elles, 6 tempêtes ont été retenues (en gras dans le tableau ci-dessus) pour être rejouées et étudiées plus finement en termes d'état de mer (cf sections 2.3 et 3).

2.3 Liste des tempêtes retenues pour les rejeux de vagues

Les situations retenues et listées dans le tableau figurant au chapitre précédent constituent un échantillon représentatif de tempêtes ayant touché la zone Golfe du Lion Centre.

Parmi cette liste, les experts de Météo-France ont retenu 6 événements pour lesquels la formation des vagues est modélisée à l'aide d'une simulation numérique à mailles fines. Ces 6 événements ont été retenus pour la capacité à générer de fortes vagues ou des vagues de caractéristiques particulières sur la zone d'étude.

Les dates retenues figurent dans le tableau suivant par ordre chronologique.

Événements	Vent max. Zone	
	Dir.	Force (Bf)
30 janvier 1986	N à NE	5-6
14 janvier 1987	NO	6-7
10 et 11 novembre 2001	N	6
31 janvier 2003	N	5-6
24 janvier 2009	NO à N	6-7
5 mars 2015	N	5-6

Tableau 4 : Liste des tempêtes sélectionnées pour être rejouées

3 Rejeux de situations

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des simulations de vagues obtenues à l'aide de modèles à mailles fines pour 6 épisodes de vents forts sélectionnés sur la base des éléments décrits précédemment.

Dans les illustrations à suivre, Hs représente la hauteur significative de mer totale issue de l'analyse spectrale (mer du vent et houle) et la période correspond à la période moyenne de la mer totale d'ordre inverse en sortie de modèle WaveWatch III. Cette période est nommée T0m1 ou mwp dans la nomenclature des données fournies.

Les directions, hauteurs et périodes de houle mentionnées correspondent aux valeurs de houle primaire en sortie de modèle WaveWatch III.

Faute de LiDAR présent sur la zone, les simulations et estimations des valeurs des différents paramètres (mer du vent, houle et mer totale) sont réalisées sur le point 42,97° N - 3,88° E centré sur la zone, également sélectionné dans les autres lots de la convention.

3.1 Méthodologie

La méthode est décrite en §9 de la note [Chatel et al., V2.1, 2025]. Le modèle de rejeu utilisé est WaveWatch III (WW3).

Ce modèle WW3 est forcé par les vents issus des données de réanalyses CERRA (**C**opernicus **E**uropean **R**egional **R**e**A**nalysis).

3.2 Situation du 30 janvier 1986

3.2.1 Rappel des conditions météorologiques

Un centre dépressionnaire sur l'Islande se décale lentement vers les Baléares et se creuse dans l'après-midi et la soirée du jeudi 30 janvier 1986 jusqu'à atteindre 969 hPa au large de la Costa Brava. Il génère sur le golfe du Lion un flux de secteur est à sud-est rapide avec des rafales de 115 km/h enregistrées à Sète, jusqu'à 150 km/h sur les îles du Levant.

3.2.2 Analyse des résultats

Au fur et à mesure du fraîchissement du vent, la mer peu agitée à agitée du début d'après-midi du 30 janvier se lève progressivement pour atteindre un état de mer très forte.

Ainsi, sur la zone, une houle d'est présente au matin du 30 janvier cède le pas à une houle de sud à sud-est à la mi-journée. Elle atteint son maximum en cours de nuit du 30 au 31 janvier (2,7 m à 00 UTC au point central de la zone) puis s'amortit le lendemain.

Au cours de la tempête, la mer du vent de secteur est générée par le vent fort vient s'ajouter à cette houle pour former une mer forte et légèrement croisée.

Au plus fort de l'état de mer, dans la nuit du 30 au 31 janvier, on peut constater sur l'illustration 3 ci-dessous représentant la hauteur significative maximale de la mer totale sur la durée de l'événement, deux noyaux voisins de 5 mètres, de part et d'autre de la zone GLC.

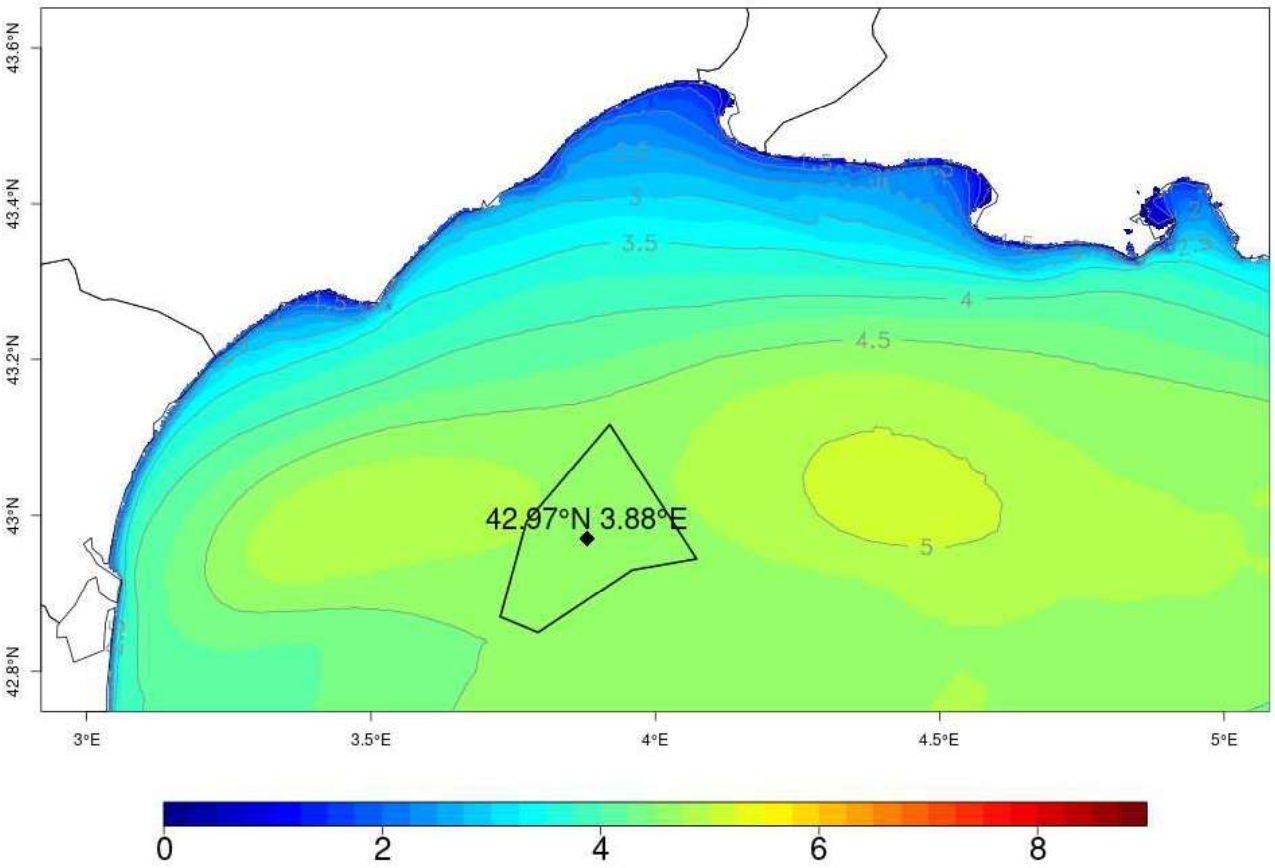


Illustration 3 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 30/01/1986 simulée par le modèle WW3.
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 30 jan. à 06 UTC et le 31 jan. à 18 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

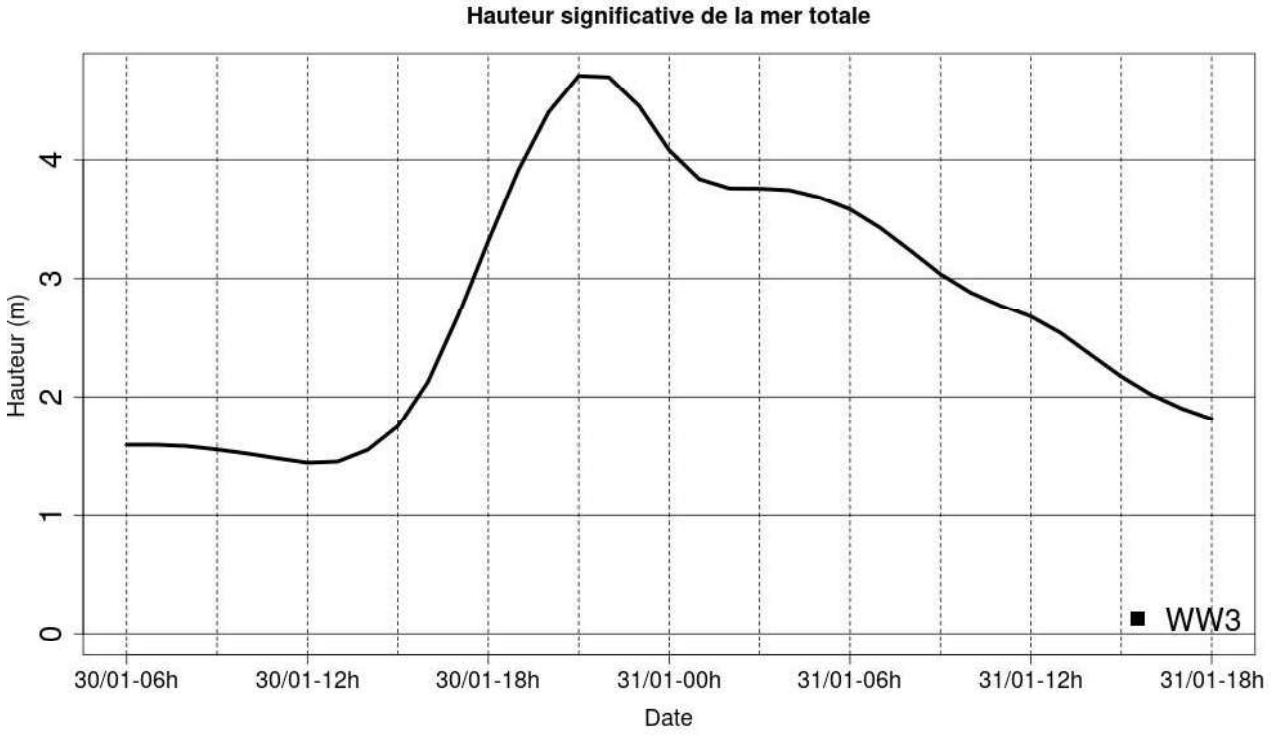


Tableau 5 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 30/01/1986 – simulée par le modèle WW3

3.2.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	4,7 m
Date / Heure (simulation WW3)	30/01/1986 vers 21 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent d'E et houle de SE (à 21 UTC)
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Mer du vent et houle

Tableau 6 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 30 janvier 1986

3.3 Situation du 14 janvier 1987

3.3.1 Rappel des conditions météorologiques

Dans la nuit du 13 au 14 janvier, une dépression en provenance de l'Atlantique pénètre en Méditerranée, via le nord de l'Espagne et se positionne entre les Baléares et le Roussillon. Sur sa face Est, elle provoque sur le Roussillon une entrée d'air maritime accompagnée de quelques précipitations verglaçantes.

Alors que la France était jusqu'ici sous l'influence d'un puissant anticyclone scandinave et de températures très basses, très rapidement, le courant de nord s'installe et des précipitations neigeuses touchent le sud de la France. La Tramontane souffle alors en tempête et provoque congères et blizzard sur la couche de verglas.

3.3.2 Analyse des résultats

Alors que le mercredi 14 janvier 1987 au matin, la mer est peu agitée à agitée dans le golfe du Lion, la mer grossit au cours de la journée. En fin de journée et la nuit suivante, la mer est grosse à très grosse (7 à 9 mètres) au large des Baléares, de la Corse et de la Sardaigne. Le lendemain, elle s'amortit progressivement.

Sur la zone GLC, dès le mardi 13 janvier au matin, une houle d'est apparaît : voisine de 0.5 mètre en début de matinée, elle s'élève rapidement pour mesurer près 1.5 mètre en début d'après-midi puis, plus lentement, plafonne autour de 1.6 mètre de la nuit au lendemain après-midi (maximum de 1.64 mètre le mercredi 14 janvier vers 16 UTC). A l'arrière de la tempête, cette houle d'est s'étalera puis cédera le pas à une houle d'ouest-sud-ouest la nuit suivante.

Parallèlement, la mer du vent voisine de 0.5 mètre et orientée au sud-est le 13 janvier au soir s'élève et tourne à l'ouest-nord-ouest au fil de la nuit. Tandis que la tramontane s'établit le 14 janvier, cette mer du vent d'ouest-nord-ouest, qui atteint l'après-midi jusqu'à 4.2 mètres, vient former une mer croisée avec la houle.

La hauteur maximale de la mer totale est de 4.5 mètres en milieu d'après-midi, vers 15 UTC.

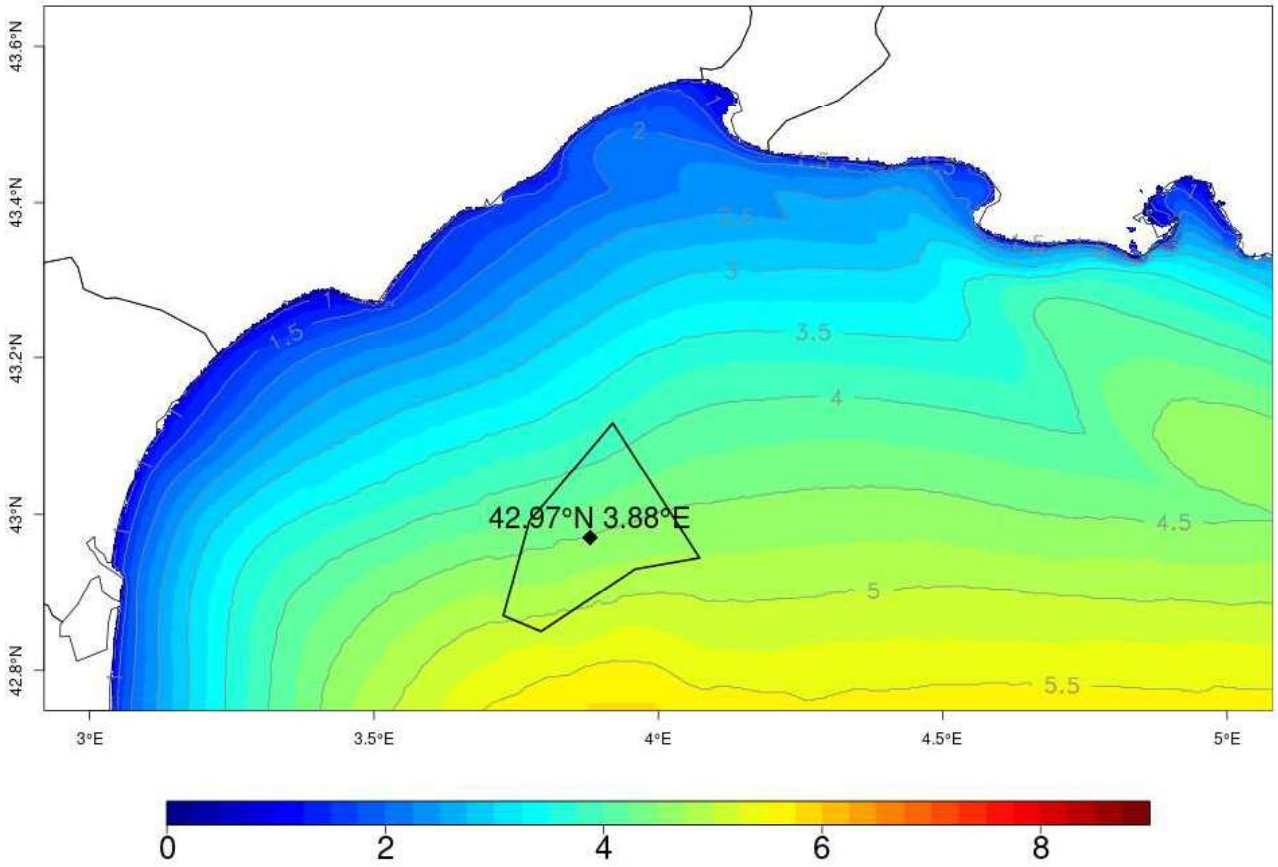


Illustration 4 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 14/01/1987 simulée par le modèle WW3.
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 13 jan. à 06 UTC et le 15 jan. à 06 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

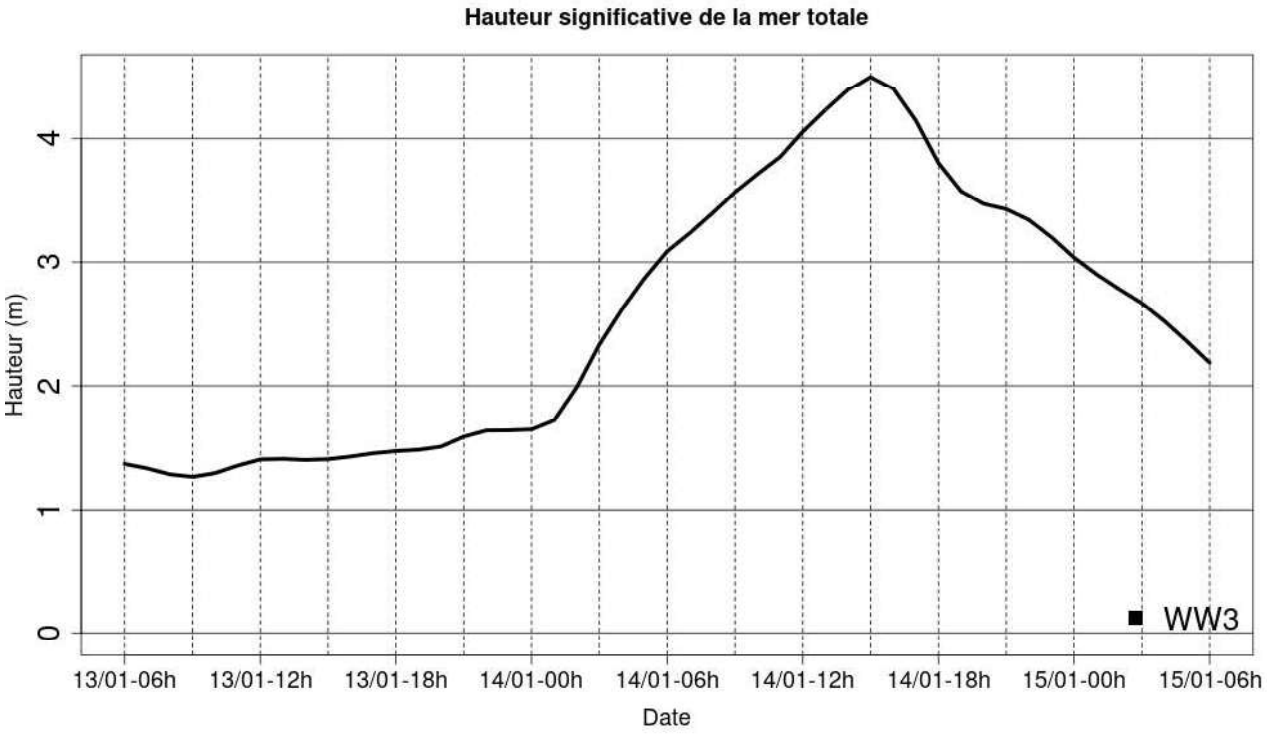


Illustration 5 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 14/01/1987 – simulée par le modèle WW3

3.3.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	4,50 m
Date / Heure (simulation WW3)	14/01/1987 vers 15 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent d'ONO et houle d'E
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Mer croisée avec mer du vent dominante

Tableau 7 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 14 janvier 1987

3.4 Situation des 10 et 11 novembre 2001 (tempête Torsten)

3.4.1 Rappel des conditions météorologiques

Dès le samedi 10 novembre, sous l'influence de hautes pressions, 1035 hPa, centrées au sud-ouest de l'Irlande et se prolongeant par une dorsale jusqu'aux Balkans ainsi que de basses pressions sur le bassin occidental méditerranéen centrées sur le Maghreb, le vent souffle déjà fort sur le littoral méditerranéen. La direction des vents s'échelonne alors entre l'est sur la côte d'Azur, le nord pour la zone de Mistral et le nord-ouest pour la zone de Tramontane.

Au cours de la journée du 10 novembre et de la nuit suivante, la dépression située sur le Maghreb se creuse et se dirige vers le nord. Le dimanche 11 novembre au matin, elle est ainsi positionnée sur les Baléares à près de 988 hPa. Elle s'accompagne d'une perturbation pluvio-orageuse. Sur la zone, comme le long de toute la côte méditerranéenne française, le gradient de pression se resserre et engendre des vents tempétueux.

3.4.2 Analyse des résultats

Le samedi 10 novembre 2001, la mer du vent orientée au nord à nord-nord-est oscille entre 1.4 et 1.8 mètre. Au cours de la nuit suivante et de la journée du 11 novembre, tandis que le minimum dépressionnaire se positionne sur le nord du bassin Méditerranéen et que la tramontane se renforce, elle revient à l'ouest-nord-ouest (300° environ) et gagne quelques centimètres pour avoisiner 2 mètres (maximum de 2.06 mètres, le 11 novembre à 21 UTC).

De son côté, une houle d'est de 1 mètre environ s'installe à la mi-journée du samedi 10 novembre dans la zone GLC et s'élève très progressivement au cours des 24 heures pour atteindre une hauteur maximale de 3.8 mètres le 11 novembre vers 16 UTC.

Comme l'illustration 8 le montre, la mer totale déjà proche de 2 mètres le samedi 10 novembre au matin grossit progressivement jusqu'au 11 novembre après-midi avec une hauteur significative maximale de près de 4.3 mètres vers 16 UTC, de façon prédominante sous l'influence de cette houle d'est, opposée à la mer du vent de secteur ouest.

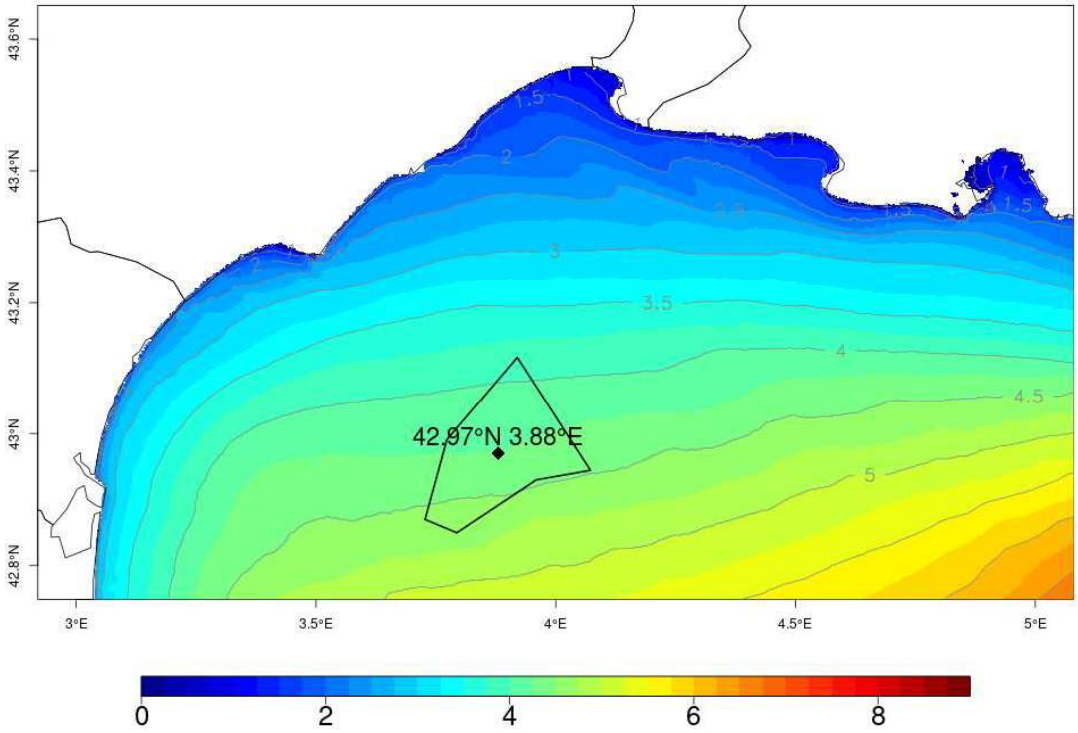


Illustration 6 : Hauteur significative de la mer totale (m) lors de la tempête des 10 et 11/11/2001 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 10 nov. à 06 UTC et le 12 nov. à 06 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

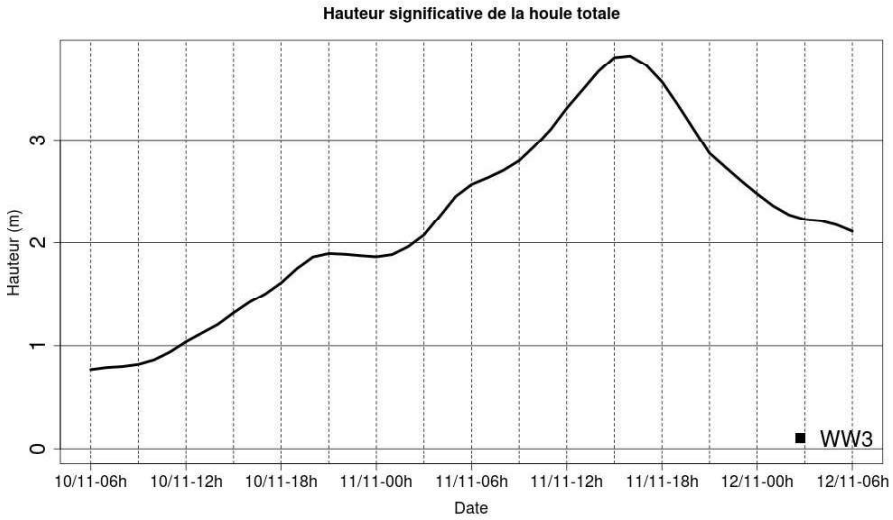


Illustration 7 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la houle totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11/11/2001 – simulée par le modèle WW3.

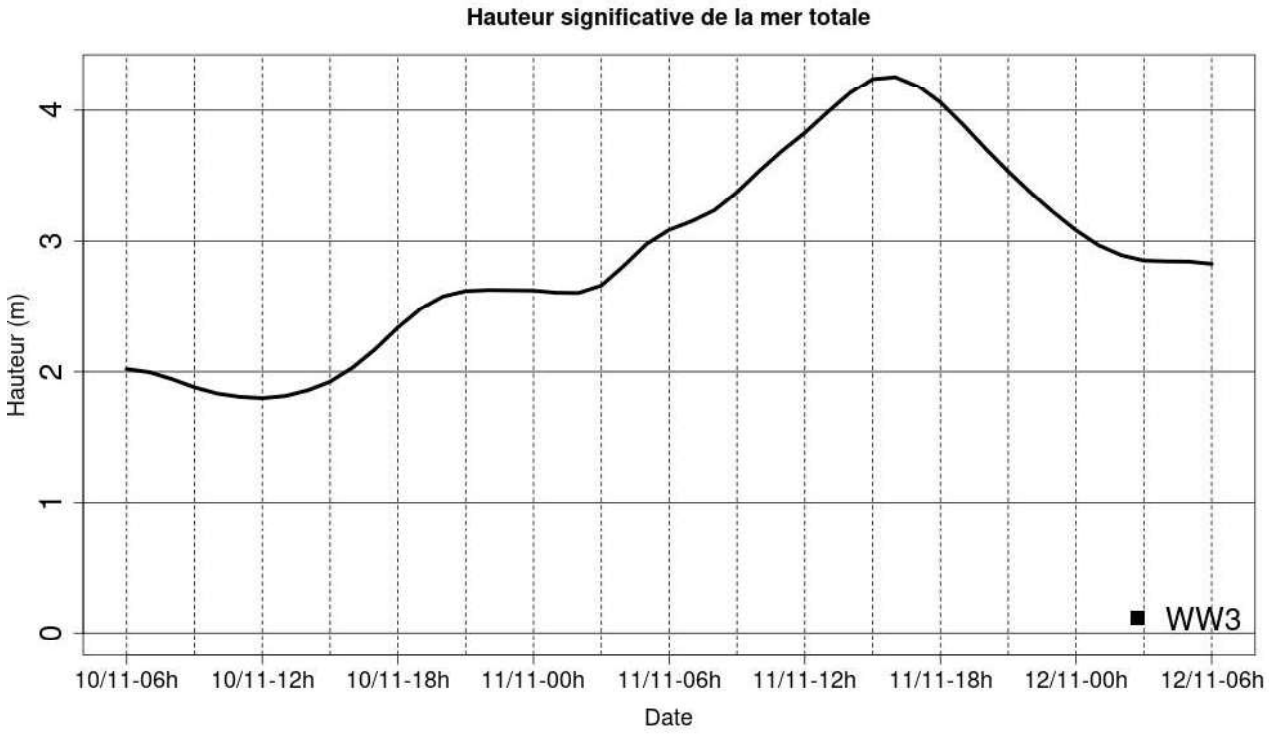


Illustration 8 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11/11/2001 – simulée par le modèle WW3

3.4.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	4,26 m
Date / Heure (simulation WW3)	11/11/2001 vers 16 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent d'ONO et houle d'E
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Houle prédominante

Tableau 8 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête des 10 et 11 novembre 2001

3.5 Situation du 31 janvier 2003

3.5.1 Rappel des conditions météorologiques

Entre une dorsale Atlantique et un vaste talweg qui, accompagné d'une invasion d'air froid, s'étend du nord de la Russie à l'Algérie, un flux très rapide de nord-ouest à nord s'organise en altitude et un minimum dépressionnaire se creuse le 31 janvier sur la Méditerranée avec un centre à 995 hPa à l'ouest de la Sardaigne.
Ainsi, un vent de secteur nord à nord-ouest fraîchit dans le golfe du Lion, s'intensifie en cours de journée et se propage à l'ensemble du bassin de la Méditerranée occidentale. Au plus fort de cette brève tempête, on relève des rafales de nord (10°) de 104 km/h à Sète (34) et Perpignan (66), 119 km/h à Leucate (11) et jusqu'à 144 au Cap Béar (66).

3.5.2 Analyse des résultats

Au cours de cette tempête, la houle joue un rôle minime : de sud et inférieure à 0.5 mètre en début de nuit du 30 janvier 2003, elle tourne en cours de nuit à l'ouest et s'élève jusqu'à près de 1 mètre en fin de nuit (hauteur significative de la houle primaire de 1.1 mètre à 6 UTC). Mais une autre petite houle d'est-nord-est lui fait concurrence dès la mi-journée du 31 janvier.

En revanche, la mer du vent d'ouest-sud-ouest de 0.8 mètre vers 21 UTC s'oriente au nord au cours de la nuit et, surtout, grossit rapidement pour atteindre 2.5 mètres dès 3 UTC. Au cours de la journée du 31 janvier où le vent est le plus intense, la mer du vent plafonne à près de 2.8 mètres entre 10 et 13 UTC tandis que la mer totale atteint sa hauteur significative maximale autour de 3 mètres (2.96 mètres selon le rejeu WW3 au point central de la zone) à 11 UTC.

La hauteur de la mer totale, comme la mer du vent, n'amorce franchement une baisse qu'en cours de soirée et début de nuit suivante.

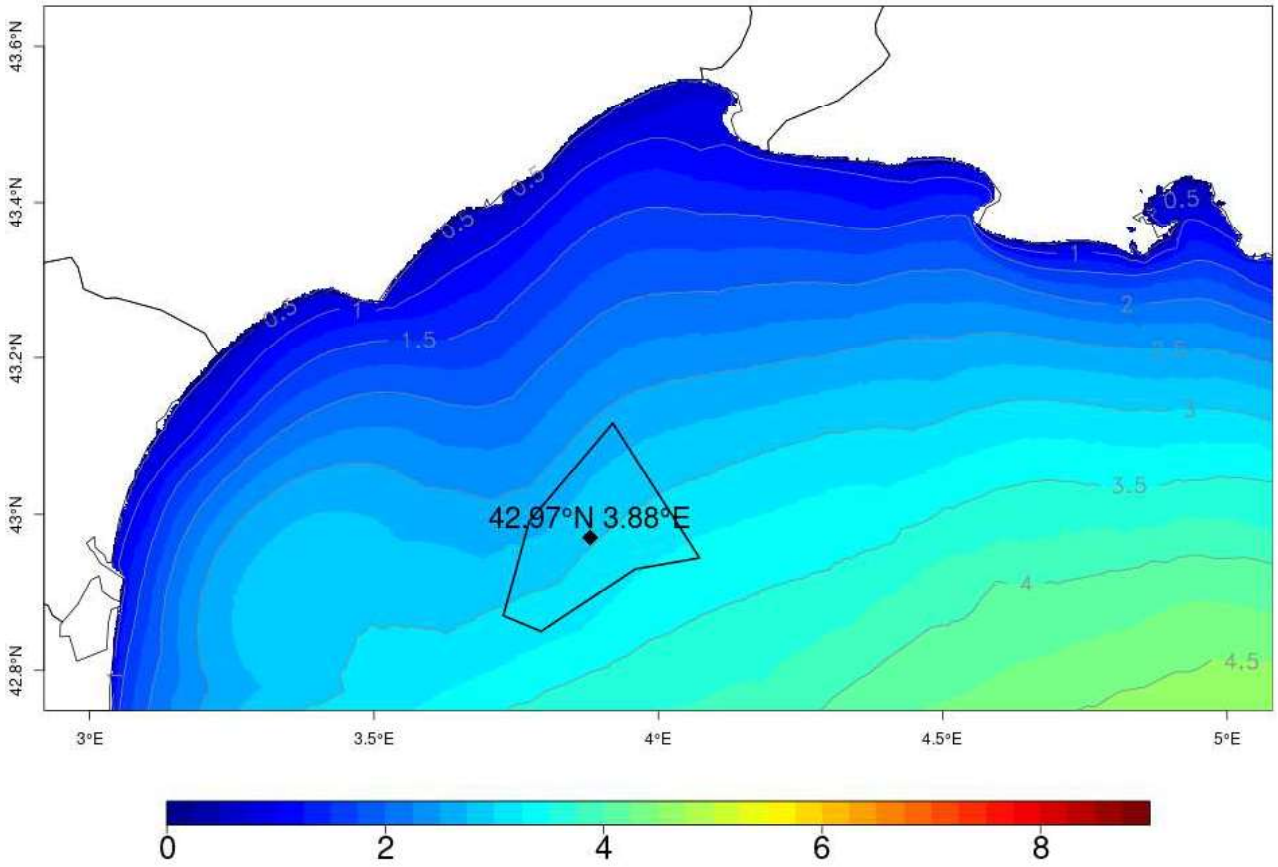


Illustration 9 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 31/01/2003 simulée par le modèle WW3.
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 30 jan. à 18 UTC et le 1er fév. à 12 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

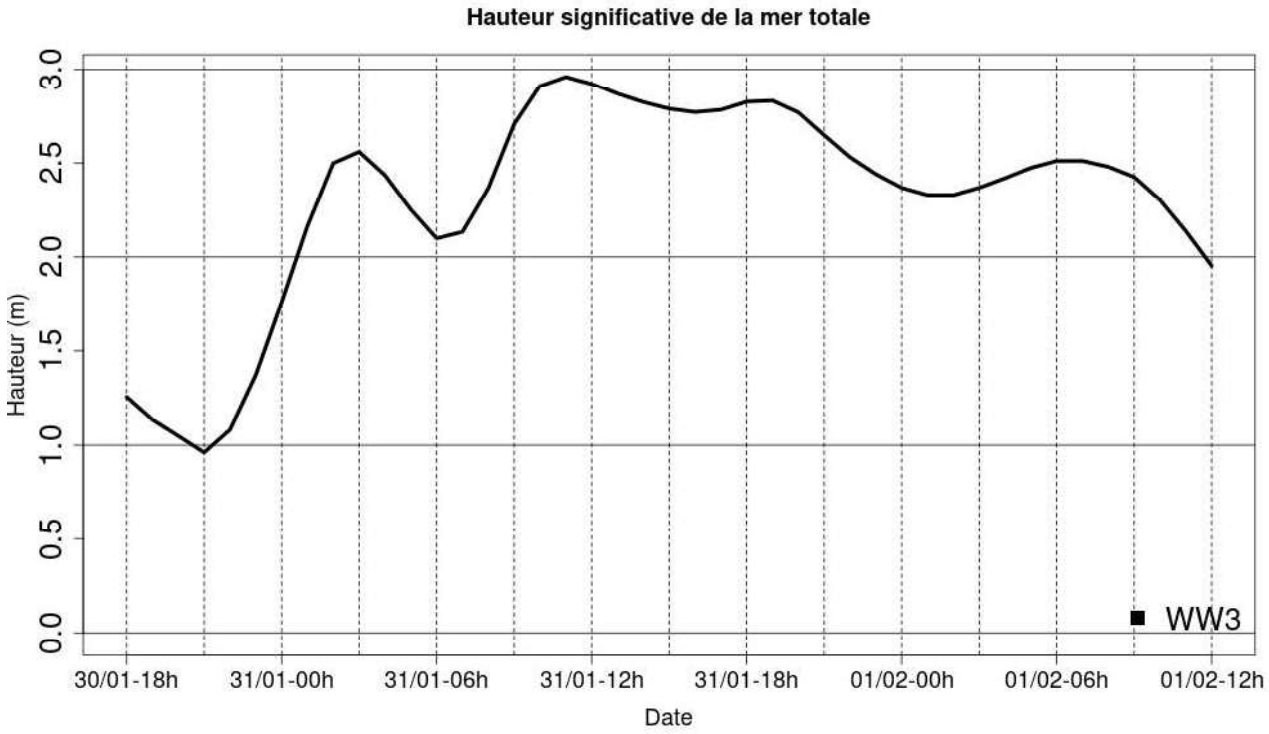


Illustration 10 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 31 janvier 2003 – simulée par le modèle WW3

3.5.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	2,96 m
Date / Heure (simulation WW3)	31/01/2003 vers 11 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent de N
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Mer du vent prédominante

Tableau 9 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 31 janvier 2003

3.6 Situation du 24 janvier 2009 (tempête Klaus)

3.6.1 Rappel des conditions météorologiques

Le 24 janvier 2009, une dépression Atlantique se creuse dans le Golfe de Gascogne. Cette tempête nommée Klaus traverse la France, de la Charente-Maritime à la région lyonnaise et à la Côte d'Azur.
Elle génère des vents très violents sur le quart Sud-Ouest et une violente tramontane en Languedoc-Roussillon, battant de nombreux records locaux. A proximité côtière de la zone GLC, on peut noter les rafales maximales de 90 km/h à Sète et 154 km/h à Leucate.

3.6.2 Analyse des résultats

Avec un vent de terre de nord à nord-ouest qui s'installe et forcit ce 24 janvier, la mer du vent se forme lentement en fin de nuit et plus franchement en cours de matinée pour grossir jusqu'à 4 mètres environ (valeur au point central de GLC) pendant près de 4 heures, entre 14 et 18 UTC.

Depuis le 22 janvier, une houle de sud-sud-ouest s'est établie sur la zone et avoisine 1 mètre le samedi 24 janvier à 00 UTC. Elle croît au cours de la journée de ce samedi pour atteindre un maximum de près de 2 mètres à la mi-journée, tandis que la mer du vent continue de se renforcer.

Ainsi la hauteur de la mer totale atteint sa hauteur maximale vers 14 UTC avec 3.5 à 4.5 mètres, avec un gradient allant du nord-ouest au sud-est sur la zone (illustration 11).

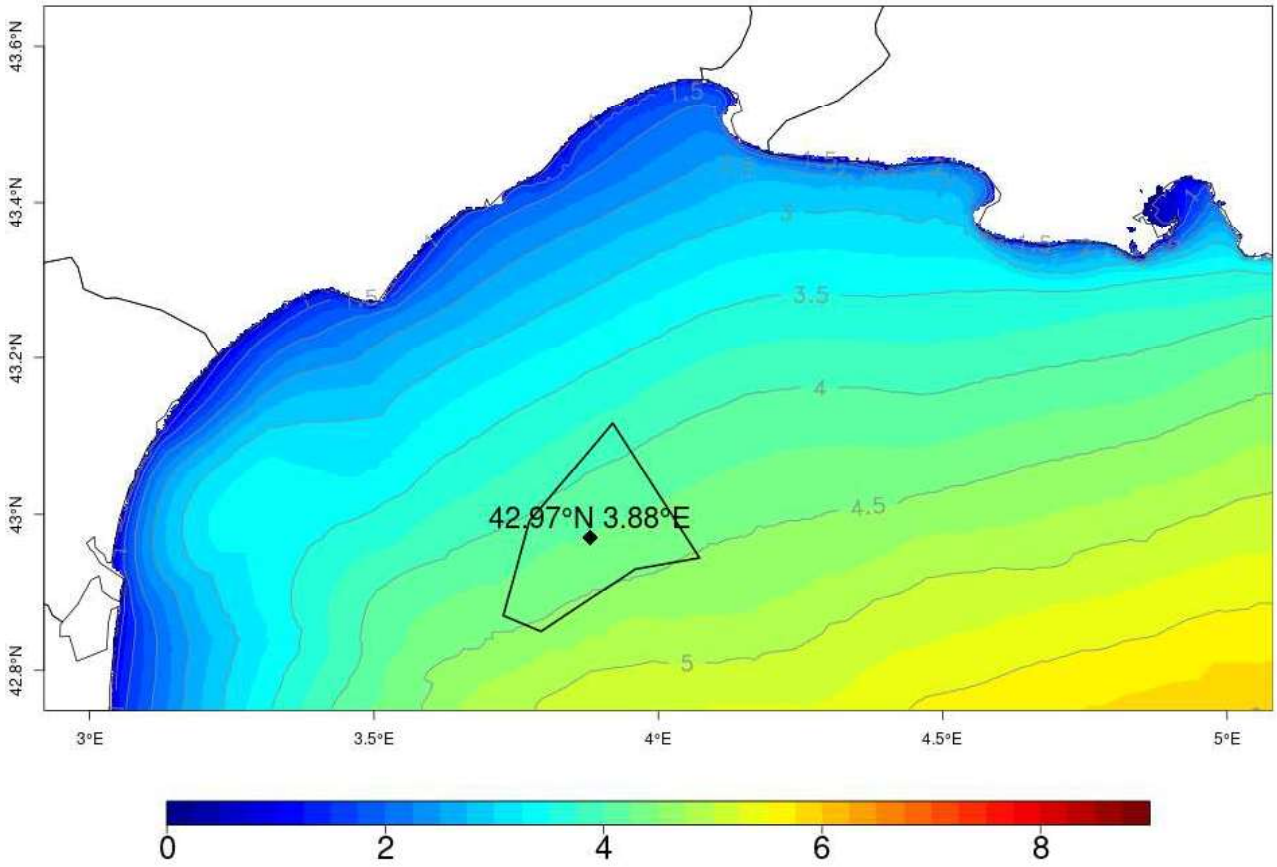


Illustration 11 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 24/01/2009 simulée par le modèle WW3.
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 jan. à 00 UTC et le 25 jan. à 12 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

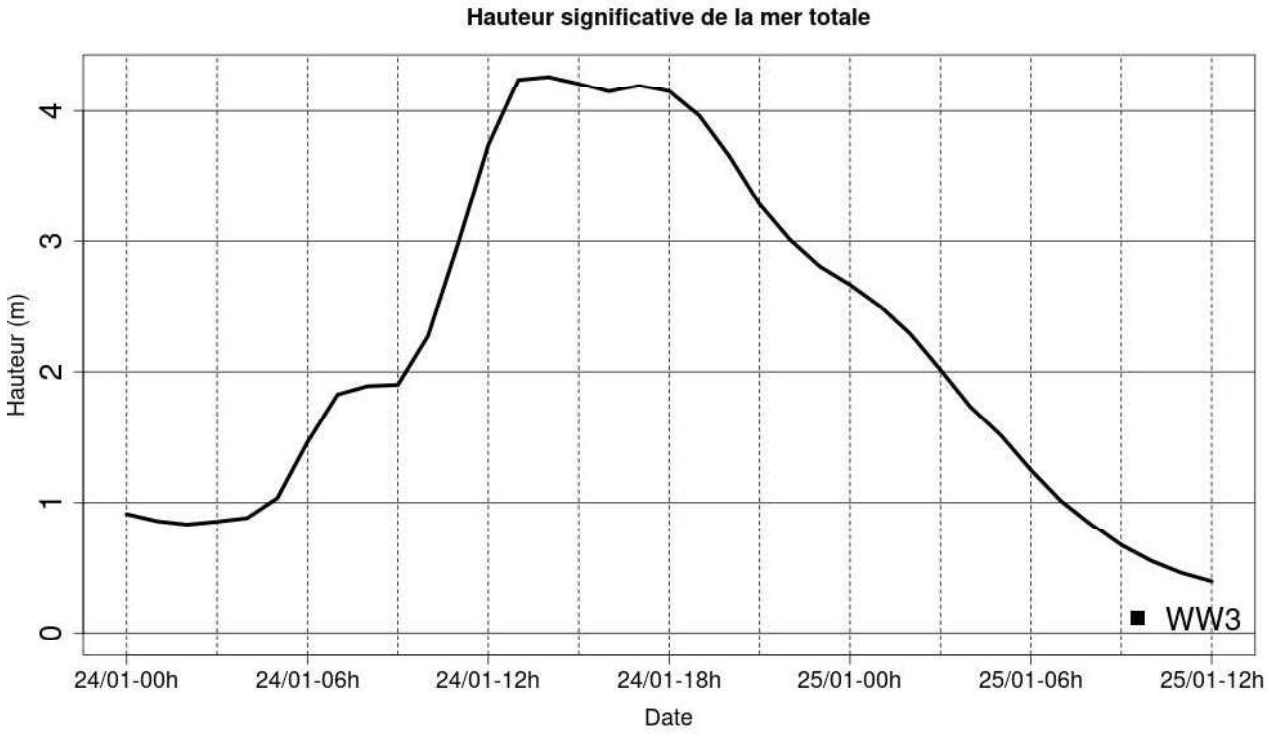


Illustration 12 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 24 janvier 2009 – simulée par le modèle WW3

3.6.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	4,3 m
Date / Heure (simulation WW3)	24/01/2009 vers 14 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent de NO et houle de SSO
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Mer du vent prédominante avec houle croisée

Tableau 10 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 24 janvier 2009

3.7 Situation du 5 mars 2015 (tempête Anton)

3.7.1 Rappel des conditions météorologiques

Le 5 mars 2015, un anticyclone 1040 hPa se renforce sur l'ouest de la France tandis qu'une dépression 998 hPa se creuse en mer Tyrrhénienne, provoquant de violentes rafales de vent sur le sud-est du pays et une mer très forte à grosse sur la Méditerranée occidentale.
Les rafales de vent dans le secteur de la Tramontane atteignent jusqu'à 114 km/h à Leucate (11). Mais entre le secteur de la Tramontane et celui du Mistral, on relève seulement 77 à 83 km/h, respectivement à Béziers (34) et Montpellier (34).

3.7.2 Analyse des résultats

Deux houles sont présentes sur la zone au cours de cette tempête : une houle de secteur ouest qui s'est élevée lentement de 0.3 à 1 mètre entre le 4 mars à 12 UTC et le 5 mars à 12 UTC, et une houle de nord-est d'environ 0.7 mètre qui prend ensuite le pas entre 17 et 22 UTC.

Mais c'est la mer du vent qui domine l'état de la mer dans le Golfe du Lion et en particulier sur la zone GLC au cours de cet événement et donne l'allure générale de la courbe de l'illustration 14 représentant la hauteur significative de la mer totale.

Déjà proche de 1.5 mètre, le 4 mars à 12 UTC, la mer du vent d'ouest-nord-ouest devient forte en cours de nuit du 4 au 5 mars (2.25 mètres atteints entre 20 et 21 UTC, au point central de la zone) et tourne peu à peu au nord pour la fin de nuit ainsi que tout au long de la journée du 5 mars. Elle plafonne ainsi autour de 2.5 mètres entre 6 et 11 UTC tandis que la mer totale atteint une hauteur significative maximale de 2.7 mètres vers 10 UTC.

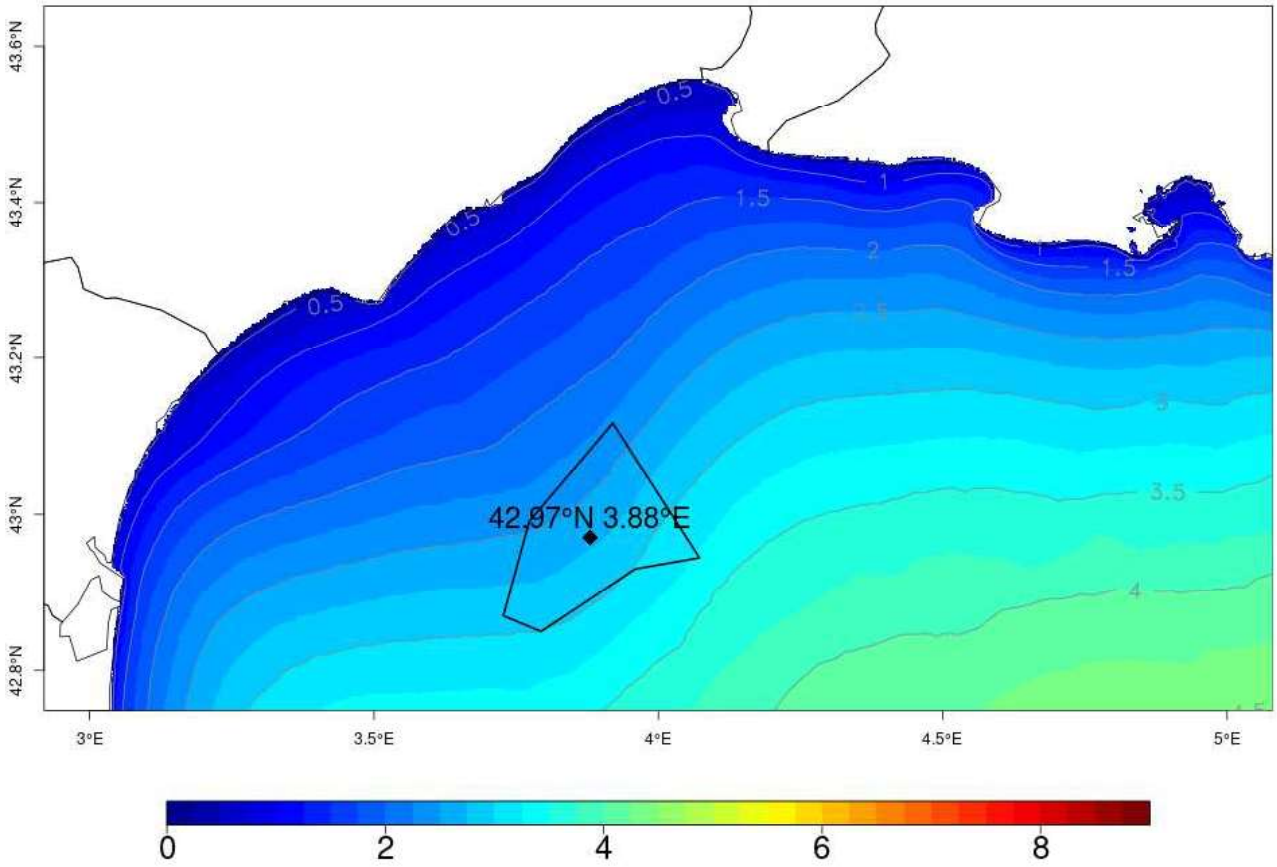


Illustration 13 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 5/03/2015 simulée par le modèle WW3.
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 4 mars à 12 UTC et le 6 mars à 12 UTC)
Le losange noir représente la position centrale de la zone.

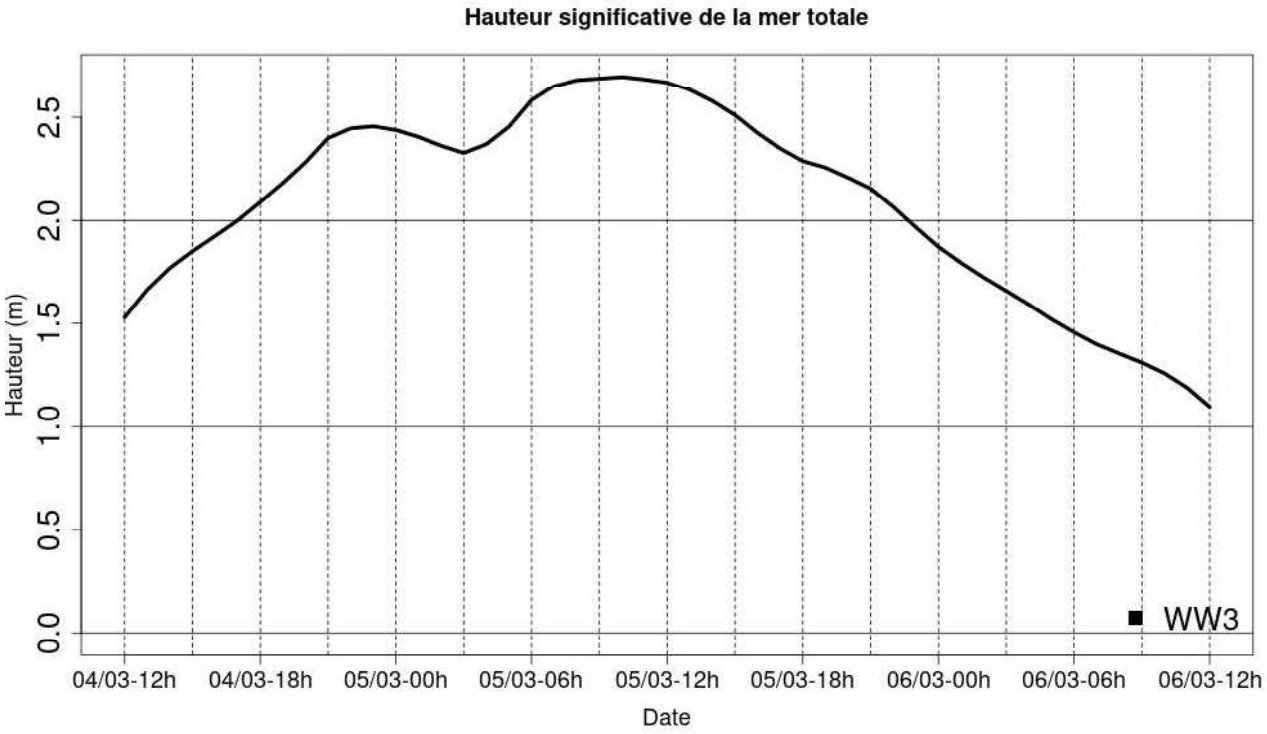


Illustration 14 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 42,97° N et 3,88° E – tempête du 5 mars 2015 – simulée par le modèle WW3

3.7.3 Caractéristiques principales

	Point de grille 42,97° N et 3,88° E
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	2,70 m
Date / Heure (simulation WW3)	05/03/2015 vers 10 UTC
Direction (simulation WW3)	Mer du vent de N
Contribution mer du vent/houle (simulation WW3)	Mer du vent prédominante

Tableau 11 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (simulation WW3) au point 42,97° N et 3,88° E – tempête du 5 mars 2015

Annexes

Table des annexes

Annexe A : les fiches tempêtes.....27
Annexe B : Comparaison des résultats WaveWatchIII Météo-France et MEDIWAT du SHOM.....28
Situation du 31 janvier 2003.....29
Situation du 24 janvier 2009.....30
Situation du 5 mars 2015.....31
Conclusion.....32

Annexe A : les fiches tempêtes

Les tempêtes identifiées dans la liste suivante font l'objet de fiches descriptives distinctes, accompagnant ce rapport.

Épisode sélectionné	Fichier associé
30 janvier 1986	L2.RA-FT-19860130_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
14 janvier 1987	L2.RA-FT-19870114_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
8 février 1996	L2.RA-FT-19960208_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
15 et 16 décembre 1997	L2.RA-FT-19971216et17_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
10 et 11 novembre 2001	L2.RA-FT-20011110et11_MeteoF-DGEC_GLC_B2_20251104
31 janvier 2003	L2.RA-FT-20030131_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
3 et 4 décembre 2003	L2.RA-FT-20031203et04_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
20 et 21 février 2004	L2.RA-FT-20040220et21_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
26 et 27 décembre 2008	L2.RA-FT-20081226et27_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
24 janvier 2009	L2.RA-FT-20090124_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
6 mars 2013	L2.RA-FT-20130306_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912
5 mars 2015	L2.RA-FT-20150305_MeteoF-DGEC_GLC_B1_20250912

Annexe B : Comparaison des résultats WaveWatchIII Météo-France et MEDIWAT du SHOM

Une comparaison des résultats obtenus est réalisée entre :

- les situations rejouées par Météo-France avec WaveWatchIII (WW3-MF) ;

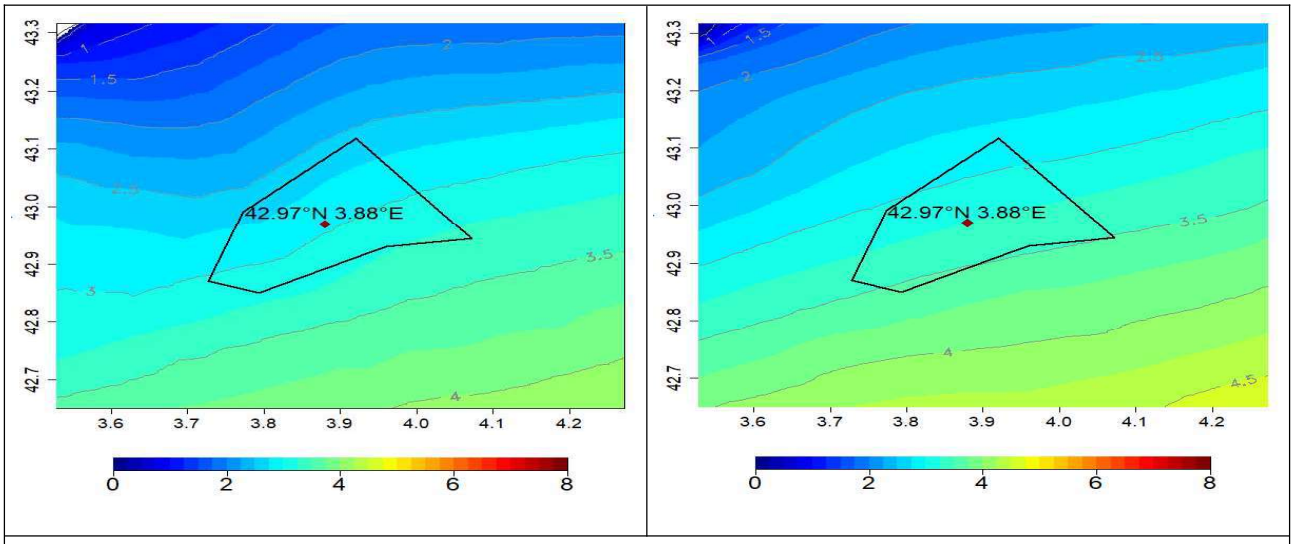
  La configuration du modèle Wavewatch III® utilisée a été développée dans le cadre du projet HOMONIM (Historique Observation MOdélisation des NIveaux Marins, Jourdan et al. 2020).

- le rejeu climatologique 2003-2022 d'états de mer sur la façade méditerranéenne du SHOM MEDIterranean Waves hindcasT (MEDIWAT-SHOM).

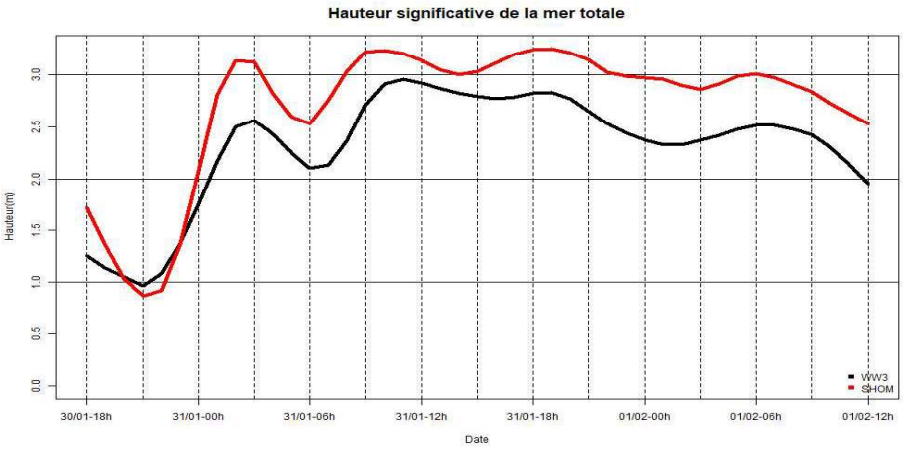
  Ce rejeu est forcé par la réanalyse atmosphérique ERA5 (à une résolution temporelle horaire et spatiale de 30 km). Il a été réalisé par le SHOM et financé par la DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat) dans le cadre des études préliminaires de caractérisation initiale et de dérisquage des futurs sites éoliens en mer Méditerranée. (Convention SHOM / MTES [DGEC] EJ n°2 201 254 466 ; Shom n° 79/2019).

Le rejeu climatologique du SHOM ne démarrant qu'en 2003, seules trois situations parmi les six rejouées par Météo-France font l'objet d'une comparaison.

Situation du 31 janvier 2003



Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 31/01/2003 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 30 janvier à 18 UTC et le 1er février à 12 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle MEDIWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position centrale de la zone.

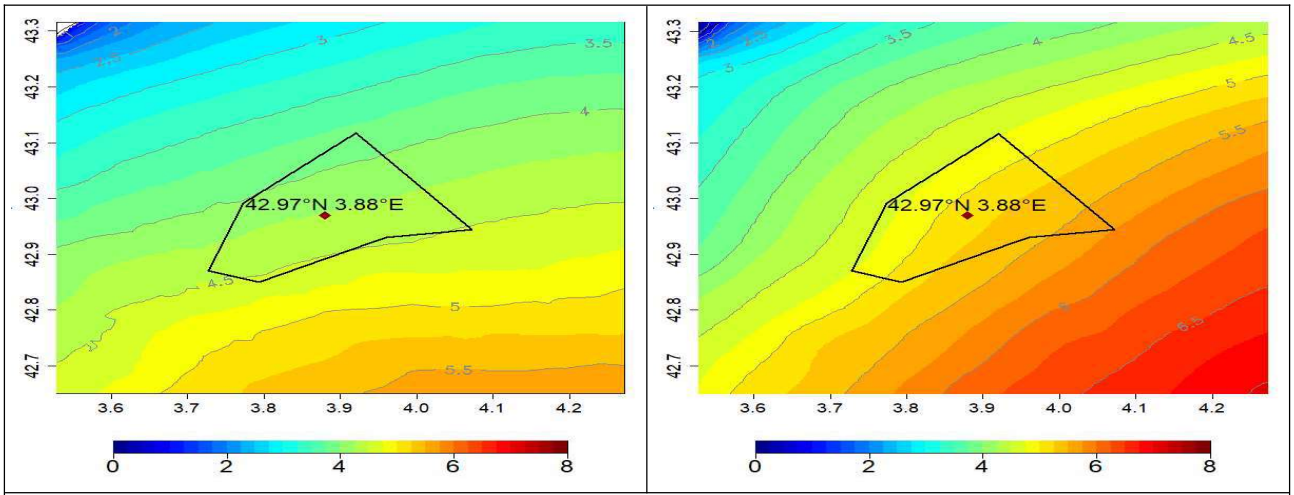


Evolution temporelle de Hs au point de grille 42.97° N 3,88° E de la tempête du 31/01/2003 simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle MEDIWAT-SHOM (en rouge)

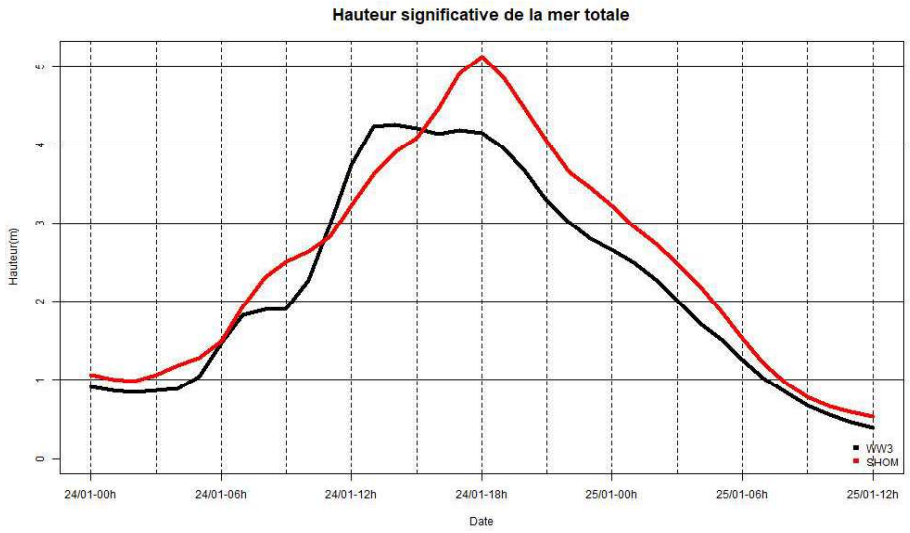
La temporalité des deux simulations est très proche. Il existe une légère différence sur les heures des maxima, ceux de la simulation SHOM précédant d'une heure ceux de la simulation de Météo-France.

Sur la zone, la hauteur significative maximale de la mer totale pour l'ensemble de l'épisode est plus faible d'une trentaine de centimètres dans la simulation de Météo-France. Les deux simulations donnent à ce paramètre un gradient croissant du nord-ouest au sud-est.

Situation du 24 janvier 2009



Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 24/01/2009 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 janvier à 04 UTC et le 25 janvier à 12 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle MEDIWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position centrale de la zone.

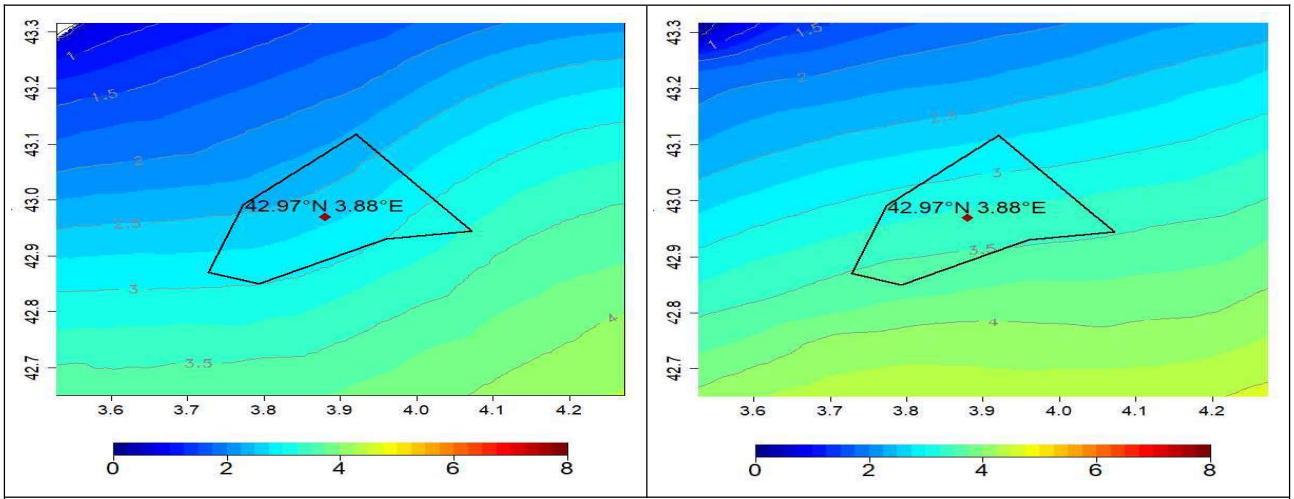


Evolution temporelle de Hs au point de grille 42.97° N 3,88° E de la tempête du 24/01/2009 simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle MEDIWAT-SHOM (en rouge)

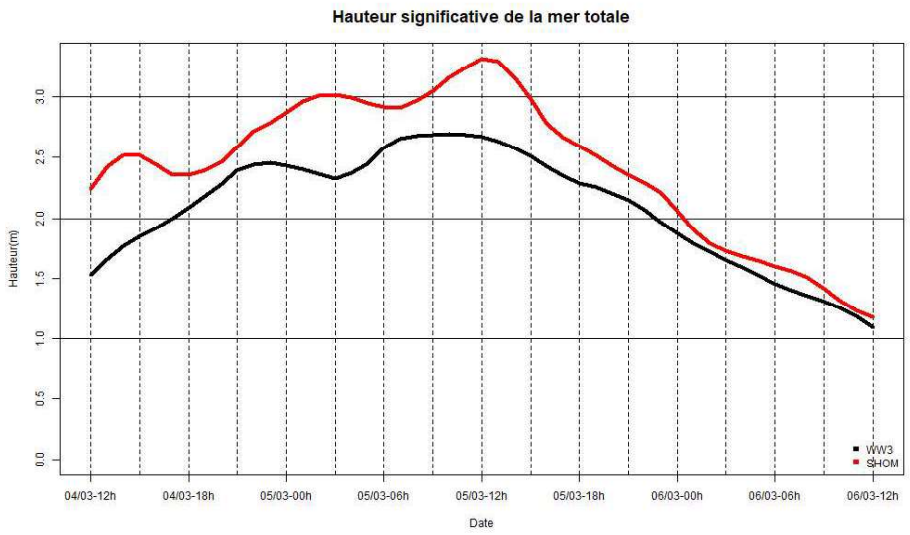
Le modèle MEDIWAT-SHOM montre un gradient moins zonal de la hauteur significative de la mer totale que le modèle de Météo-France.

De plus, au niveau temporalité, le modèle MEDIWAT-SHOM fait croître cette hauteur cinq heures de plus, ce qui conduit à des écarts de plus d'un mètre sur les valeurs maximales rencontrées sur la zone.

Situation du 5 mars 2015



Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 05/03/2015 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 5 mars à 12 UTC et le 6 mars à 12 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle MEDIWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position centrale de la zone.



Evolution temporelle de Hs au point de grille 42.97° N 3,88° E de la tempête du 05/03/2015 simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle MEDIWAT-SHOM (en rouge)

Les deux simulations de la hauteur significative de la mer totale sont légèrement différentes :

- au niveau temporalité, le modèle de Météo-France montre un plateau là où celui du SHOM continue de faire croître ce paramètre cinq heures de plus.
- sur la zone, les valeurs maximales de cette Hs se trouvent au sud dans les deux modèles, mais à l'est pour Météo-France et à l'ouest pour le SHOM. Elles sont moins élevées d'environ 50 cm pour le modèle de Météo-France.

Conclusion

Le tableau 12 fait la synthèse des comparaisons.

	Point de grille 42.97° N 3,88° E	
Événements	***HS max***	***Temporalité***
31 janvier 2003	MEDIWAT-SHOM **>** WW3-MF différence ≈ 50 cm	quasi identique
24 janvier 2009	MEDIWAT-SHOM **>>** WW3-MF différence ≈ 1 m	croissance de la HS plafonne pour WW3-MF décroissance identique
5 mars 2015	MEDIWAT-SHOM **>** WW3-MF différence ≈ 50 cm	croissance de la HS plafonne pour WW3-MF décroissance identique

Tableau 12: Synthèse des comparaisons des modèles MEDIWAT-SHOM et WW3-MF

Le modèle MEDIWAT du SHOM donne des hauteurs de vagues de 50 cm à 1 m plus élevées que celles du modèle WW3 de Météo-France.

Ces différences sont dues en bonne partie à un forçage du vent différent dans les deux modèles, mais d'autres sources de différences sont également présentes entre les deux simulations :

- des ajustements de la paramétrisation du vent et de la dissipation dans la simulation du SHOM ;
- l'assimilation dans le modèle fournissant les conditions aux limites dans la simulation de MF.

FIN DE DOCUMENT