

# Évaluation des risques de vent et vagues extrêmes

Zone Bretagne Nord Ouest



Version A du 31/07/2025

## Client

Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Écologique

Guillaume-

[jj.poirier@developpement-durable.gouv.fr](mailto:jj.poirier@developpement-durable.gouv.fr)

MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE,  
DE LA BIODIVERSITÉ,  
DE LA FORÊT, DE LA MER  
ET DE LA PÊCHE  
Liberté  
Démocratie  
Progressisme

**Responsable commercial :**  
Météo-France D2C Toulouse

[christophe.jacolin@meteo.fr](mailto:christophe.jacolin@meteo.fr)

**Responsable technique :**  
Météo-France DSM/CS

[Alain.brisson@meteo.fr](mailto:Alain.brisson@meteo.fr)



- page laissée intentionnellement vide -

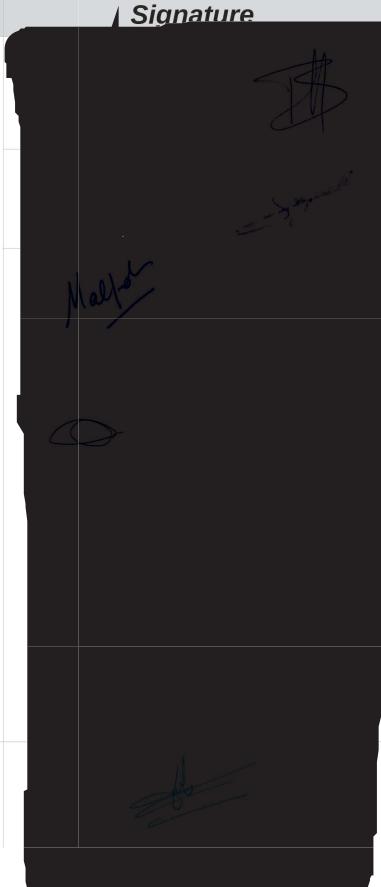
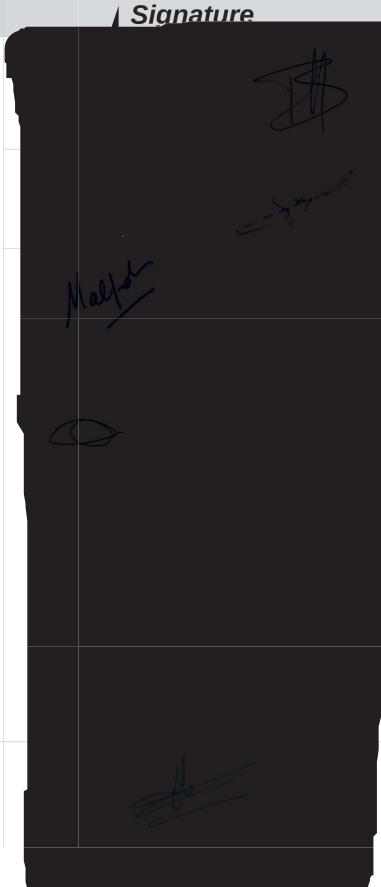
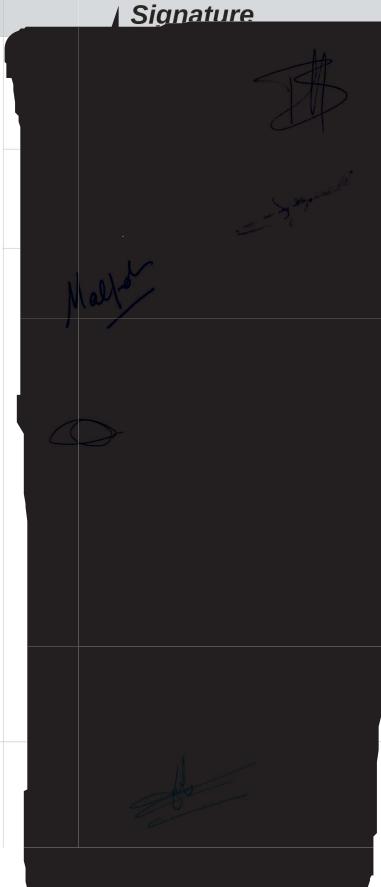
## Documents de référence antérieurs

	<i>Intitulé</i>	<i>Nom document</i>	<i>Référence</i>	<i>Date</i>	<i>Version</i>
<b>DR1</b>	Projet de parc éolien off shore Note technique Lots 1, 2 et 3	DGEC-ProjetParcsEolien- NoteTechnique_Lots1-2- 3_V2_20250423	[Chatel et al, 2025]	23/04/2025	2

## Évolutions successives

<i>Référence</i>	<i>Date</i>	<i>Version</i>	<i>Évolution</i>
L2.RA_MeteoF- DGEC_BNO_B1_20250424	24/04/2025	B1	Création
L2.RA_MeteoF- DGEC_BNO_B2_20250623	23/06/2025	B2	corrections suite relecture CEREMA
L2.RA_MeteoF- DGEC_BNO_B2_20250731	31/07/2025	B2	Correction erreurs de renvoi
L2.RA_MeteoF- DGEC_BNO_A_20250731			Version validée

## Signatures

	<i>Nom</i>	<i>Service</i>	<i>Signature</i>
<b>Rédacteur(s)</b>	Alice Dalphinet Isabelle Derrien Gildas Gouez Bruno Joly Laurie K'dual Stéphane Lazareth Nathalie Malpot Jean-Marc Minet Kévin Pensec	Météo-France DSM/CS/DC DIRO/CMO DIROP/MAR	
<b>Selecteur(s)</b>	Alain Brisson Nathalie Rouchy	Météo-France DSM/CS DSM/CS/DC	
<b>Approbateur(s)</b>	Christophe Jacolin	Météo-France D2C/DV/PRO	

## Table des matières

1 Objectifs 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	4
2.2 Tableau des 11 tempêtes analysées	5
2.3 Liste des tempêtes retenues pour les rejeux de vagues	8
3 Rejeux de situations	10
3.1 Méthodologie	10
3.2 Situation du 15 décembre 1979	10
3.2.1 Rappel conditions météorologiques	10
3.2.2 Analyse des résultats	10
3.2.3 Caractéristiques principales	12
3.3 Situation du 25 janvier 1990 (tempête Daria)	13
3.3.1 Rappel conditions météorologiques	13
3.3.2 Analyse des résultats	13
3.3.3 Caractéristiques principales	15
3.4 Situation du 10 mars 2008 (tempête Johanna)	16
3.4.1 Rappel conditions météorologiques	16
3.4.2 Analyse des résultats	16
3.4.3 Caractéristiques principales	18
3.5 Situation du 8 février 2016 (tempête Ruzica)	19
3.5.1 Rappel conditions météorologiques	19
3.5.2 Analyse des résultats	19
3.5.3 Caractéristiques principales	21
3.6 Situation du 2 novembre 2023 (tempête Ciarán)	22
3.6.1 Rappel conditions météorologiques	22
3.6.2 Analyse des résultats	22
3.6.3 Caractéristiques principales	24
Annexes	25

## Index des figures

Illustration 2.1 : zone d'étude BNO et points de grille ERA5 des paramètres utilisés.....	2
Illustration 2.2 : zoom sur la zone d'étude.....	3
Illustration 3.1 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 15/12/1979 simulée par le modèle WW3. (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 14 déc. à 12 UTC et le 16 déc. à 00 UTC) Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.....	11
Illustration 3.2 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 15/12/1979 – simulée par le modèle WW3.....	12
Illustration 3.3 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 25/01/1990 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 jan. à 12 UTC et le 26 jan. à 12 UTC) Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.....	14

Illustration 3.4 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 25/01/1990 – simulée par le modèle WW3.....	15
Illustration 3.5 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 10/03/2008 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 9 mars à 18 UTC et le 11 mars à 18 UTC). Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.....	17
Illustration 3.6 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 10/03/2008 – simulée par le modèle WW3.....	18
Illustration 3.7 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 08/02/2016 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 7 fév. à 12 UTC et le 9 fév. à 12 UTC) Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.....	20
Illustration 3.8 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 08/02/2016 – simulée par le modèle WW3.....	21
Illustration 3.9 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 02/11/2023 simulée par le modèle WW3 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 01 nov. à 00 UTC et le 03 nov. à 00 UTC) Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.....	23
Illustration 3.10 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 02/11/2023 – simulée par le modèle WW3.....	24

## **Index des tableaux**

Tableau 1 : échelle de Beaufort.....	6
Tableau 2 : échelle de Douglas.....	7
Tableau 3 : Liste des tempêtes analysées.....	8
Tableau 4 : Liste des tempêtes sélectionnées pour être rejouées.....	9
Tableau 5 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W - tempête du 15 décembre 1979.....	12
Tableau 6 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W – tempête du 25 janvier 1990 (Daria).....	15
Tableau 7 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W – tempête du 10 mars 2008 (Johanna).....	18
Tableau 8 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N et 3,93° W – tempête du 8 février 2016 (Ruzica).....	21
Tableau 9 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3) au point 49.05° N et 3,93° W – tempête du 2 novembre 2023 (Ciarán).....	24
Tableau 10: synthèse des comparaisons des modèles HYWAT-SHOM et WW3-MF.....	33



## 1 Objectifs et synthèse de l'étude

L'objectif de cette étude est de caractériser les tempêtes considérées parmi les plus violentes connues sur la macro-zone afin d'estimer les contraintes mécaniques maximales auxquelles aurait à faire face un champ d'éoliennes.

Nous avons pour cela sélectionné un échantillon d'épisodes de vents forts susceptibles de générer de très fortes vagues sur la zone d'intérêt, située au Nord du Finistère en utilisant 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 .

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, 5 tempêtes marquantes ont été sélectionnées pour être rejouées par un modèle d'état de la mer afin de fournir à la DGEC des jeux de données de vagues simulées couvrant un large panel de possibles sur la zone considérée. Ce choix est explicité dans le paragraphe 2.3

## 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.,V2,2025].

#### 2.1.1 Données d'entrée et domaine

Les données tri-horaires ERA5 sont utilisées sur la période de calcul de **1979 à 2024<sup>1</sup>** :

- des données de vent sur une large zone de la Bretagne au Sud de l'Irlande à une résolution de 0.25 degré de latitude et de longitude (points noirs de l'Illustration 2.1)
- des paramètres d'état de la mer sur une zone plus réduite (en bleu) autour de la zone d'étude, à une résolution de 0.5 degrés (croix rouges de l'Illustration 2.1).
- la zone d'étude est matérialisée par le polygone orange de l'Illustration 2.1.

<sup>1</sup> Période homogène recommandée, la qualité d'ERA5 étant améliorée à partir de 1979, grâce aux données satellitaires assimilées.

## 2 Recherche de tempêtes



Illustration 2.1 : zone d'étude BNO et points de grille ERA5 des paramètres utilisés

## Évaluation des risques de vent et vagues extrêmes

Zone Bretagne Nord Ouest

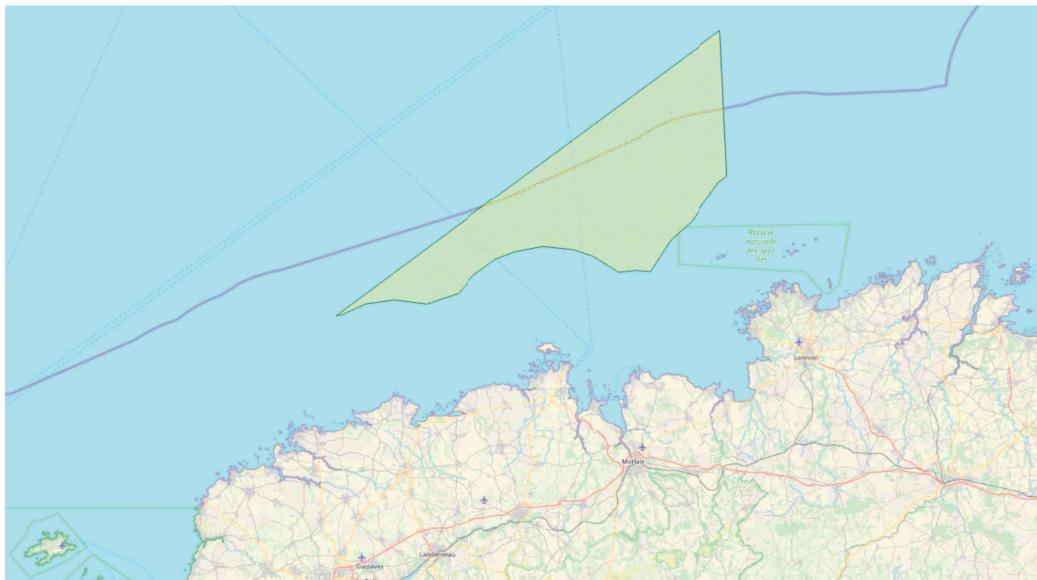


Illustration 2.2 : zoom sur la zone d'étude

## 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 (1979-2024), 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 BNO,

- 1) union des 4 listes établies au pas de temps quotidien, Pour BNO, 96 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 BNO, 15 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-horaire des paramètres marins. Pour BNO, 10 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. Cette ultime expertise permet également de diversifier les événements retenus selon la nature de la situation météorologique à l'origine de la tempête, la direction de la houle....

Pour BNO, les dix situations retenues par le dernier filtre sont sélectionnées. La tempête Ciarán n'est pas retenue par le filtre 3 qui porte sur le pas de temps tri-horaire. Cependant, étant donné son aspect exceptionnel en termes d'intensité de vent et d'état de mer pour le nord du Finistère, et sa récente actualité, elle est également sélectionnée.

Par conséquent, onze tempêtes sont finalement sélectionnées et décrites en annexe A.

### 2.2 Tableau des 11 tempêtes analysées

La force du vent est exprimée en Beaufort (Bf- échelle détaillée en section 10.1 de [Chatel et al. V2, 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, 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
<b>0</b>	Calme	0 à 0,2	<i>la mer est comme un miroir</i>
<b>1</b>	Très légère brise	0,3 à 1,5	<i>il se forme des rides, mais il n'y a pas d'écume</i>
<b>2</b>	Légère brise	1,6 à 3,3	<i>vaguelettes courtes ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse mais ne déferlent pas</i>
<b>3</b>	Petite brise	3,4 à 5,4	<i>très petites vagues ; écume d'aspect vitreux, apparition de moutons</i>
<b>4</b>	Jolie brise	5,5 à 7,9	<i>petites vagues devenant plus longues ; moutons nombreux</i>
<b>5</b>	Bonne brise	8,0 à 10,7	<i>vagues modérées, allongées ; moutons nombreux</i>
<b>6</b>	Vent frais	10,8 à 13,8	<i>des lames se forment ; crêtes d'écume blanche plus étendues, embruns</i>
<b>7</b>	Grand frais	13,9 à 17,1	<i>la mer grossit ; l'écume est soufflée en traînées ; lames déferlantes</i>
<b>8</b>	Coup de vent	17,2 à 20,7	<i>lames de hauteur moyenne ; de leurs crêtes se détachent des tourbillons d'embruns</i>
<b>9</b>	Fort coup de vent	20,8 à 24,4	<i>grosses lames ; leur crête s'écroule et déferle en rouleaux, visibilité réduite par les embruns</i>
<b>10</b>	Tempête	24,5 à 28,4	<i>très grosses lames à longues crêtes en panache ; déferlement en rouleaux intense et brutal</i>
<b>11</b>	Violente tempête	28,5 à 32,6	<i>lames exceptionnellement hautes ; mer recouverte de bancs d'écume blanche</i>
<b>12</b>	Ouragan	+ de 32,7	<i>air plein d'écume et d'embruns ; mer entièrement blanche ; visibilité très réduite</i>

Tableau 1 : échelle de Beaufort

## 2 Recherche de tempêtes



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

Tableau 2 : échelle de Douglas

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

<b>Événements</b>	<b>Vent max. Zone</b>		<b>Commentaires<sup>2</sup></b>
	<b>Dir.</b>	<b>Force (Bf)</b>	
<b>15 décembre 1979</b>	W puis W/NW	10 à 11	Dépression circulant de l'Irlande au Danemark, générant de fortes rafales sur certains caps exposés bretons avec 162 km/h à la pointe de Penmarch (29) ou avec 169 km/h à la Pointe du Grouin (35). Mer grosse signalée par de nombreux sémaphores de la Hague à Chassiron.
17 décembre 1989	SW	10	Vaste dépression très creuse (940 hPa) se déplaçant du centre de l'Atlantique vers le sud de la Norvège, générant des vents très forts sur la Bretagne. Mer grosse à très grosse mesurée à la bouée de Ouessant large. Mer très forte signalée au sémaphore de Bréhat à grosse (Penmarc'h).
<b>25 janvier 1990 Daria</b>	WSW	11 à 12	Dépression Atlantique se creusant très rapidement et provoquant une violente tempête sur toute la moitié nord de la France. Mer très grosse à énorme mesurée à la bouée de Ouessant large.
11 et 12 février 1990	SW vire rapidement NW	10 à 11	Dépression très creuse circulant lentement de l'Irlande à la Mer du Nord, générant des vents très forts. Mer très grosse à énorme mesurée à la bouée de Ouessant large.

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

4 janvier 1998	W	11	Dans une succession de tempêtes, une dépression secondaire se creuse et génère des vents forts depuis la Bretagne jusqu'à dans le Nord-Pas de Calais, jusqu'à 180 km/h en rafales sur l'Île de Groix. La bouée "Les Minquiers2" enregistre une hauteur maximale H1/3 de 5,60 m. Les sémaphores d'Ouessant Stiff et du Cap de la Hague indiquent une mer grosse.
9 décembre 2007	WNW	10	Dépression islandaise de déplaçant rapidement vers les îles britanniques puis les Pays-Bas. Violentes rafales sur les côtes bretonnes. Fetch très important. Mer grosse signalée par plusieurs sémaphores.
<b>10 mars 2008 Johanna</b>	SW	10	Tempête Johanna se déplaçant rapidement d'ouest en est, associée à de fortes marées, provoquant de fortes submersions, notamment sur la presqu'île de Gâvres avec des surcôtes observées par le SHOM à 113 cm sur Saint-Malo et 82 cm au Crouesty. Rafales maximales de 155 km/h observées à la pointe du Raz. Deux bouées au large de la Bretagne ont mesuré respectivement 10,9 m aux Pierres Noires et 13,40 m par la bouée Brittany en H 1/3.
4 et 5 février 2014 Petra	S au plus fort puis vire rapidement W	10	Tempête hivernale Petra touchant particulièrement l'ouest de la France avec des rafales maximales de 150 km/h à Ouessant. Record hauteur de mer observé de 23,6 m à la bouée Pierres Noires.
14 février 2014 Ulla	SW	11	La tempête Ulla a frappé particulièrement la Bretagne et les départements limitrophes, causant des dégâts importants et des incidents tragiques en mer. On observe notamment des rafales maximales de 179 km/h à Camaret et un maximum de hauteur de mer de 18,47 m à la bouée des Pierres Noires.
<b>8 février 2016 Ruzica</b>	W	10	Tempête Ruzica formée au large de Terre-Neuve, se déplaçant rapidement vers l'Est et frappant l'ouest de l'Europe, en particulier la Bretagne avec des rafales maximales observées à 138 km/h à Brignogan et un maximum de hauteur de mer de 14,73 m à la bouée des Pierres Noires.
<b>2 novembre 2023 Ciarán</b>	W	12	Tempête Ciarán à 954 hPa circulant rapidement du nord des Açores vers la Mer du Nord en traversant la Manche. Mer grosse à très grosse : hauteur significative de 13,62 m mesurée aux Pierres Noires, environ 9m estimée sur le nord de BNO (ERA5).

*Tableau 3 : Liste des tempêtes analysées*

Ces 11 tempêtes ont été analysées de façon plus précise : cette analyse est présentée sous forme de fiches - voir liste en annexe B.

Parmi elles, 5 tempêtes ont été retenues (en gras dans le tableau ci-dessus) pour être étudiées plus finement (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 Bretagne Nord-Ouest. Parmi cette liste, les experts de Météo-France ont retenu 5 événements pour lesquels la formation des vagues est modélisée à l'aide d'une

## 2 Recherche de tempêtes



simulation numérique à mailles fines. Ces 5 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)
15 décembre 1979	W puis W/NW	10 à 11
25 janvier 1990	WSW	11 à 12
10 mars 2008	SW	10
8 février 2016	W	10
2 novembre 2023	W	12

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 5 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.

### 3.1 Méthodologie

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

Ce modèle WW3 est forcé par les vents issus des données de réanalyses ERA-5 ou CERRA ou d'Arpège, selon l'ancienneté de l'événement et la meilleure résolution des sources disponibles.

## 3.2 Situation du 15 décembre 1979

### 3.2.1 Rappel conditions météorologiques

Un minimum dépressionnaire apparaît le 13 décembre 1979 à l'est de Terre-Neuve. Piloté par la dépression proche de l'Islande, il se déplace rapidement vers l'Irlande en se creusant fortement, passant de 1000 hPa le 13 vers midi à 970 hPa le 15 à 12 heures.

Il génère un fort gradient de pression sur la Bretagne ainsi que sur la Manche et engendre des vents violents. Il se comble ensuite sur la mer du Nord en fin de journée du 15 décembre.

### 3.2.2 Analyse des résultats

Le fetch important entre Terre-Neuve et l'Europe de l'Ouest, sur plusieurs jours, permet la formation de vagues significatives estimées à plus de 11 mètres la journée du samedi 15 décembre au large de la pointe Bretagne (réanalyse ERA5).

Cette journée, la mer totale reste très grosse sur le nord-ouest du golfe de Gascogne et l'ouvert de la Manche. Ces vagues se propagent vers l'est en perdant en intensité en journée mais restent grosses (supérieures à 6 mètres, signalées par de nombreux sémaphores de la Hague à Chassiron) jusqu'au fond du golfe de Gascogne et au large de la Charente maritime.

### 3 Rejeux de situations

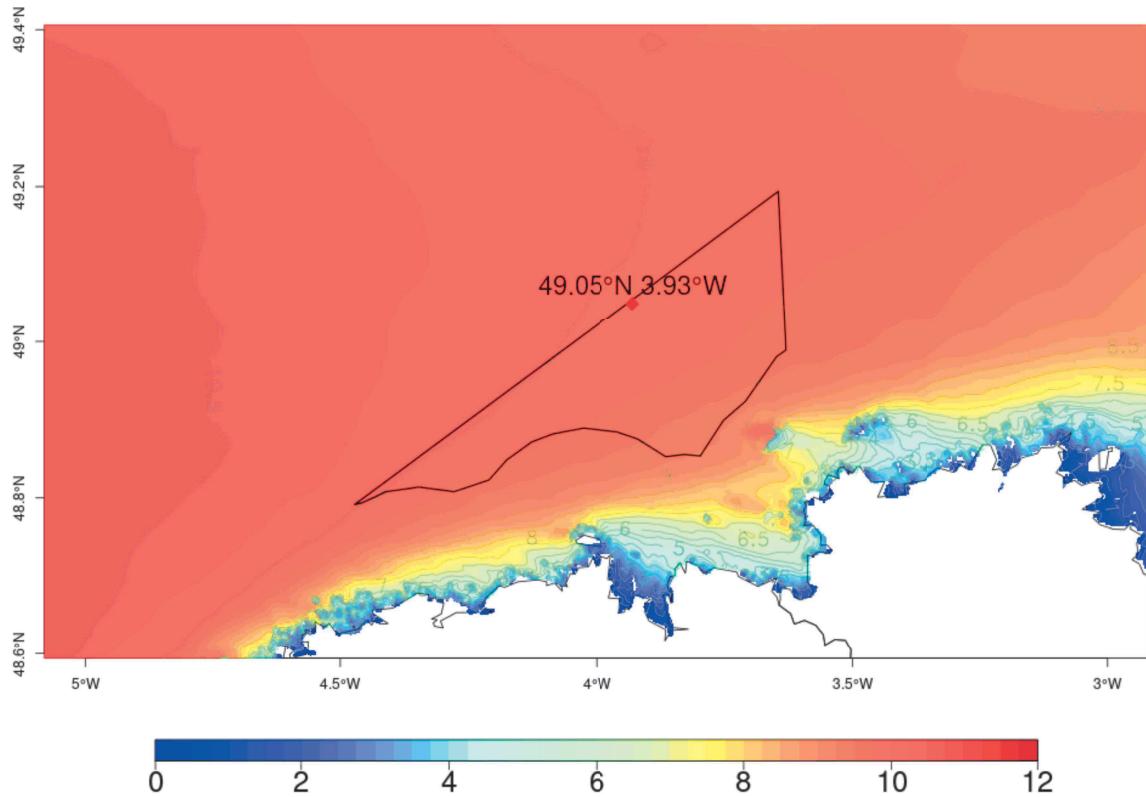


Illustration 3.1 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 15/12/1979 simulée par le modèle WW3.  
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 14 déc. à 12 UTC et le 16 déc. à 00 UTC)

Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

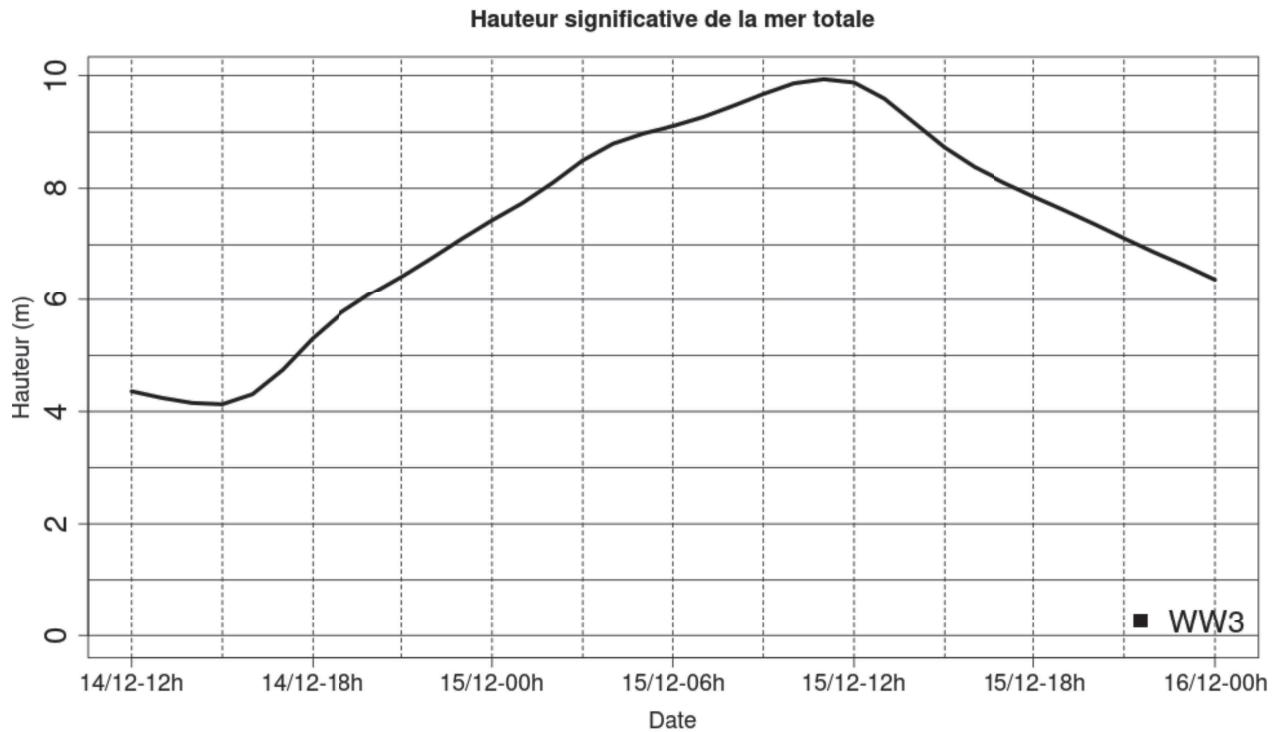


Illustration 3.2 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 15/12/1979 – simulée par le modèle WW3

### 3.2.3 Caractéristiques principales

Point de grille 49.05° N 3,93° W	
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	9,9 m
Date / Heure (simulation WW3)	15/12/1979 vers 11 UTC
Direction (ERA5)	Ouest-sud-ouest à ouest-nord-ouest
Contribution mer du vent/onde (ERA5)	Mer du vent omniprésente (> 95 % de la mer totale à 12 UTC)

Tableau 5 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W - tempête du 15 décembre 1979

## **3.3 Situation du 25 janvier 1990 (tempête Daria)**

### **3.3.1 Rappel conditions météorologiques**

Une dépression Atlantique traverse les îles Britanniques le 25 janvier 1990. Son creusement très rapide, de type « explosif », provoque une violente tempête sur toute la moitié nord de la France. Les rafales de vent dépassent ponctuellement les 170 km/h sur les côtes de la Manche, 110 à 140 km/h dans l'intérieur. Cette tempête, baptisée Daria, est l'une des plus meurtrières et destructrices de la décennie 90 à l'échelle de l'Europe.

### **3.3.2 Analyse des résultats**

Cette tempête est marquée par la présence d'une mer très grosse avec des creux supérieurs à 9 mètres sur les côtes Atlantique et en Manche.

Une mer très grosse à énorme est mesurée à la bouée de Ouessant large. De plus, elle est associée à une surcote importante, en particulier sur l'est de la Manche (pic de surcote d'environ 2 mètres à Boulogne et au Havre). Des surcotes importantes ont pu être estimées près du site étudié, de 75 cm à Brest et de 63 cm à Roscoff.

Durant cette tempête, le trafic des car-ferries est interrompu dans le détroit du Pas-de-Calais et de nombreux navires sont en difficulté au large de la Bretagne et en Manche. Les dégâts en mer et sur la bordure côtière sont considérables.

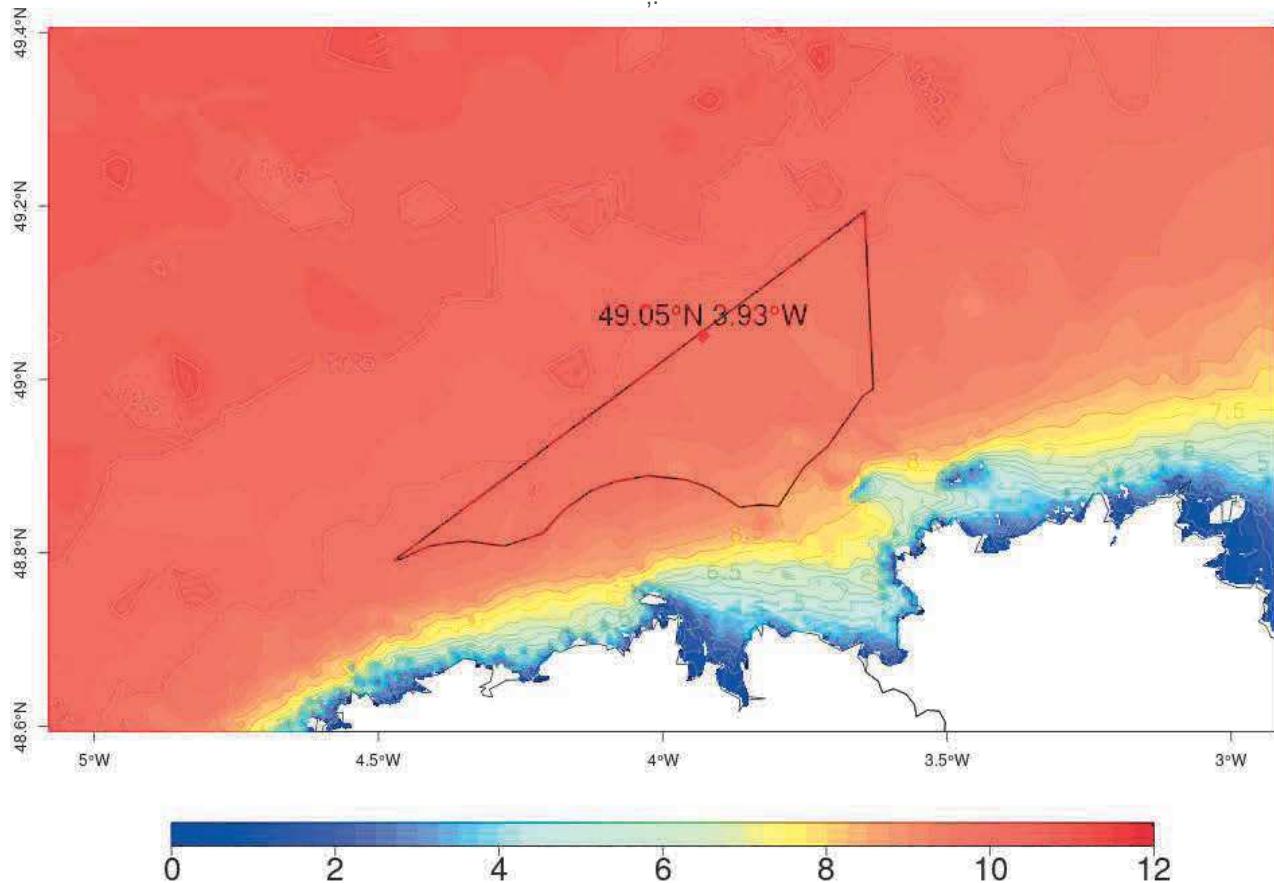


Illustration 3.3 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 25/01/1990 simulée par le modèle WW3

(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 jan. à 12 UTC et le 26 jan. à 12 UTC)  
Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

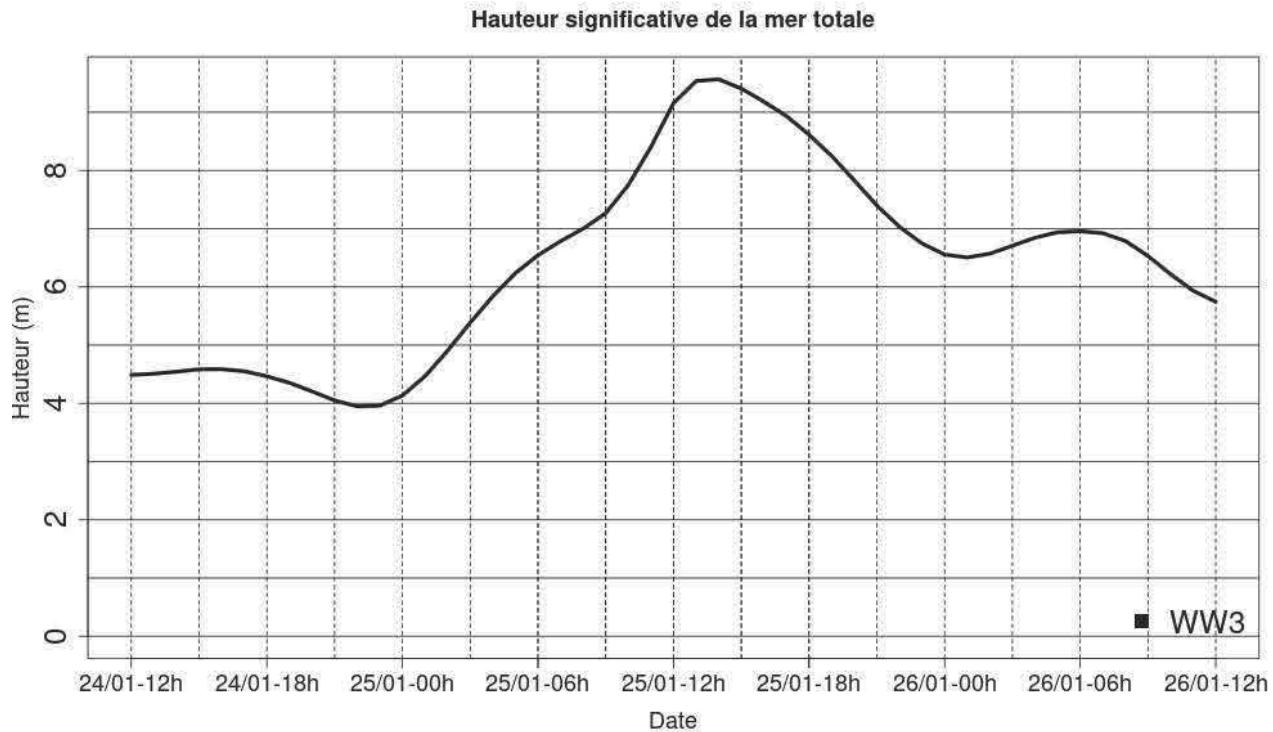


Illustration 3.4 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 25/01/1990 – simulée par le modèle WW3

#### 3.3.3 Caractéristiques principales

Point de grille 49.05° N 3,93° W	
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	9,6 m
Date / Heure (simulation WW3)	25/01/1990 vers 14 UTC
Direction (ERA5)	Sud-ouest à ouest
Contribution mer du vent/onde (ERA5)	Mer du vent prédominante (environ 85 % de la mer totale à 12 UTC)

Tableau 6 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W – tempête du 25 janvier 1990 (Daria)

## 3.4 Situation du 10 mars 2008 (tempête Johanna)

### 3.4.1 Rappel conditions météorologiques

Une dépression naît dans le Sud-Ouest de l'Islande. Elle se déplace vers l'Ouest de l'Irlande en se creusant (pression au centre inférieure à 950 hPa). Centrée sur le Pays de Galles à 12 UTC, elle traverse le centre de l'Angleterre avant de pénétrer en Mer du Nord en se comblant. Le gradient de pression est très important. La présence de hautes pressions sur le Sud de l'Atlantique participe à ce gradient de pression. Ce dernier se desserre avec le comblement de la dépression.

### 3.4.2 Analyse des résultats

La tempête Johanna a une progression très rapide vers l'Est. Elle atteint son maximum à proximité immédiate du sud-ouest de l'Irlande avec une mer totale formée énorme, niveau 9 sur l'échelle de Douglas, soit des creux de hauteur significative supérieurs à 14 mètres.

En moins de douze heures, elle atteint les côtes bretonnes avec des creux de 10 à 11 m et une hauteur maximale de 18 m pour une période de 12 à 14 secondes. En fin de journée du 10 mars, l'état de mer totale est très grosse sur le nord-ouest du golfe de Gascogne et l'ouvert de la Manche. Ces vagues se propagent vers l'est en s'étalant légèrement mais l'état de la mer est toutefois « grosse » (vagues supérieures à 6 mètres) jusqu'au fond du golfe de Gascogne et au large de la Charente maritime.

La tempête Johanna a provoqué, de fortes submersions, notamment sur la presqu'île de Gâvres.

### 3 Rejeux de situations

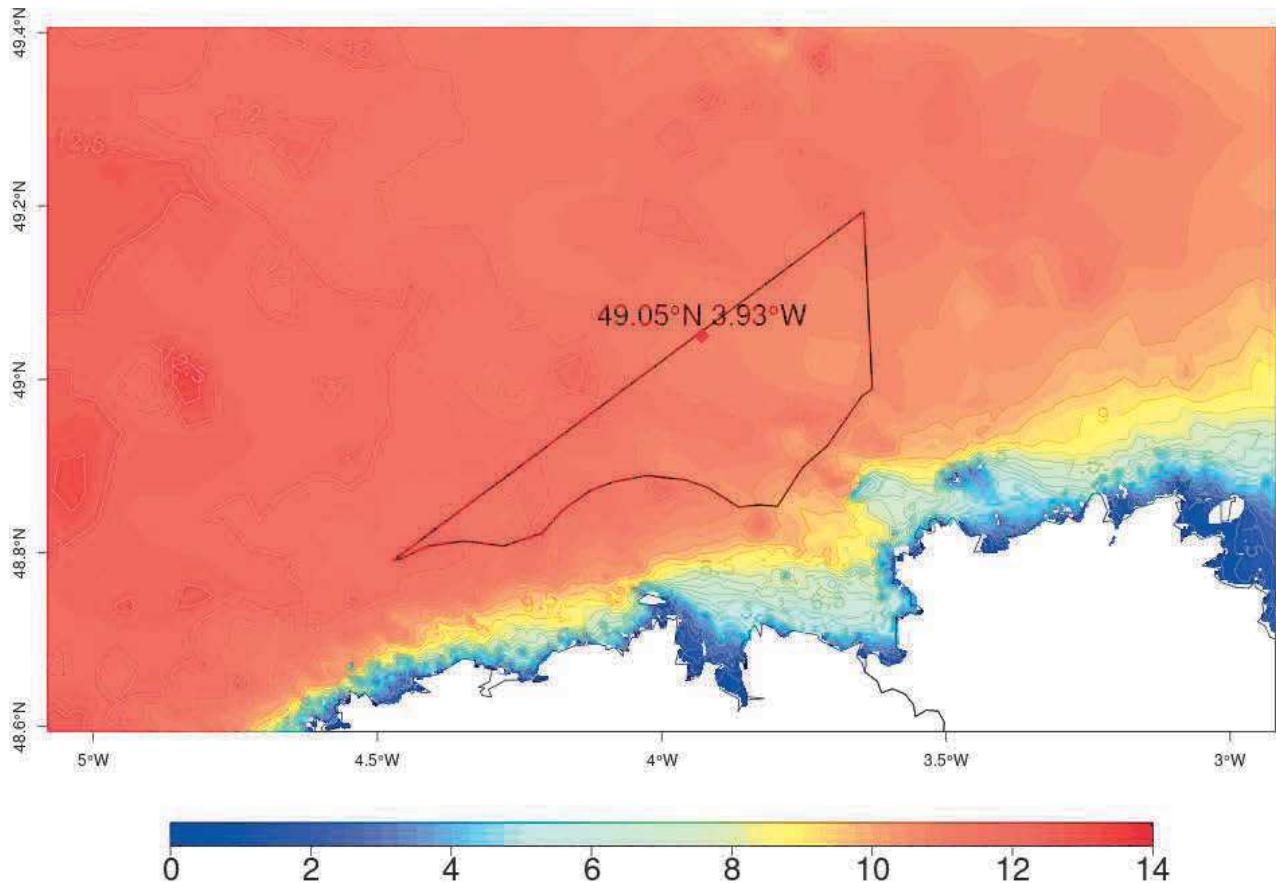


Illustration 3.5 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 10/03/2008 simulée par le modèle WW3  
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 9 mars à 18 UTC et le 11 mars à 18 UTC).  
Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

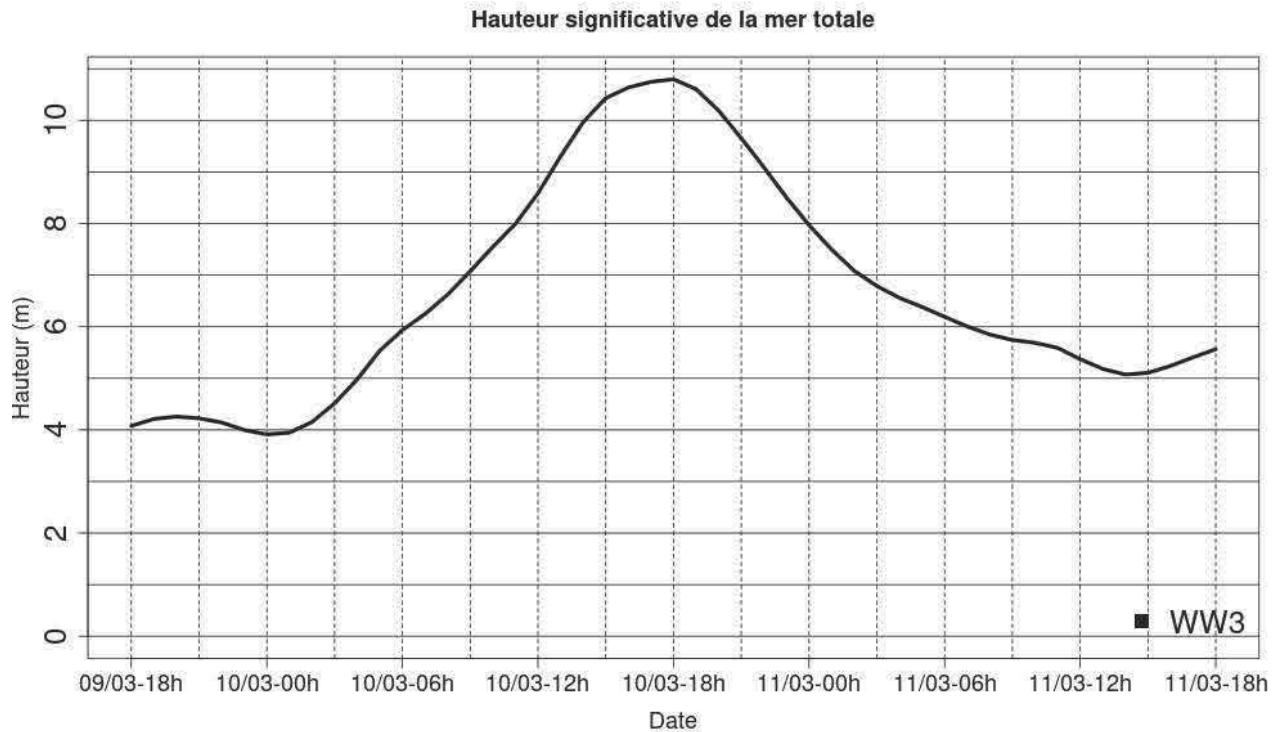


Illustration 3.6 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 10/03/2008 – simulée par le modèle WW3

### 3.4.3 Caractéristiques principales

Point de grille 49.05° N 3,93° W	
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	10,8 m
Date / Heure (simulation WW3)	10/03/2008 vers 18 UTC
Direction (ERA5)	Ouest à ouest-nord-ouest
Contribution mer du vent/houle (ERA5)	Mer du vent omniprésente (> 90 % de la mer totale)

Tableau 7 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N 3,93° W – tempête du 10 mars 2008 (Johanna)

## 3.5 Situation du 8 février 2016 (tempête Ruzica)

### 3.5.1 Rappel conditions météorologiques

Une dépression positionnée à 991 hPa sur Terre-Neuve le 06 février 2016 à 06 UTC se décale vers l'est-nord-est en se creusant à 953 hPa le 7 au matin entre les Açores et l'Islande, se comble lentement à 963 hPa en mer de Norvège le 8 à 09 UTC, puis continue de se combler sur place.

Au sud de cette dépression, le gradient de pression zonal se resserre et génère des vents tempétueux d'ouest au large de l'Irlande, qui mollissent légèrement en arrivant sur le nord-ouest de la France.

Associée à cette dépression, une perturbation traverse la France le 7 février, avec le passage du front froid sur la Bretagne le 8 à 00 UTC. Les plus fortes rafales se produisent après ce passage, dans la traîne d'ouest.

### 3.5.2 Analyse des résultats

Le flux zonal entre Terre-Neuve et l'Europe de l'Ouest présent au cours de plusieurs jours permet la formation de vagues significatives importantes, estimées à plus de 16 m le 7 février en soirée entre les Açores et l'Islande, alors qu'elles ne sont encore qu'entre 5 et 7 m sur le golfe de Gascogne et l'ouvert de la Manche. Ces vagues se propagent vers l'est en perdant en intensité et atteignent 9 à 11 m au large de la Bretagne le 8 février entre 09 et 18 UTC, puis s'amortissent progressivement.

Les relevés incomplets à la bouée des Pierres Noires révèlent une mesure à 9,01 m à 14h30 UTC en hauteur significative de mer totale, et 14,73 m à 13 UTC en hauteur maximale, avant rupture des données entre 15 et 18 UTC.

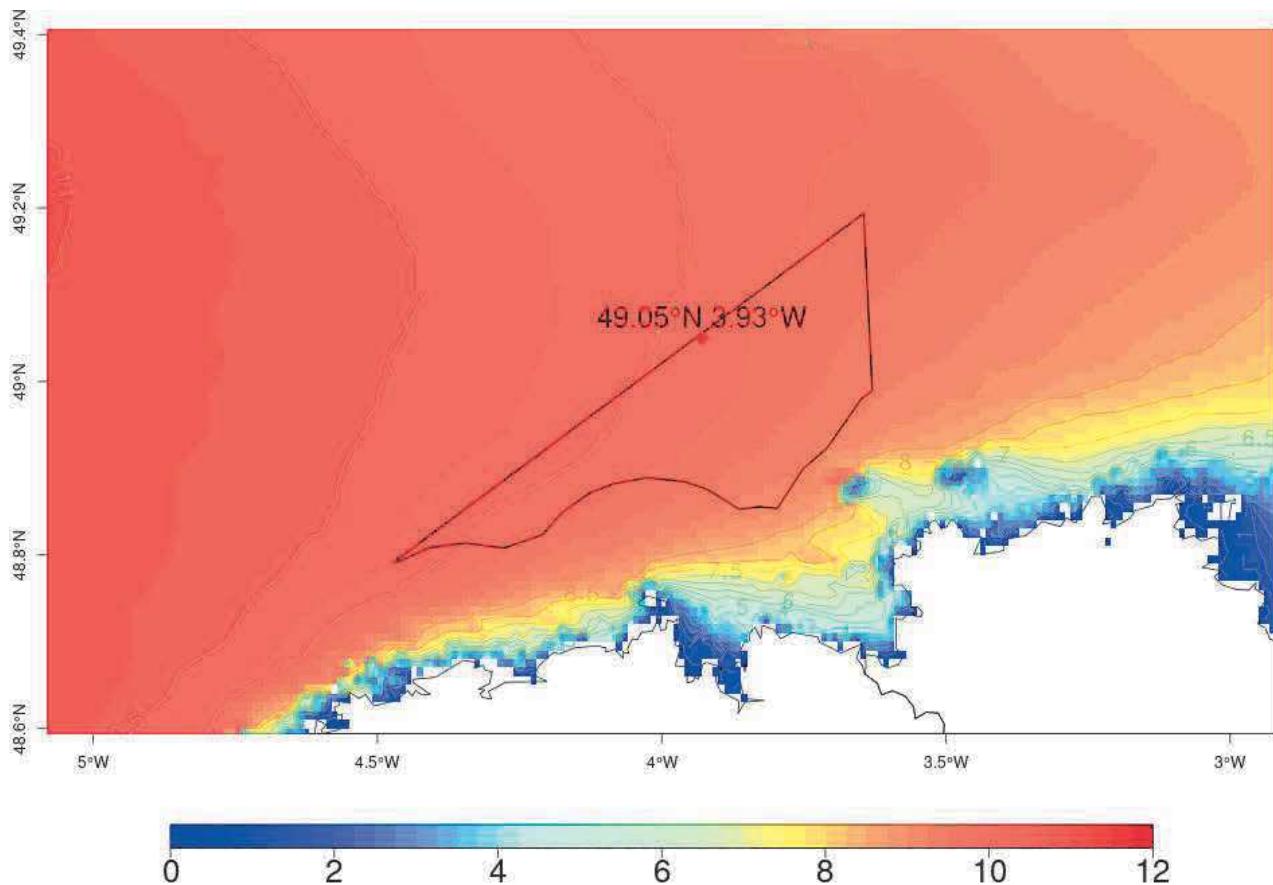


Illustration 3.7 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 08/02/2016 simulée par le modèle WW3

(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 7 fév. à 12 UTC et le 9 fév. à 12 UTC)  
Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

### 3 Rejeux de situations

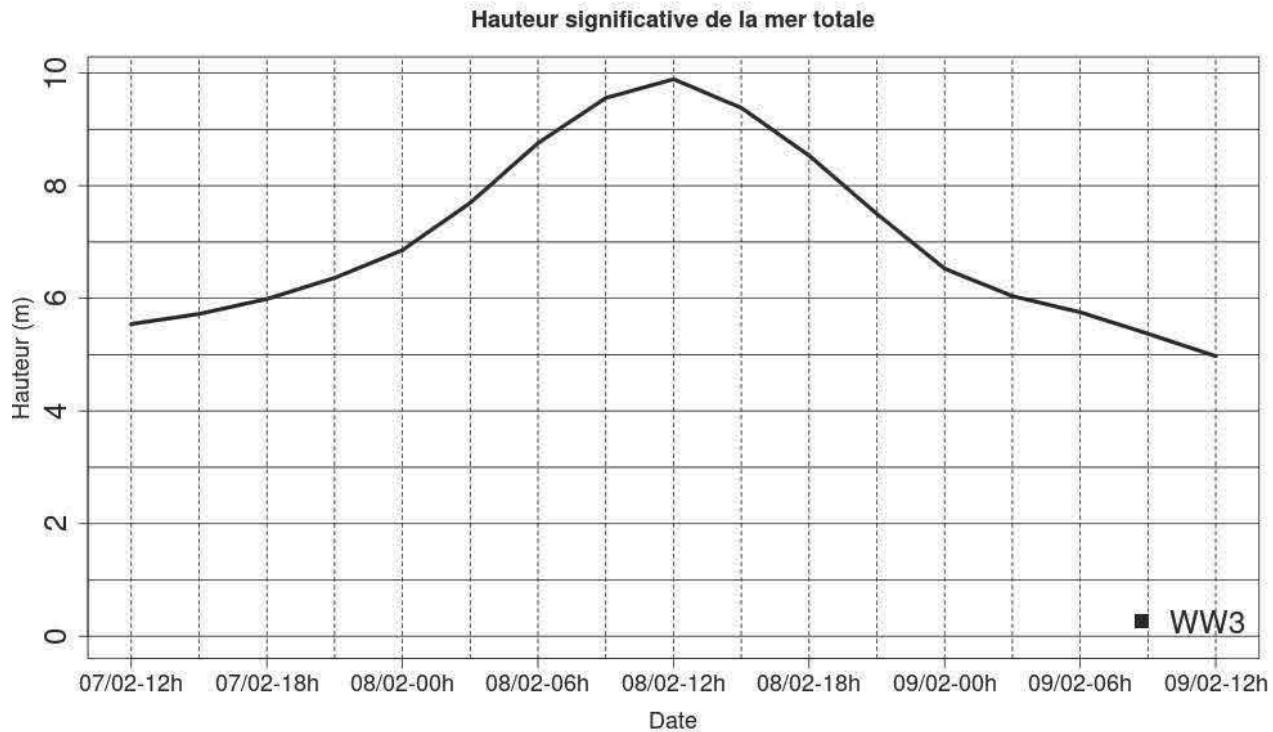


Illustration 3.8 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 08/02/2016 – simulée par le modèle WW3

#### 3.5.3 Caractéristiques principales

Point de grille 49.05° N 3,93° W	
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	9,9 m
Date / Heure (simulation WW3)	8/02/2016 vers 12 UTC
Direction (ERA5)	Ouest à ouest-nord-ouest
Contribution mer du vent/houle (ERA5)	Mer du vent omniprésente (> 95 % de la mer totale)

Tableau 8 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3 et ERA5) au point 49.05° N et 3,93° W – tempête du 8 février 2016 (Ruzica)

## 3.6 Situation du 2 novembre 2023 (tempête Ciarán)

### 3.6.1 Rappel conditions météorologiques

Un centre dépressionnaire sur Terre-Neuve se décale très rapidement vers l'est et atteint l'ouest de la Manche dans la nuit du 1<sup>er</sup> au 2 novembre. Il génère sur le nord de la France un flux de secteur ouest rapide avec des rafales enregistrées jusqu'à près de 200 km/h.

Cette tempête automnale est d'une force exceptionnelle en Bretagne : sur le nord du Finistère et sur le littoral des Côtes d'Armor, les valeurs de vent dépassent celles de "l'ouragan du 15 octobre 1987". Les côtes de Normandie et des Hauts-de-France sont également durement impactées.

### 3.6.2 Analyse des résultats

La mer forte à très forte grossit rapidement et devient grosse à très grosse sur le golfe de Gascogne et l'ouvert de la Manche dans la soirée du 1<sup>er</sup> novembre. Elle s'amortit légèrement très forte à grosse le 2 novembre avec un maintien de la houle, notamment sur le golfe de Gascogne. Les relevés à la bouée des Pierres Noires indiquent une mesure à 13,62 m en hauteur significative de mer totale, et 21,12 m en hauteur maximale, en milieu de nuit du 1<sup>er</sup> au 2 novembre.

### 3 Rejeux de situations

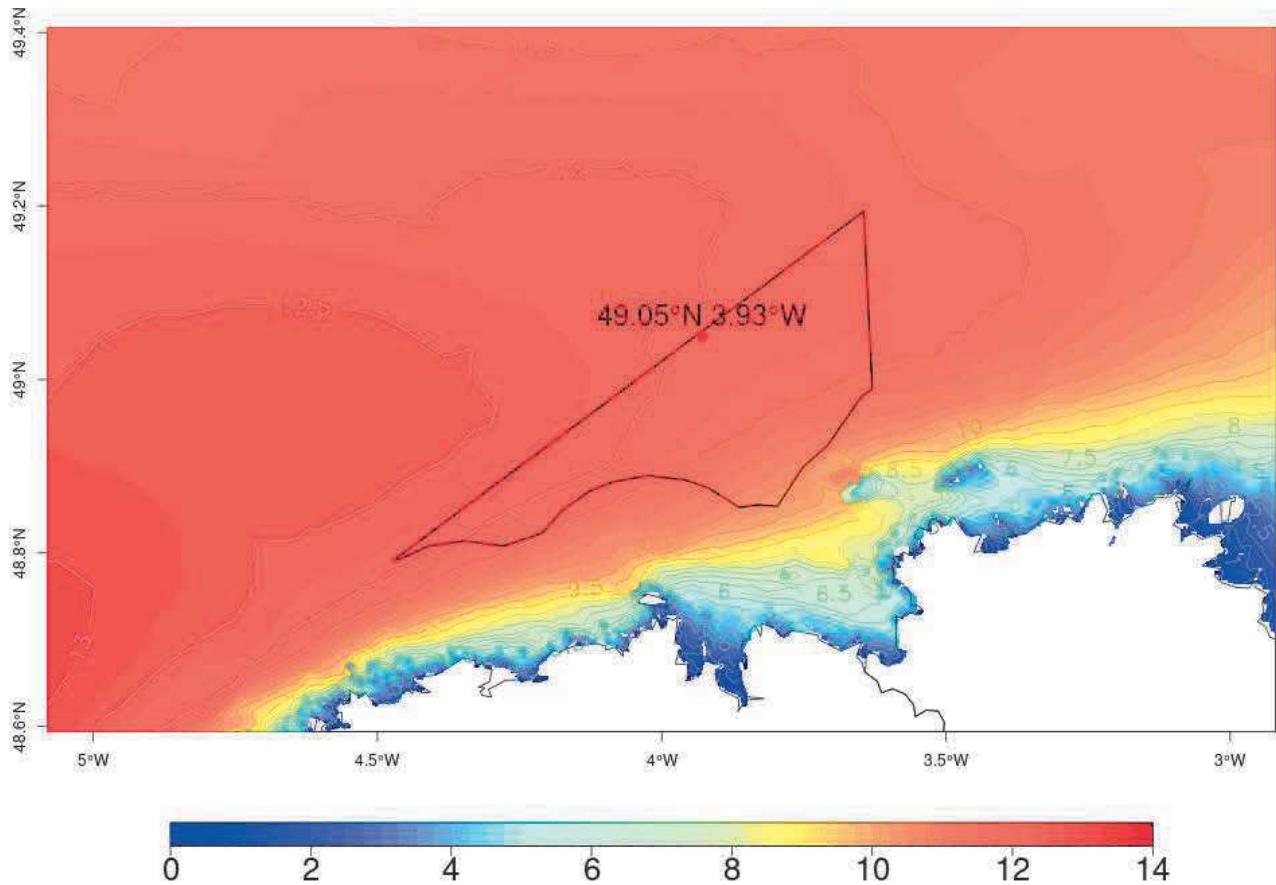


Illustration 3.9 : Hauteur significative de la mer totale (mètres) lors de la tempête du 02/11/2023 simulée par le modèle WW3  
(valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 01 nov. à 00 UTC et le 03 nov. à 00 UTC)  
Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

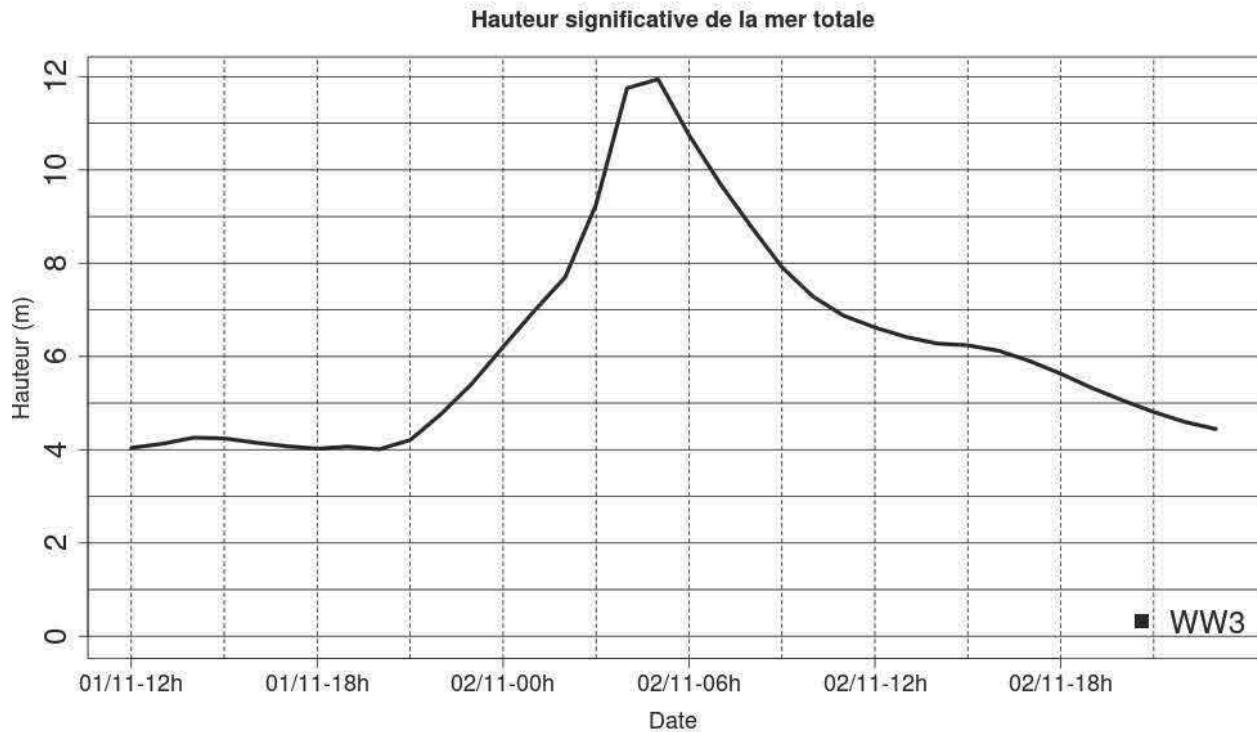


Illustration 3.10 : Evolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale au point de grille 49.05° N et 3,93° W – tempête du 02/11/2023 – simulée par le modèle WW3

### 3.6.3 Caractéristiques principales

Point de grille 49.05° N 3,93° W	
Hauteur maximale de Hs (mer totale - simulation WW3)	11,95 m
Date / Heure (simulation WW3)	02/11/2023 vers 05 UTC
Direction (WW3)	Ouest
Contribution mer du vent/houle (WW3)	Mer du vent prédominante (houle < 1 m à 5 UTC et houle max de 4,4 m vers 19 UTC)

Tableau 9 : Caractéristiques des vagues les plus fortes (WW3) au point 49.05° N et 3,93° W – tempête du 2 novembre 2023 (Ciarán)

## Annexes

### Table des annexes

Annexe A : les fiches tempêtes.....	29
Annexe B : Comparaison rejeux du SHOM.....	30
Situation du 15 décembre 1979.....	31
Situation du 25 janvier 1990 (tempête Daria).....	32
Situation du 10 mars 2008 (tempête Johanna).....	33
Situation du 8 février 2016 (tempête Ruzica).....	34
Situation du 2 novembre 2023 (tempête Ciarán).....	35

## 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
15 décembre 1979	L2.RA-FT-19791215_MeteoF-DGEC_BNO-GGNS_B1_20250430
17 décembre 1989	L2.RA-FT-19891217_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
25 janvier 1990	L2.RA-FT-19900125_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
11 et 12 février 1990	L2.RA-FT-19900211et12_MeteoF-DGEC_BNO-GGNS_B1_20250430
4 janvier 1998	L2.RA-FT-19980104_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
9 décembre 2007	L2.RA-FT-20071209_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
10 mars 2008	L2.RA-FT-20080310_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
4 et 5 février 2014	L2.RA-FT-20140204et05_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
14 février 2014	L2.RA-FT-20140214_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
8 février 2016	L2.RA-FT-20160208_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430
2 novembre 2023	L2.RA-FT-20231102_MeteoF-DGEC_BNO_B1_20250430

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

Une comparaison des résultats obtenus est réalisée entre

- les situations rejouées par Météo-France avec WaveWatchIII (WW3-MF)
- les rejeux climatologiques de vagues du SHOM 1979-2022 (HYWAT-SHOM)

Le rejeu SHOM dit HYWAT pour « HYdrodynamics and Waves hindcasT » est forcé par la réanalyse atmosphérique ERA5 (à une résolution temporelle horaire et spatiale de 30 km).

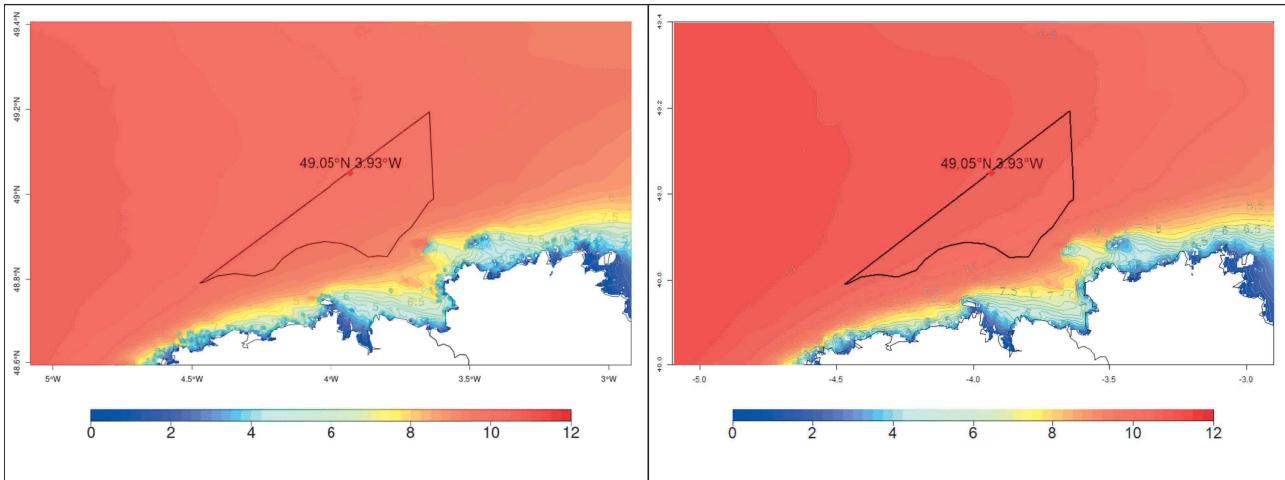
Les configurations des modèles HYCOM et Wavewatch III® utilisées ont été développées dans le cadre du projet HOMONIM (Historique Observation MOdélisation des NIveaux Marins, Jourdan et al. 2020),

[https://services.data.shom.fr/static/specifications/descriptif\\_contenu\\_HYWAT.pdf](https://services.data.shom.fr/static/specifications/descriptif_contenu_HYWAT.pdf)

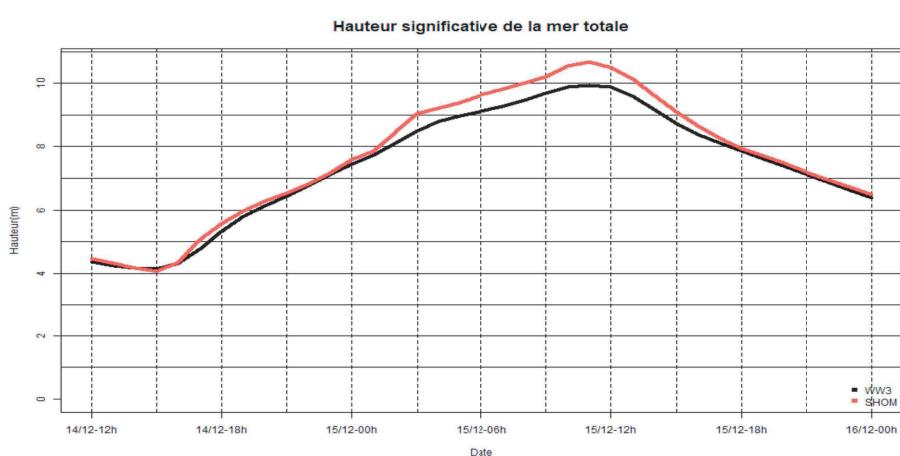
## Évaluation des risques de vent et vagues extrêmes

### Zone Bretagne Nord Ouest

#### Situation du 15 décembre 1979



Hauteur significative de la mer totale ( $H_s$ , en mètres) lors de la tempête du 15/12/1979 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 14 déc. à 12 UTC et le 16 déc. à 00 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle HYWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

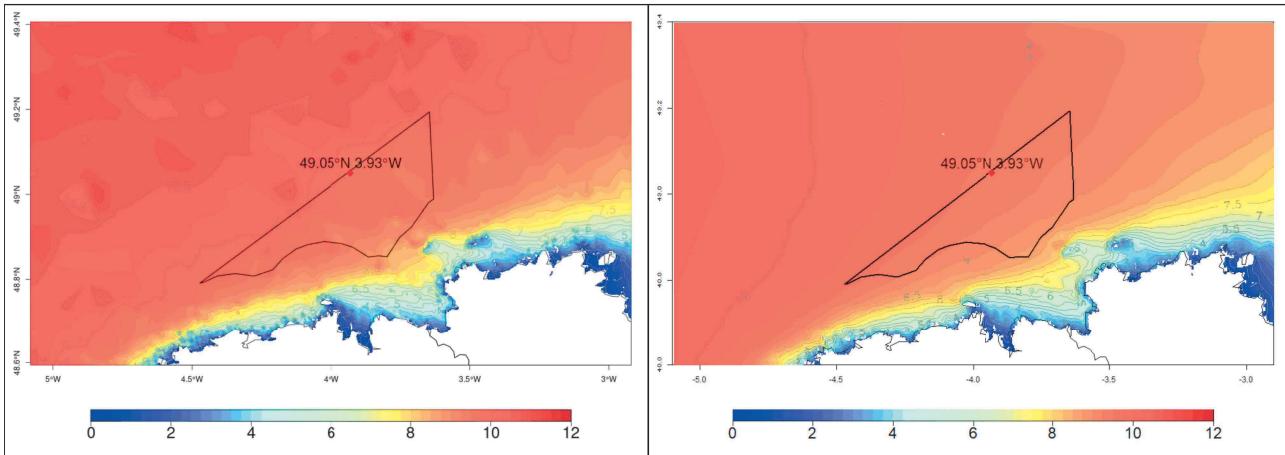


Evolution temporelle de  $H_s$  au point de grille  $49.05^\circ N$   $3,93^\circ W$  – tempête du 15/12/1979 - simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle HYWAT-SHOM (en rouge)

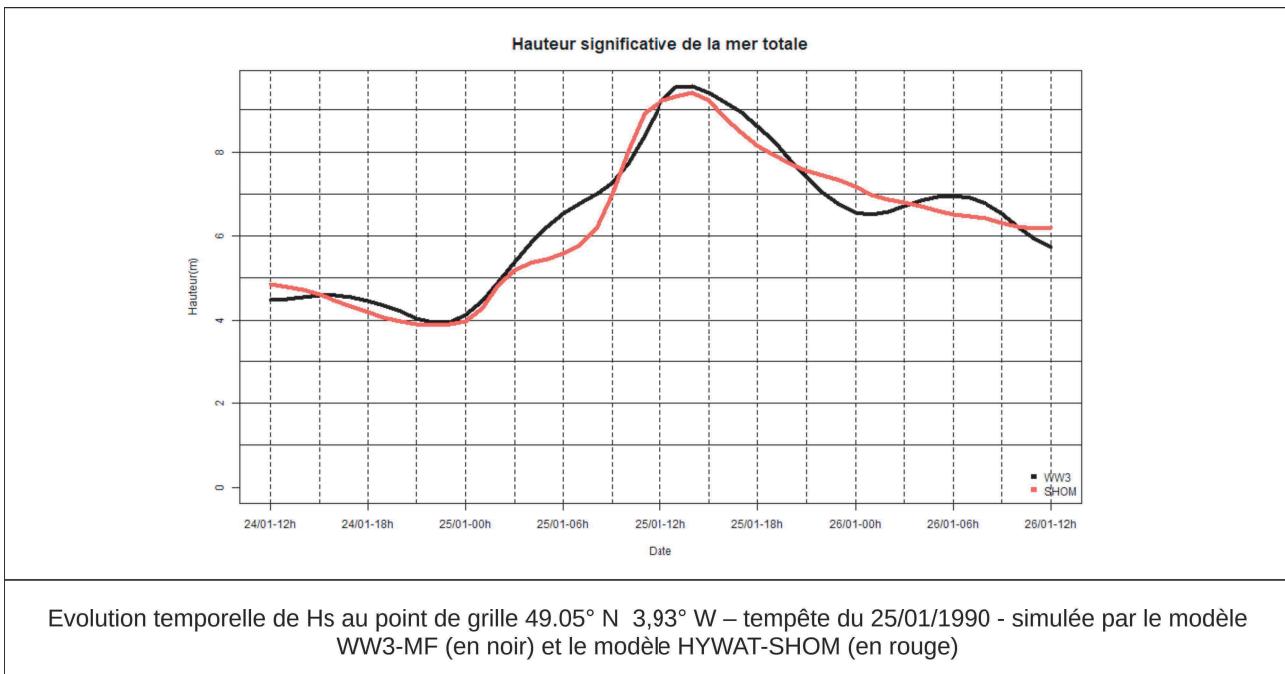
Sur la zone BNO, la hauteur significative maximale de la mer totale de la simulation HYWAT du SHOM est supérieure d'environ 75 cm à celle du modèle WW3 de Météo-France.

La temporalité de l'évolution de la hauteur significative maximale de la mer totale est identique dans les deux modèles.

### Situation du 25 janvier 1990 (tempête Daria)

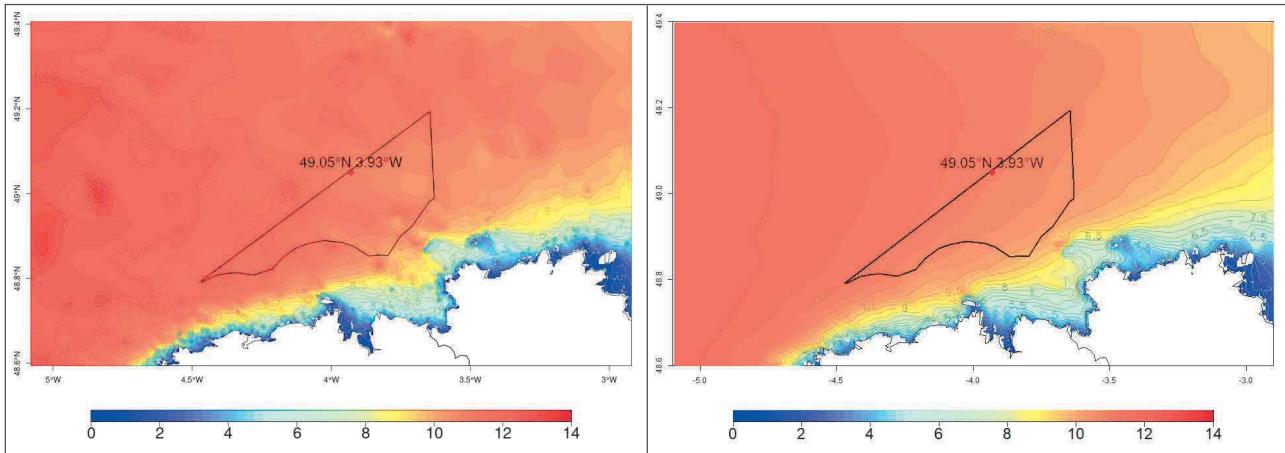


Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 25/01/1990 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 24 jan. à 12 UTC et le 26 jan. à 12 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle HYWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

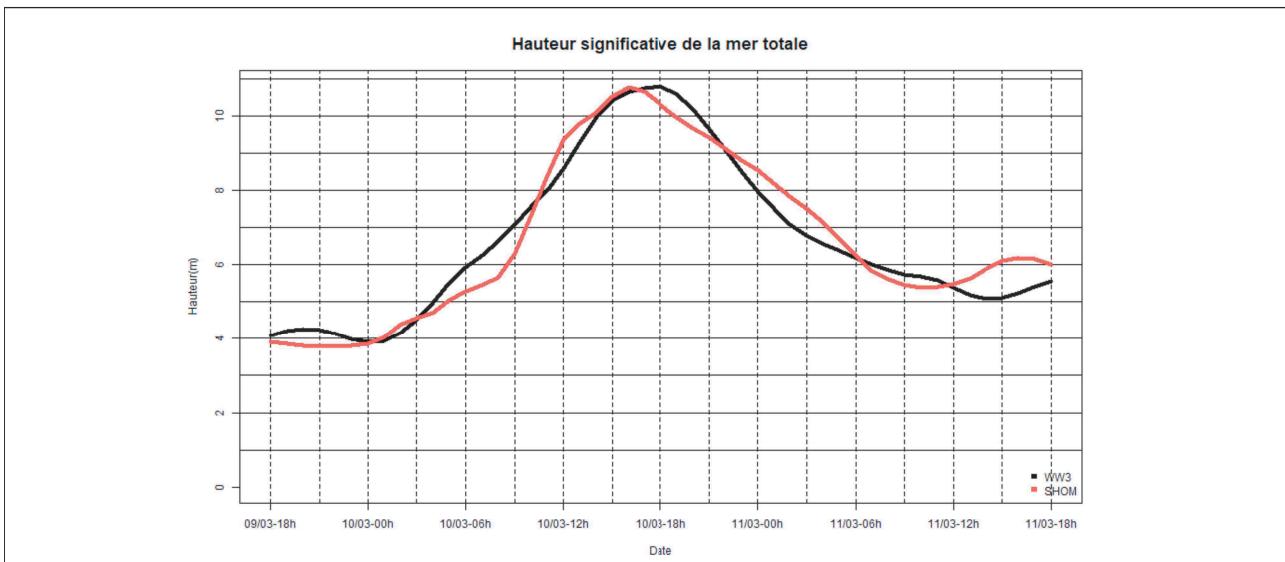


Le modèle WW3 de Météo-France donne une hauteur significative maximale de la mer totale supérieure à celle donnée par le modèle HYWAT du SHOM. La différence reste inférieure à 50 cm.

Au point de mesure du LiDAR, les deux modèles affichent le maximum avec la même temporalité.

**Situation du 10 mars 2008 (tempête Johanna)**


Hauteur significative de la mer totale ( $H_s$ , en mètres) lors de la tempête du 10/03/2008 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 9 mars à 18 UTC et le 11 mars à 18 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle HYWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.



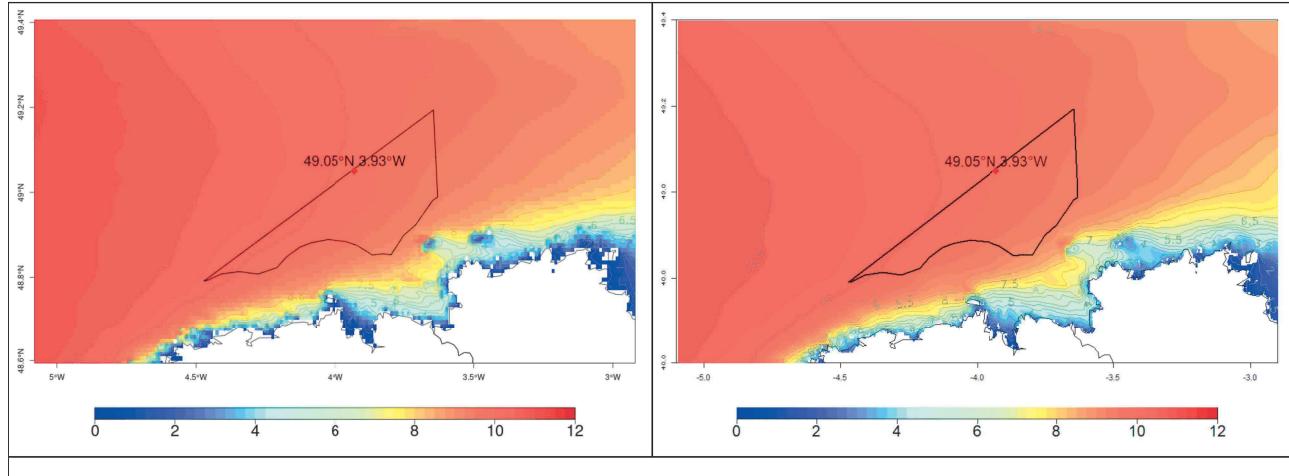
Evolution temporelle de  $H_s$  au point de grille  $49.05^\circ N$   $3,93^\circ W$  – tempête du 10/03/2008 - simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle HYWAT-SHOM (en rouge)

Avec le modèle HYWAT du SHOM, la hauteur significative maximale de la mer totale ne dépasse pas 11 m dans la zone BNO alors qu'elle dépasse 11.5 m dans son quart sud-ouest avec le modèle WW3 de Météo-France.

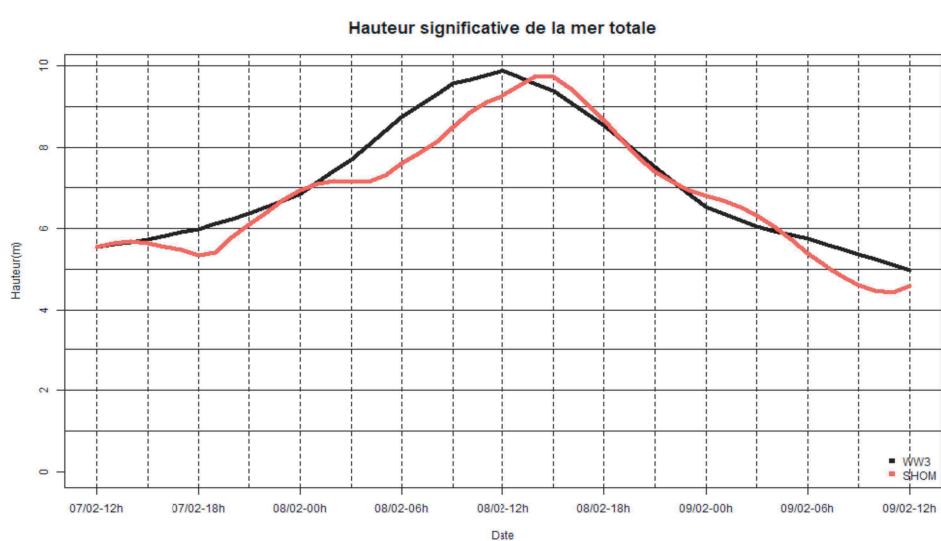
Au point de mesure du LiDAR, si les deux modèles affichent un maximum équivalent, ce maximum est atteint environ deux heures plus tôt par le modèle du SHOM.

## Annexes

### Situation du 8 février 2016 (tempête Ruzica)

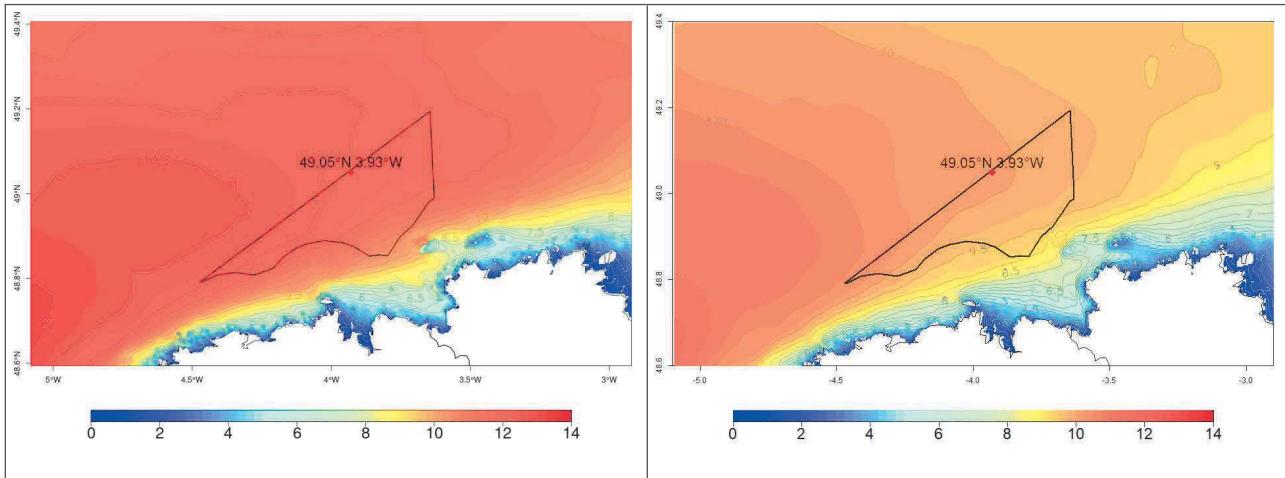


Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 08/02/2016 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 7 fév. à 12 UTC et le 9 fév. à 12 UTC) simulée par le modèle WW3-MF (à gauche) et le modèle HYWAT-SHOM (à droite). Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.

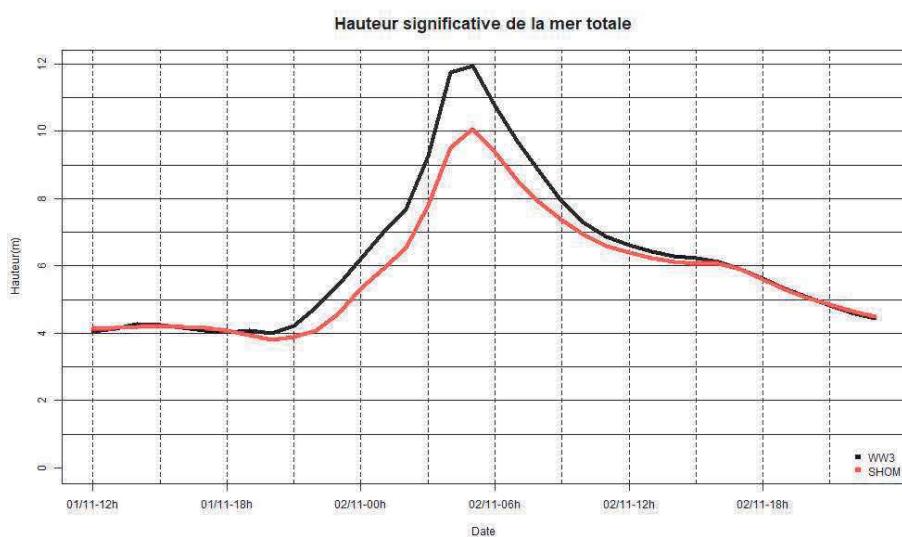


Evolution temporelle de Hs au point de grille 49.05° N 3,93° W – tempête du 08/02/2016 - simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle HYWAT-SHOM (en rouge)

Sur la zone BNO, les deux simulations donnent une hauteur significative maximale de la mer totale équivalente. Le graphique temporel montre un décalage de deux à trois heures sur l'arrivée de ce maximum au point de mesure du LiDAR.

**Situation du 2 novembre 2023 (tempête Ciarán)**


Hauteur significative de la mer totale (Hs, en mètres) lors de la tempête du 02/11/2023 (valeur maximale intégrée sur la période comprise entre le 01 nov. à 00 UTC et le 03 nov. à 00 UTC) simulée par le modèle WW3. Le losange rouge représente la position de la bouée LiDAR implantée sur la zone.



Evolution temporelle de Hs au point de grille 49.05° N 3,93° W – tempête du 02/11/2023 - simulée par le modèle WW3-MF (en noir) et le modèle HYWAT-SHOM (en rouge)

Les deux simulations sont totalement différentes dans les hauteurs significatives maximales de la mer totale atteintes lors de l'épisode tempétueux avec un écart quasi-constant sur la zone de 2 mètres. Le modèle de Météo-France donne par exemple une hauteur de 11,95 m au point LiDAR, là où le modèle du SHOM indique seulement 10,06 m. Les deux modèles présentent la même évolution temporelle de la hauteur significative de la mer totale.

## Conclusion

Le tableau 10 fait la synthèse des comparaisons

<b>Événements</b>	<b>HS max</b>	<b>temporalité</b>
15 décembre 1979	HYWAT-SHOM > WW3-MF	équivalence
25 janvier 1990	WW3-MF > HYWAT-SHOM	équivalence
10 mars 2008	WW3-MF > HYWAT-SHOM	HYWAT-SHOM en avance
8 février 2016	WW3-MF > HYWAT-SHOM	WW3-MF en avance
2 novembre 2023	WW3-MF >> HYWAT-SHOM	équivalence

Tableau 10: synthèse des comparaisons des modèles HYWAT-SHOM et WW3-MF

Le modèle HYWAT du SHOM utilise la même configuration WW3 que Météo-France (même grille, même bathymétrie, même paramétrisation).

Les différences entre les deux modèles peuvent venir :

- **des données de forçage atmosphérique** : ERA-5 est utilisé par le SHOM alors que Météo-France utilise, si disponibles, des données qui ont une meilleure résolution (CERRA disponibles depuis 1984 ou ARPEGE 1/10°).
- **du forçage en hauteur d'eau et courant provenant du modèle Hycom** : là encore, le SHOM n'utilise comme données de forçage que les données ERA5 alors que Météo-France utilise des données de meilleure résolution si disponibles.
- **des conditions aux bornes de WW3** : le Shom utilise une configuration WW3 plus grossière et sans assimilation de données d'observation pour générer les spectres aux bords de la configuration WW3 côtière Haute Résolution. Météo-France utilise le modèle MFWAM avec prise en compte de données altimétriques si disponibles (à partir des années 1990). Un rejeu MFWAM est ainsi effectué préalablement à tout rejeu WW3 avec les meilleures données de vent à 10 m disponibles.

**FIN DE DOCUMENT**

---

**FIN DE DOCUMENT**

---