



# Utilisation des données de Candhis pour la calibration de la base ANEMOC-3 sur l'hiver 2013-2014

Michel Benoit <sup>(1,2)</sup>, Maria Teles <sup>(1)</sup>, Morgane Weiss <sup>(1)</sup>

[michel.benoit@edf.fr](mailto:michel.benoit@edf.fr)

<sup>(1)</sup> EDF R&D Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), Chatou, France

<sup>(2)</sup> Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant (LHSV), Ecole des Ponts, EDF R&D.



**Journée sur les états de mer**  
La mesure *in situ* des vagues : besoins et instruments

Lundi  
**11**  
**décembre**  
2023

Présentiel  
(Plouzané, dpt 29)  
et distanciel

# Sommaire

**1.**  
Introduction et  
contexte

**2.**  
Base de  
données  
ANEMOC

**3.**  
Hiver  
2013-2014

**4.**  
Comparaison  
des résultats

**5.**  
Conclusions et  
perspectives



# Base de données numérique de vagues: un vrai besoin

La connaissance des états de mer de climat moyen et extrêmes est essentielle :

- conception des structures de protection portuaires, côtières et marines
- industries EMR (dont éoliennes en mer) et O&G,
- processus morphodynamiques et évolutions du littoral,
- identification de la ressource d'énergie houlomotrice,
- etc.



- La simulation rétrospective (« hindcast ») est une technique aujourd'hui mature pour fournir des séries d'états de mer longues, en complément des mesures en mer et par télédétection.
- Différentes bases de données existent, dont ERA-Interim, ERA-V, MARC, Homère, ResourceCode, Anemoc, etc.

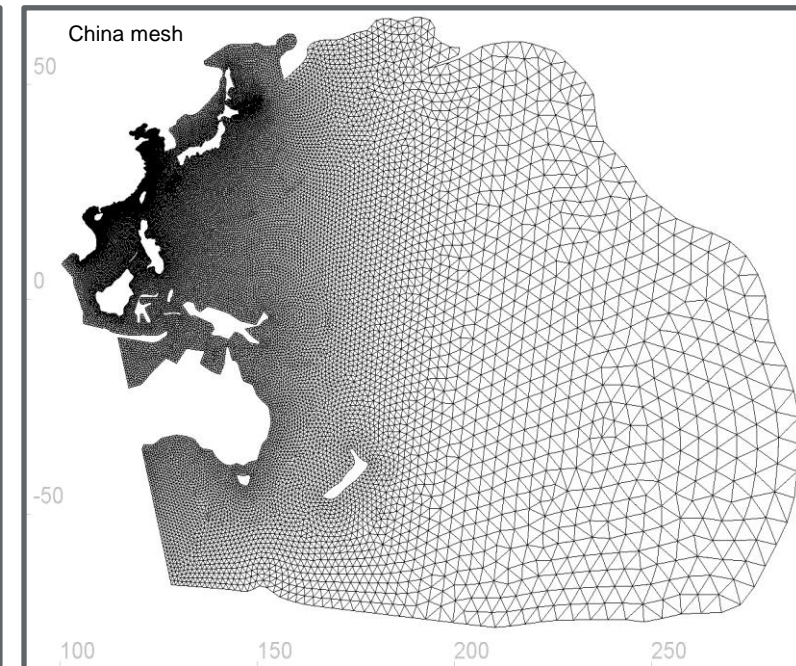
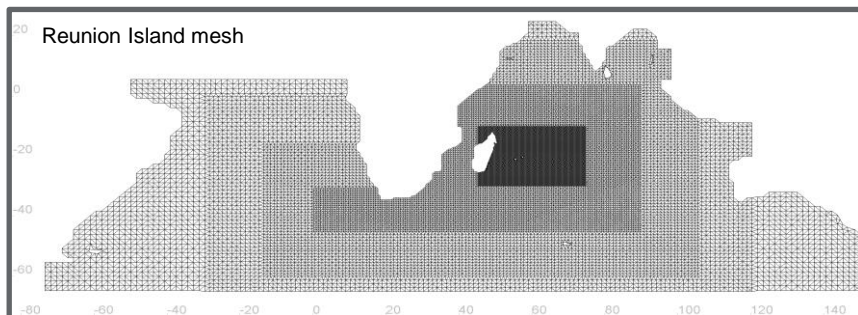
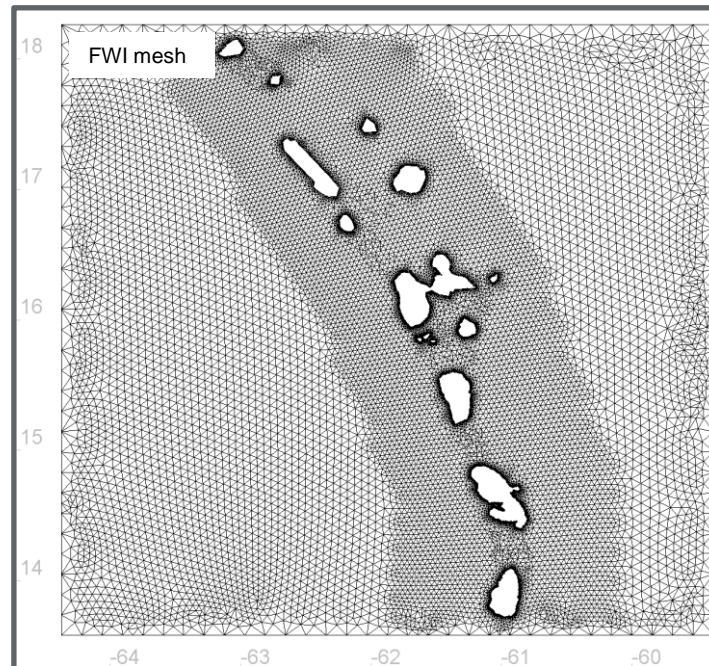
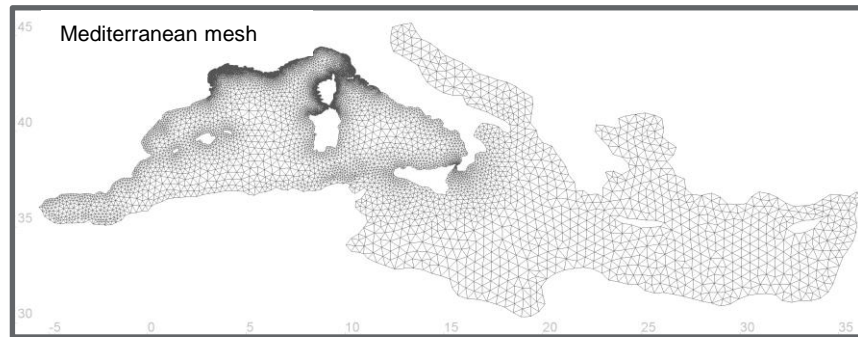
2

## Bases de données ANEMOC

# Bases de données ANEMOC: historique

- ANEMOC-1, -2, Océan Atlantique (EDF – Cerema) => version 3
- ANEMOC-1, -2 Mer Méditerranée (EDF – Cerema)
- ANEMOC-1, -2 Ile de la Réunion
- ANEMOC Caraïbes
- ANEMOC Chine

<http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>





# Modèle numérique TOMAWAC (Benoit et al., 1996)

- Module de generation et propagation de vagues de la plateforme numérique OpenTelemac
- Maillage non-structuré (depuis la première version en 1996)

✓ Equation de transfert de la densité d'action des vagues donnée par:

$$\underbrace{\frac{\partial \tilde{B}\tilde{F}}{\partial t}}_{\text{Variation temporelle}} + \underbrace{\dot{x}\frac{\partial \tilde{B}\tilde{F}}{\partial x} + \dot{y}\frac{\partial \tilde{B}\tilde{F}}{\partial y}}_{\text{Propagation (+ shoaling)}} + \underbrace{\dot{\theta}\frac{\partial \tilde{B}\tilde{F}}{\partial \theta}}_{\text{Réfraction}} + \underbrace{\dot{f}_r\frac{\partial \tilde{B}\tilde{F}}{\partial f_r}}_{\text{Changement de fréquence}} = \overbrace{\tilde{B}\cdot\tilde{Q}(x,y,\theta,f_r,t)}^{\text{Termes source et puits}}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= C_g \sin \theta + U_x & \dot{\theta} &= -\frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial \underline{n}} - \frac{k}{k} \cdot \frac{\partial U}{\partial \underline{n}} & \dot{f}_r &= \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial h} \left( \frac{\partial h}{\partial t} + \underline{U} \cdot \nabla h \right) - C_g \frac{k}{\partial s} \cdot \frac{\partial U}{\partial s} \right] \\
 \dot{y} &= C_g \cos \theta + U_y
 \end{aligned}$$

$$\tilde{B}\cdot\tilde{F}(x,y,f_r,\theta,t) = N(x,y,k_x,k_y,t) = \frac{CC_g}{2\pi\sigma} \tilde{N}(x,y,f_r,\theta,t)$$

$F(x,y,\theta,f_r,t)$  est le spectre de densité de variance,  $B = \frac{CC_g}{2\pi\sigma^2}$  le Jacobien de la transformation de  $F$  à  $N$ , et  $f_r = \sigma/(2\pi)$  la fréquence relative.

✓ Les termes cinématiques sont obtenus à partir de la théorie linéaire des vagues

# ANEMOC-3: Atlantique + Manche + Mer du Nord

## ANEMOC-1 (2008)

1979 – 2002 : 23 ans

- Domaines océanique et côtier
- Modèle spectral de vagues numérique TOMAWAC
- Calibration et validation avec des bouées
- Forçage de vent chaque 6h: ERA Interim

Benoit & Lafon (2004)  
Benoit, Lafon, Goasguen (2006, 2008)

## ANEMOC-2 (2012)

1979-2010 : 32 ans

- Forçage de vent horaire: CFSR
- Nouvelles paramétrisations dans TOMAWAC
- Amélioration des maillages
- Calibration via altimétrie
- Validation via bouées *in situ*

Laugel et al. (2014)  
Tiberi-Wadier, Laugel, Benoit (2014, 2016)

## ANEMOC-3 (2022-2023)

1979-2021 : 43 ans

- Interaction houle-courant prise en compte avec couplage TELEMAC-2D – TOMAWAC
- Amélioration des maillages
- Validation via bouées *in situ* et marégraphes
- Forçage de vent horaire: CFSR et CFSv2

Raoult et al. (2018)  
Teles et al. (2022)

# ANEMOC-3: Domaine océanique

## Bathymétrie :

- LEGOS (proche des côtes européennes)  
complétée par:
- GEBCO

## Discrétisation spectrale :

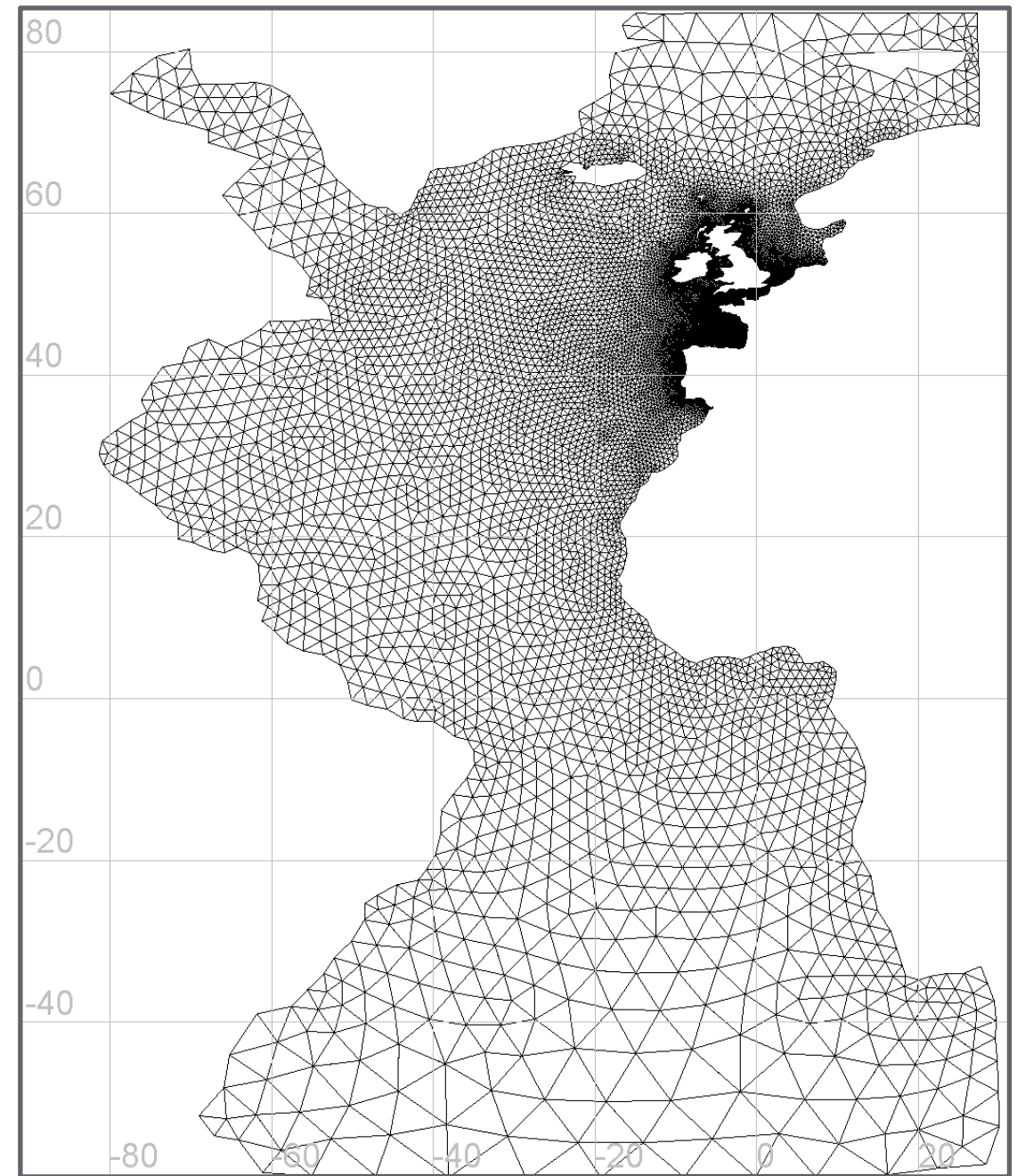
- 32 fréquences (0.0345 Hz – 0.6622 Hz)
- 36 directions

## Discrétisation spatiale variable :

- 20 km de résolution (Europe de l'Ouest)
- 12 340 noeuds

## Discrétisation temporelle :

- Pas de temps : 5 min
- Sorties des résultats : 1 h





# ANEMOC-3: Domaine côtier

## Bathymétrie :

- LEGOS (proche des côtes européennes)
- ~800m x 800m

## Discrétisation spectrale :

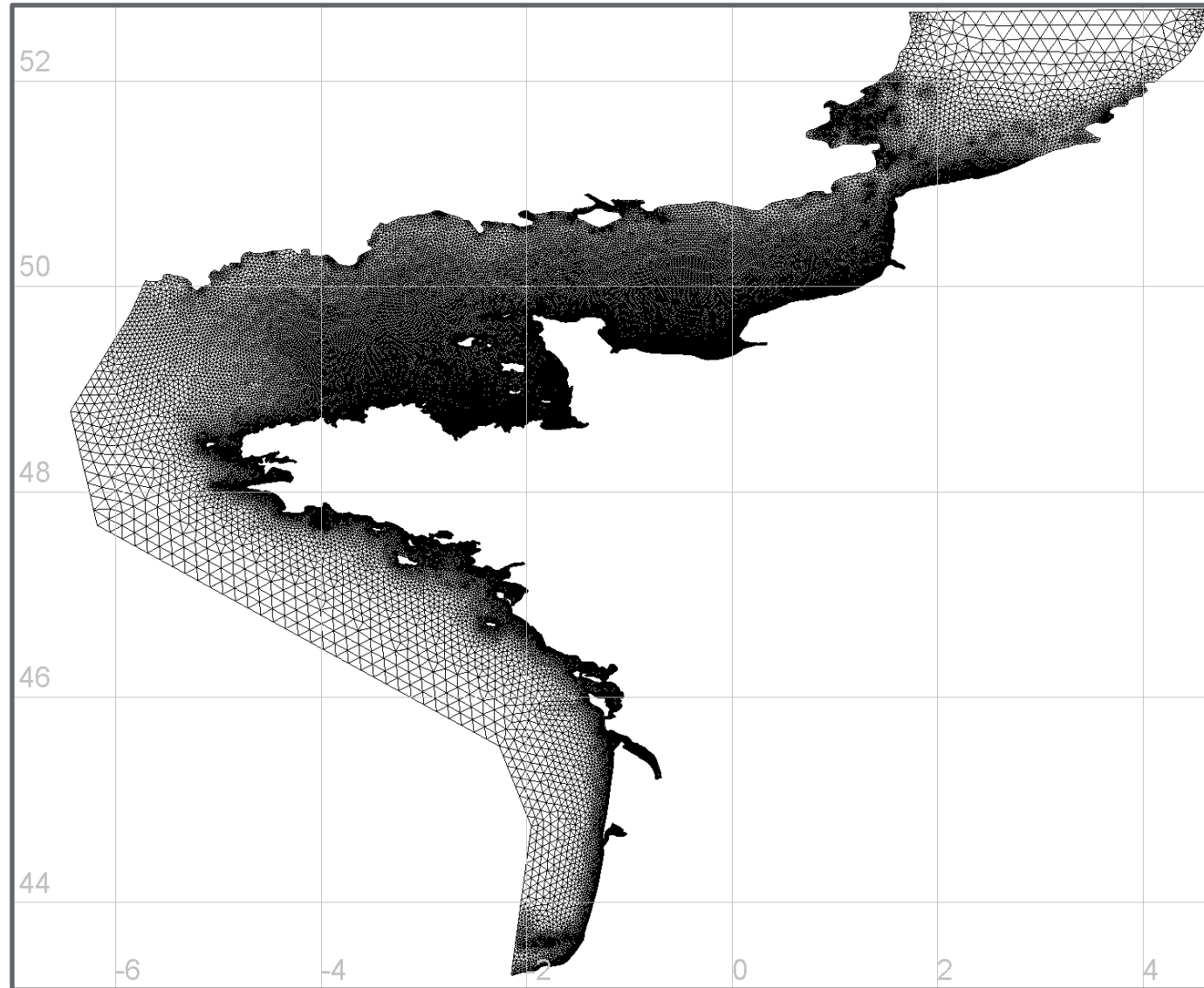
- 32 fréquences (0.0345 Hz – 0.6622 Hz)
- 36 directions

## Discrétisation spatiale :

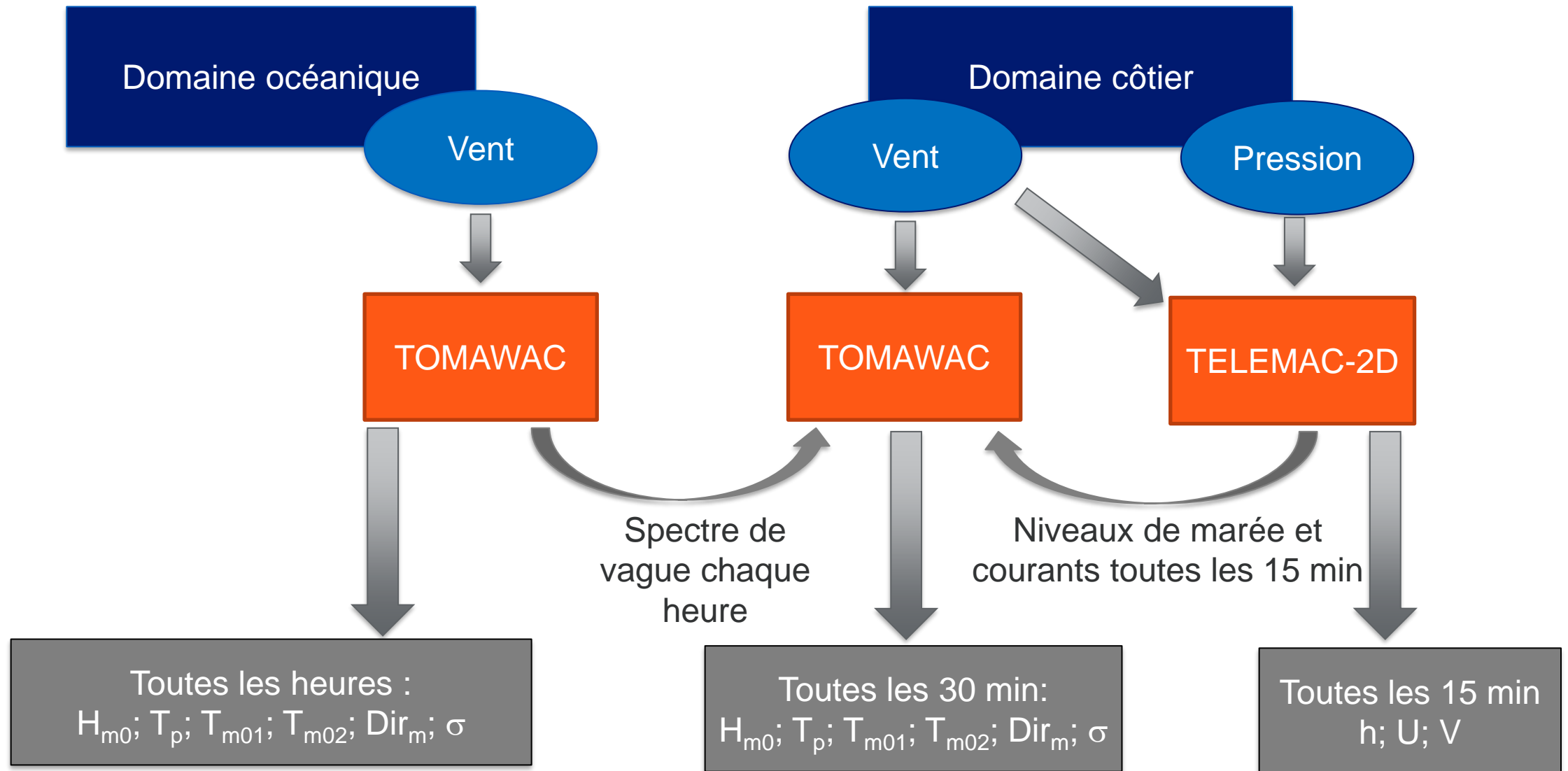
- 1 km de résolution près des côtes françaises
- 56 375 noeuds

## Discrétisation temporelle :

- Pas de temps : 30 s
- Sorties des résultats : 30 min



# ANEMOC-3: Domaines côtier et océanique



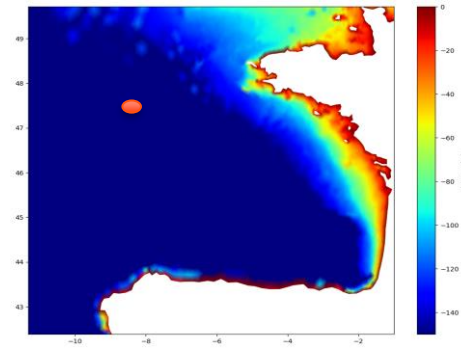
3

**Hiver 2013-2014**

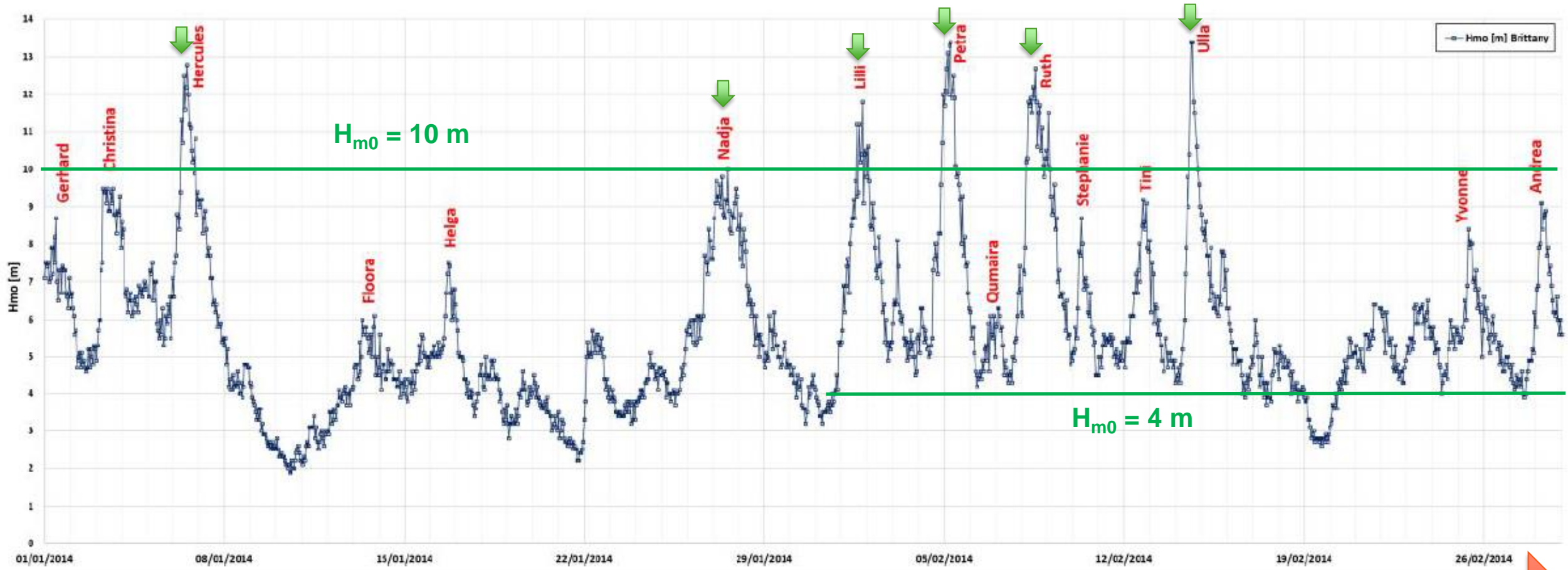


# Hiver 2013-2014 : un beau “terrain de jeu” !

Blaise et al. (2015); Masselink et al. (2016); Ruju et al. (2020))

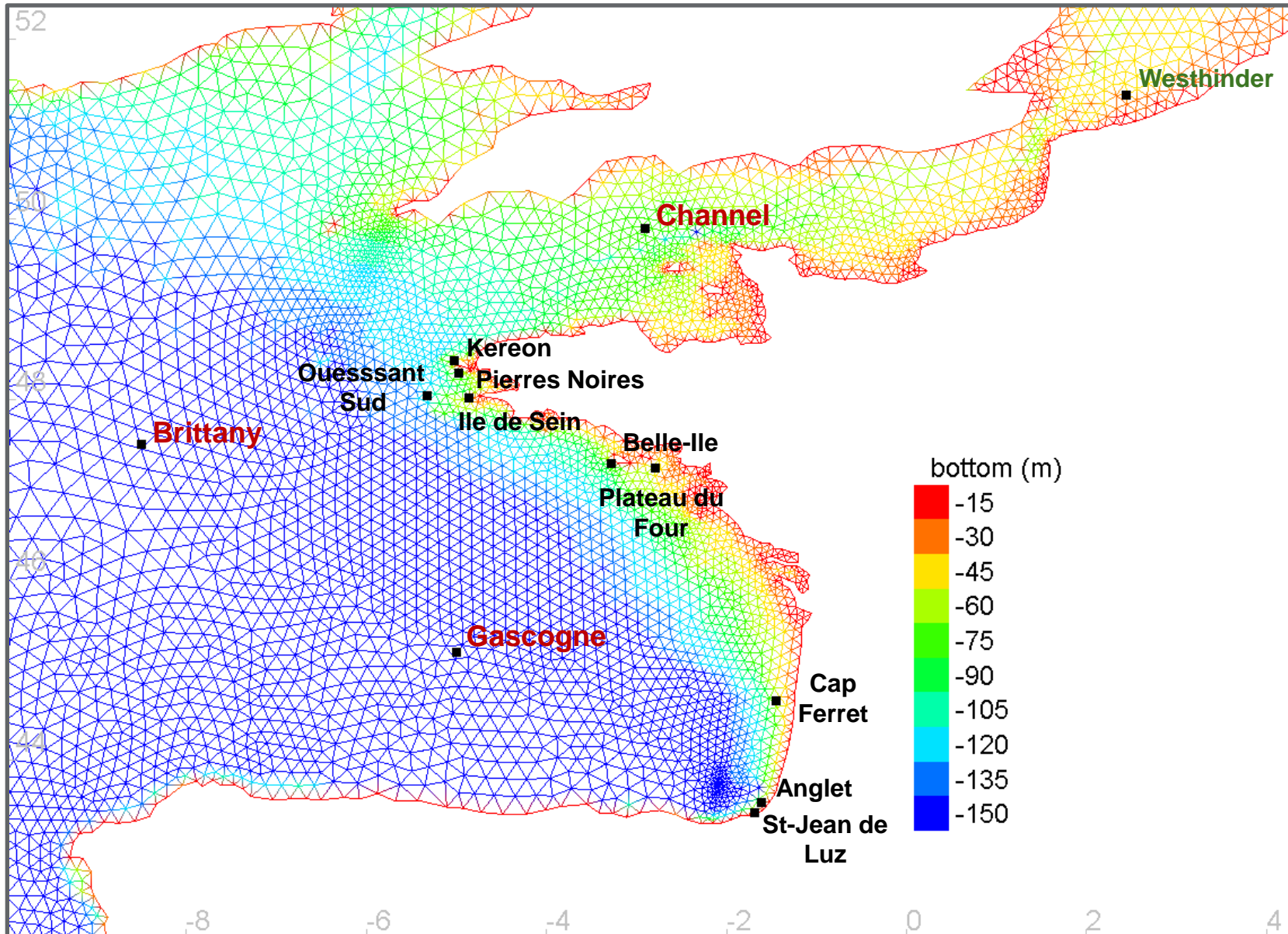


## Mesures de la bouée Brittany (62163)



Janvier et février 2014

# Hiver 2013-2014 : données *in situ*



Différentes sources de données:

**Bouées Météo-France et UKMO (3)**

<https://www.metoffice.gov.uk/weather/specialist-forecasts/coast-and-sea/observations>

**Bouées Candhis (13)**

<https://candhis.cerema.fr/>

**Bouées belges (1)**

<https://meetnetvlaamsebanken.be>

# 4

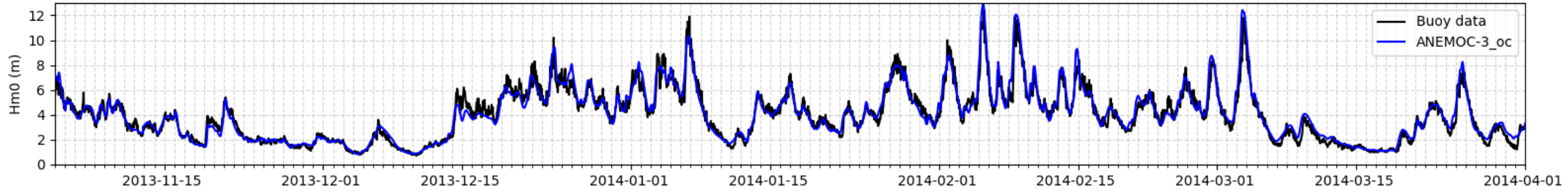
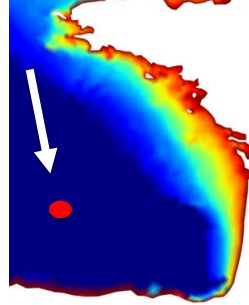
## Calibrations et comparaisons

- Mesures de bouées
- Données satellitaires

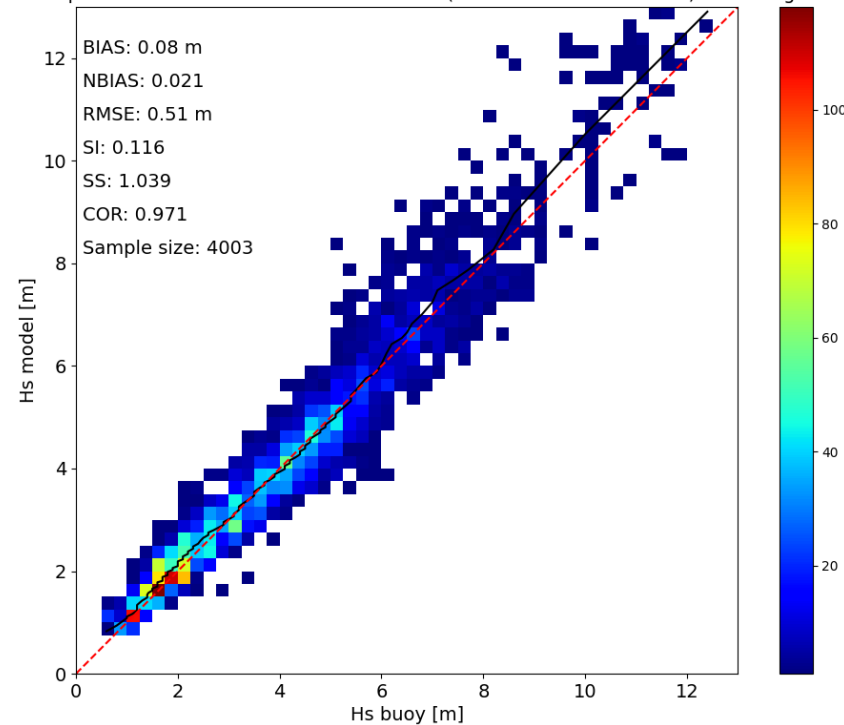


# Bouée Gascogne (62001) avec $h \sim 4300$ m

## Données du modèle océanique

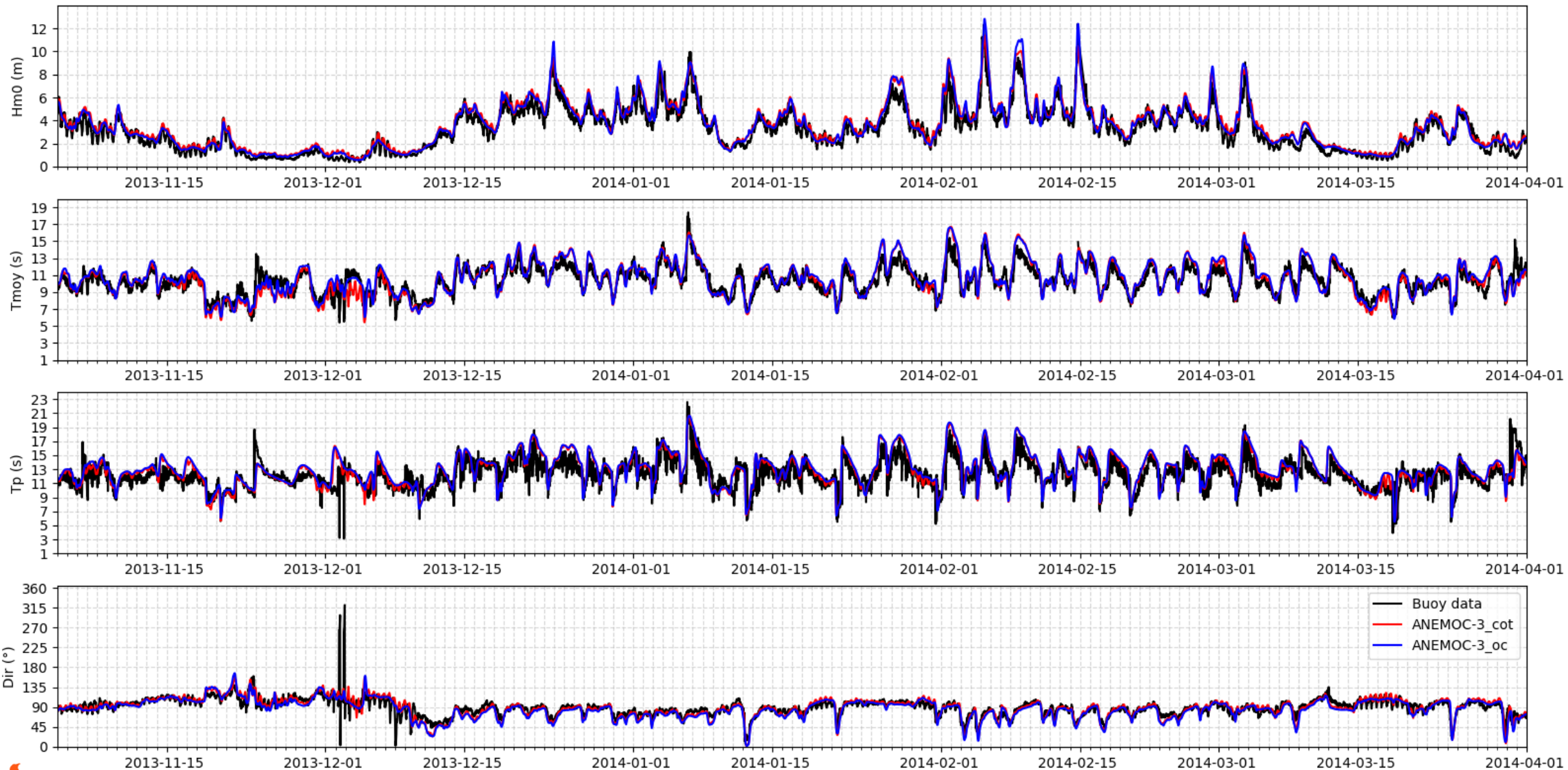


Scatter plot of measurements and simulated Hs (ANEMOC oceanic domain) at Gascogne

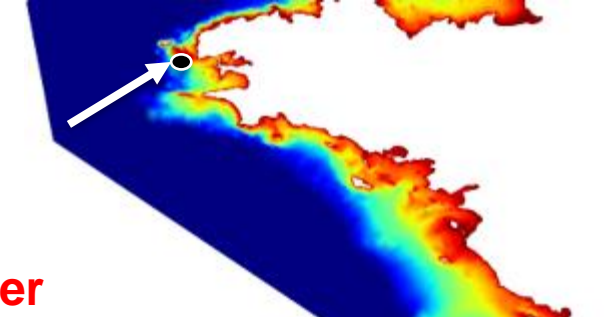


# Bouée Pierres Noires (02911) avec h ~ 60 m

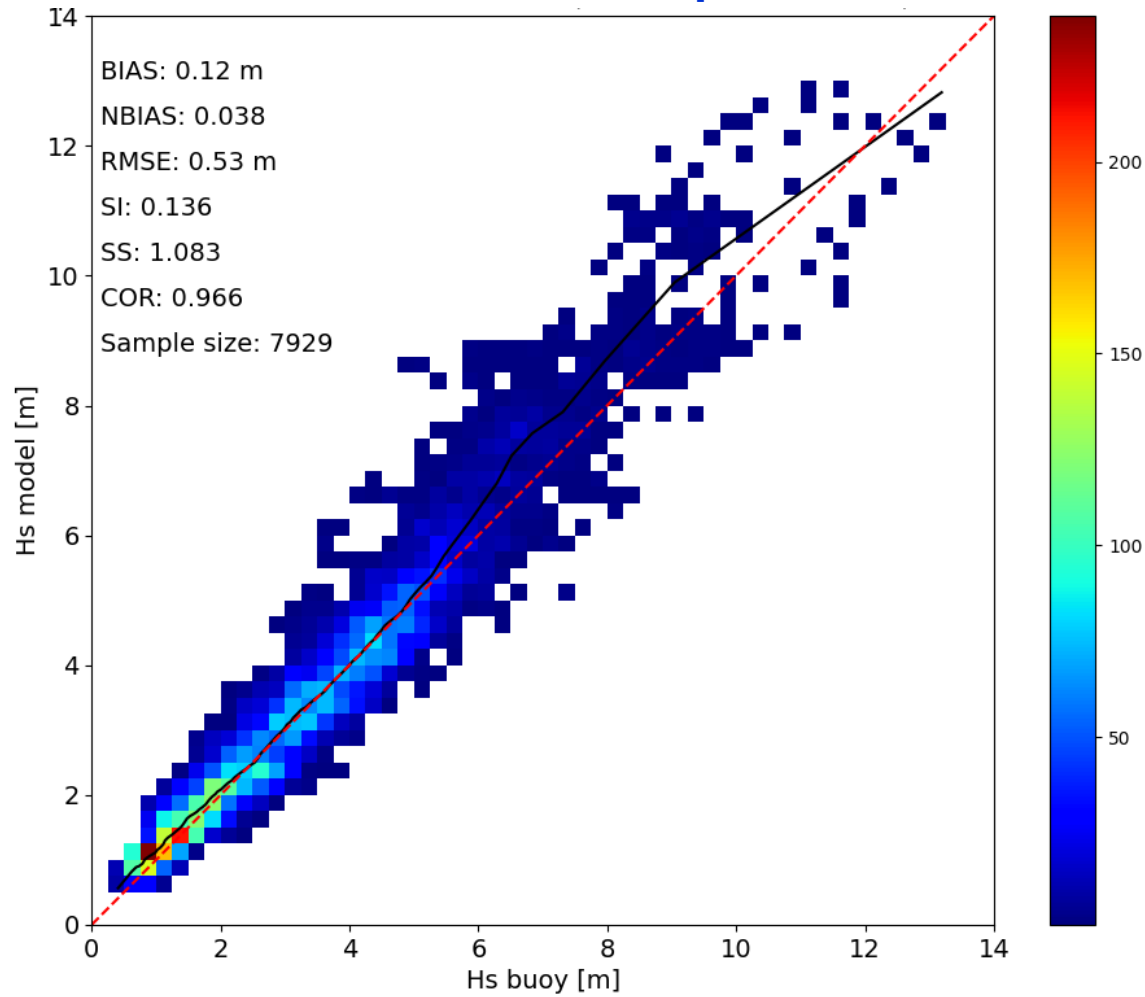
Données du modèle océanique  
et du modèle côtier



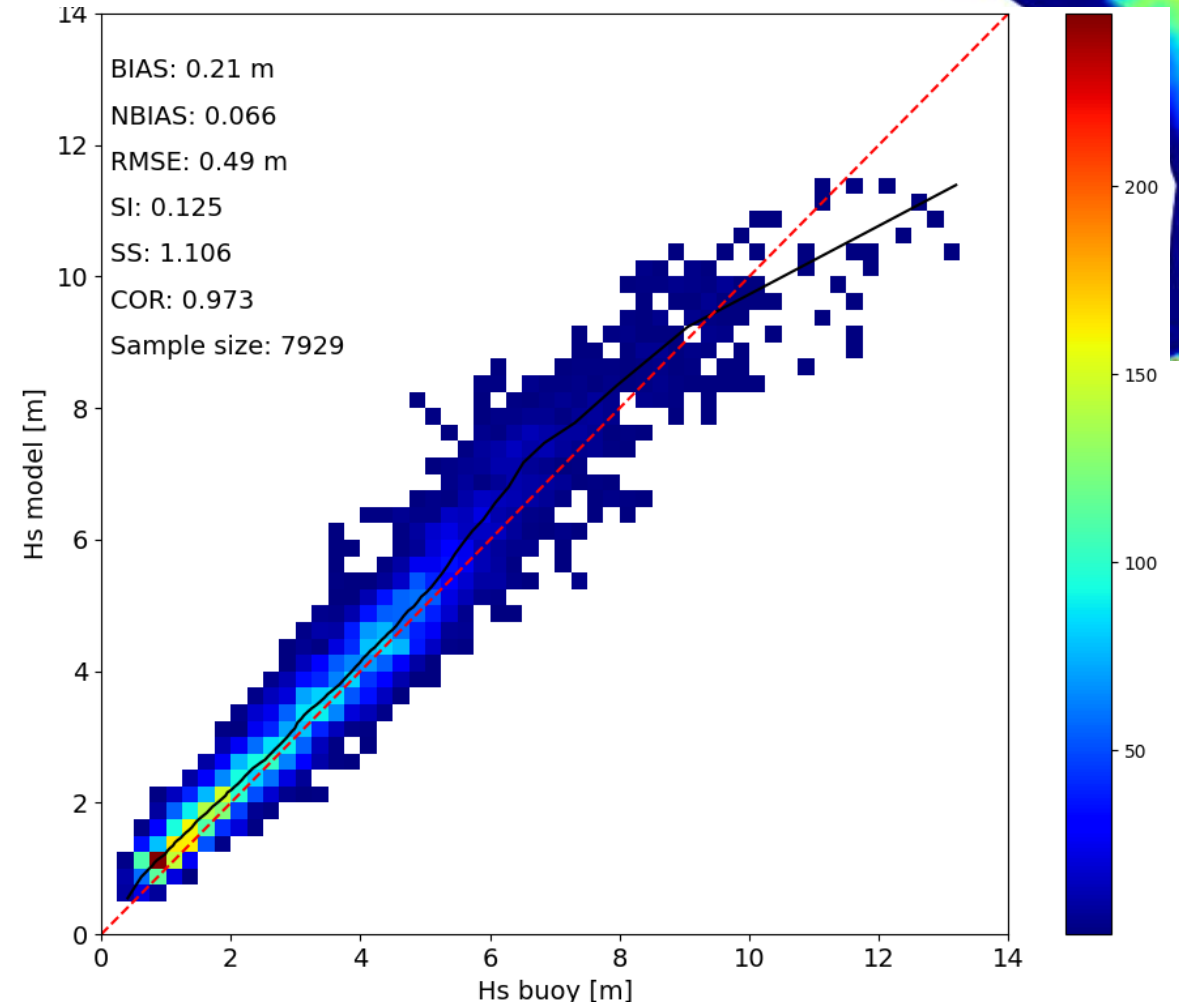
# Bouée Pierres Noires (02911) avec $h \sim 60$ m



## Modèle océanique

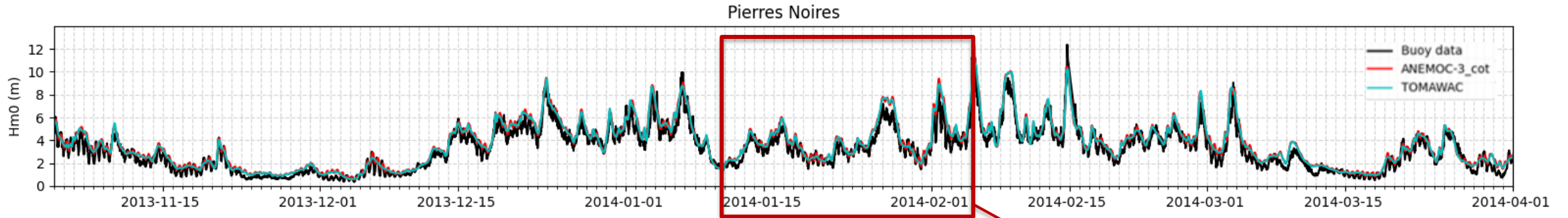


## Modèle côtier

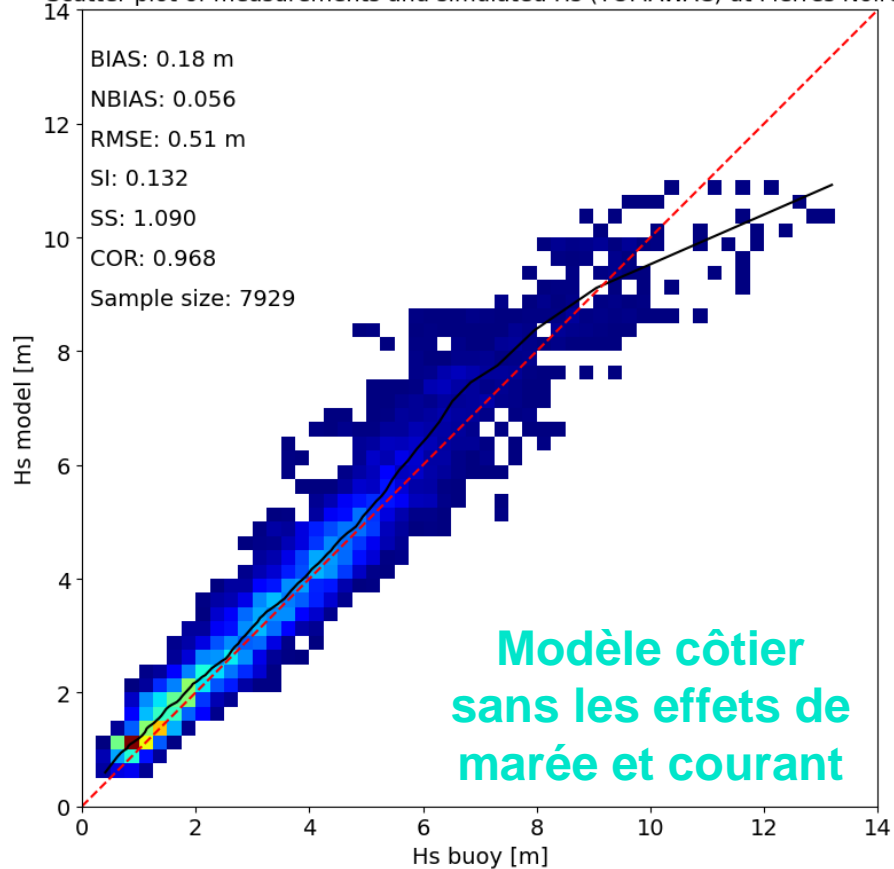




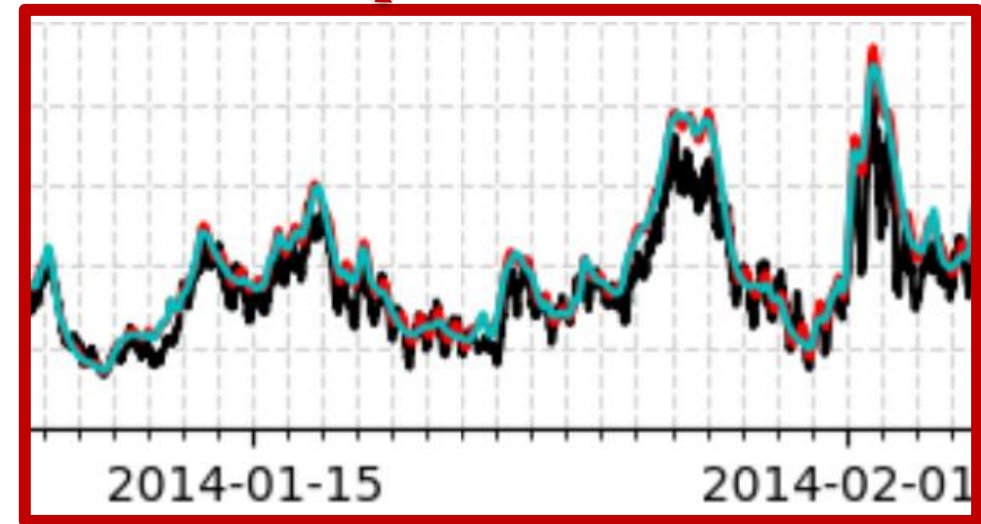
# Bouée Pierres Noires (02911) avec h ~ 60 m



Scatter plot of measurements and simulated Hs (TOMAWAC) at Pierres Noires

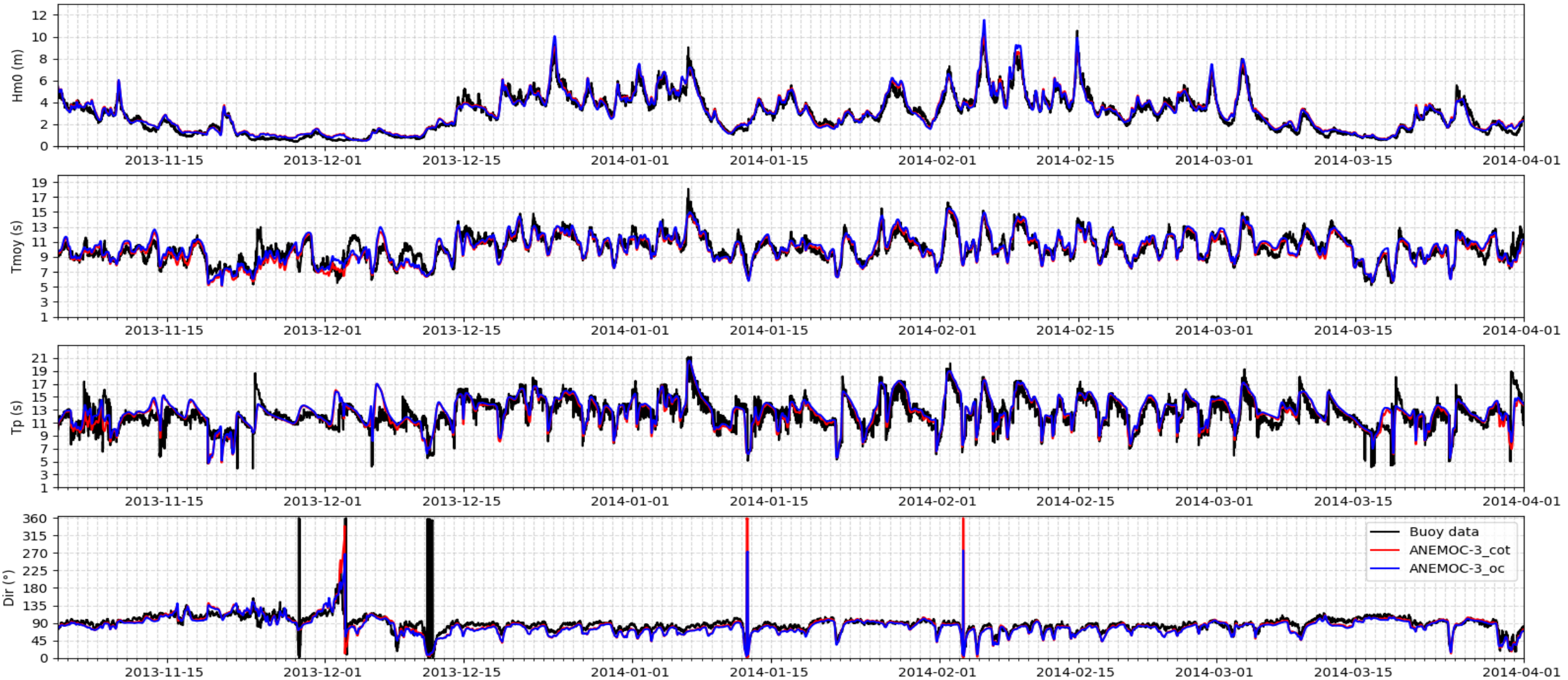


Modèle côtier  
sans les effets de  
marée et courant

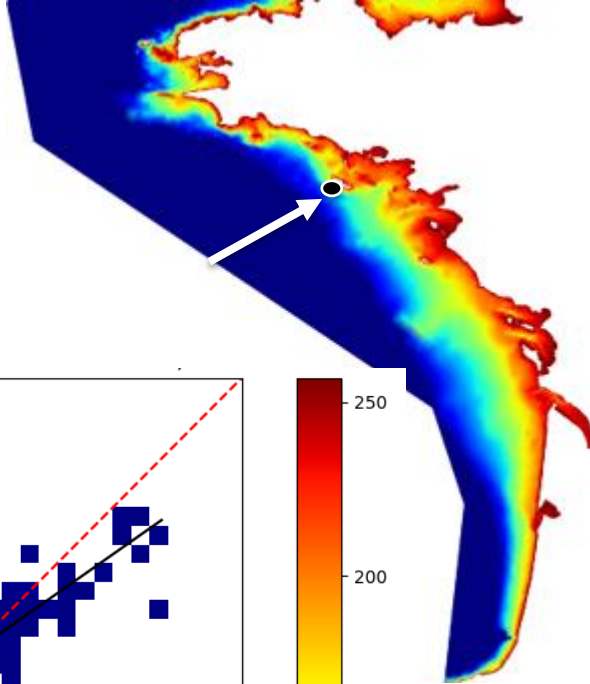


# Bouée Belle Ile (05602) avec h ~ 45 m

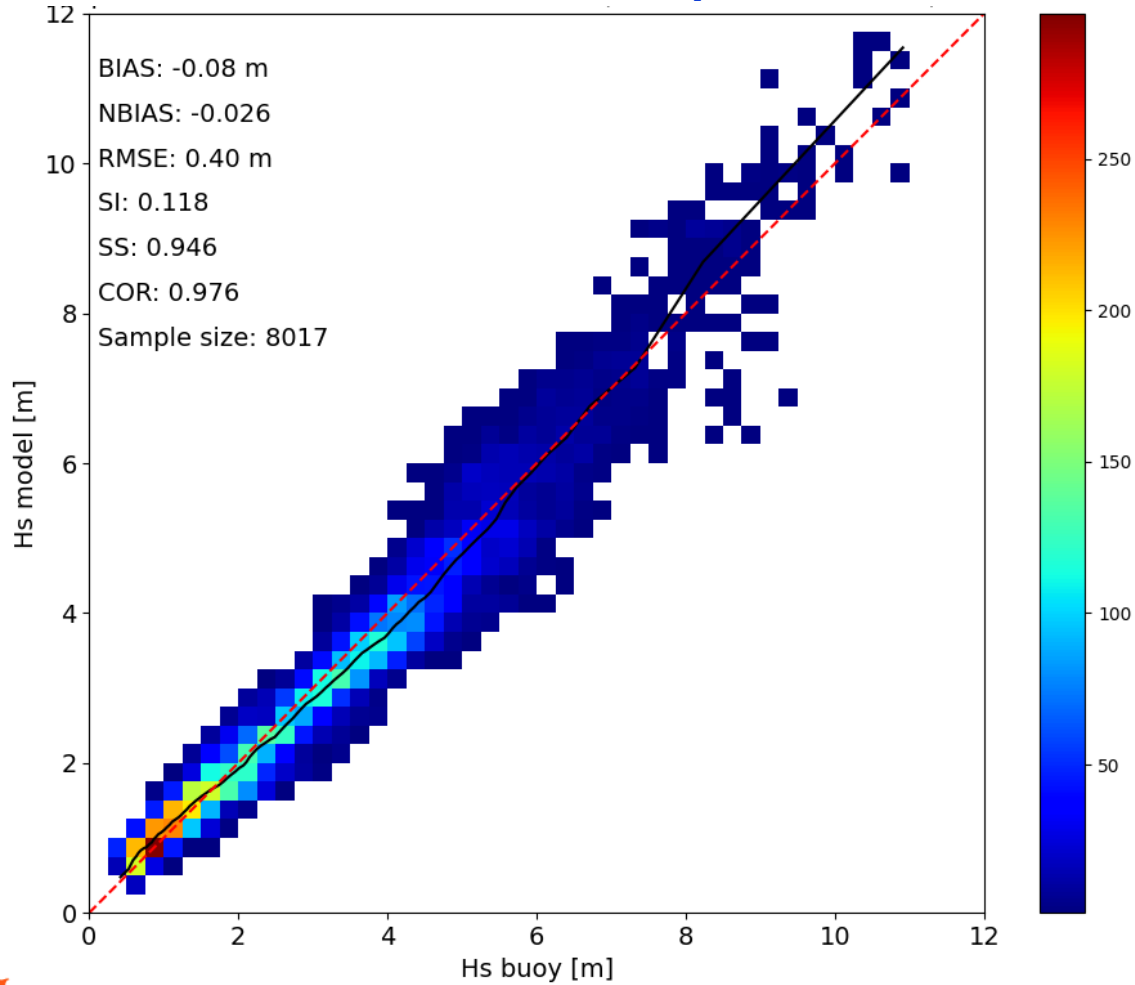
Données du **modèle océanique**  
et du **modèle côtier**



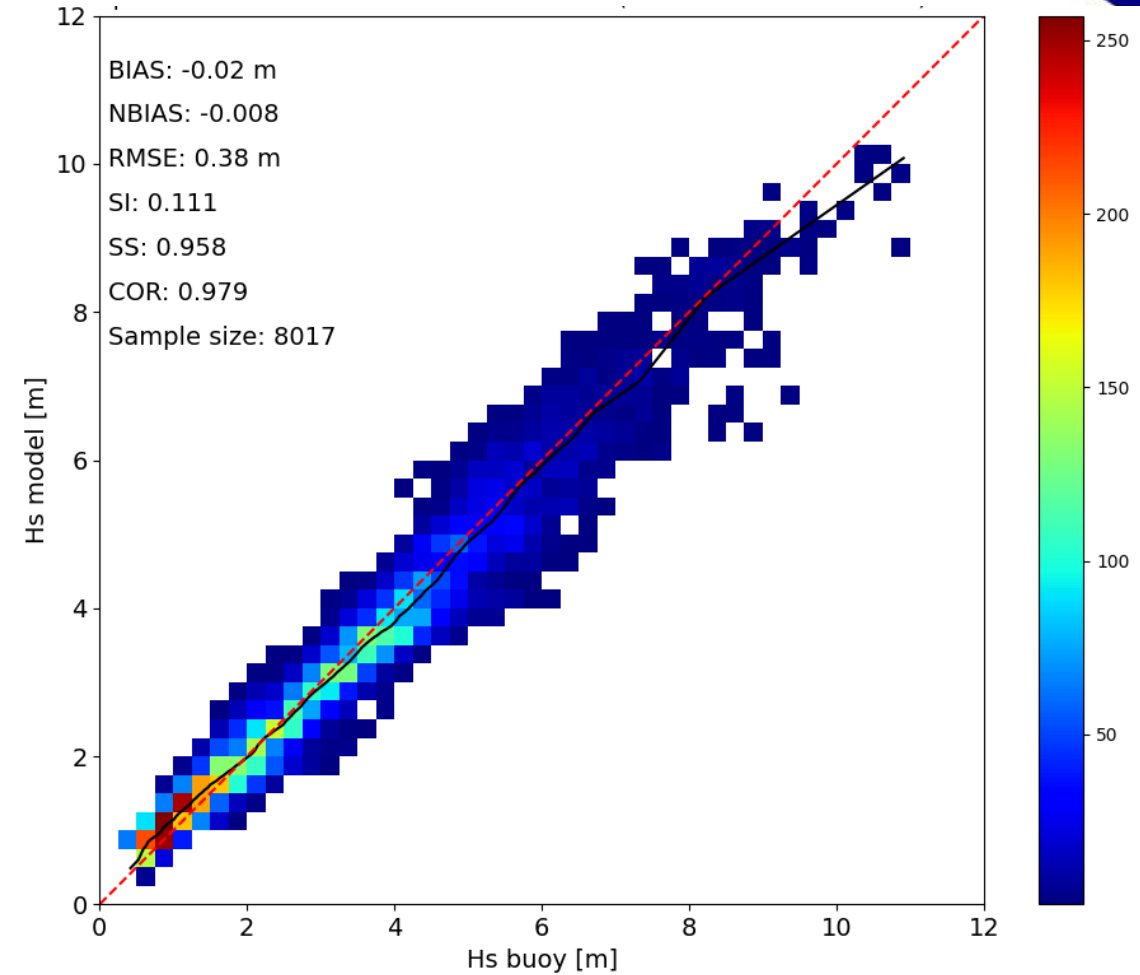
# Bouée Belle Ile (05602) avec $h \sim 45$ m



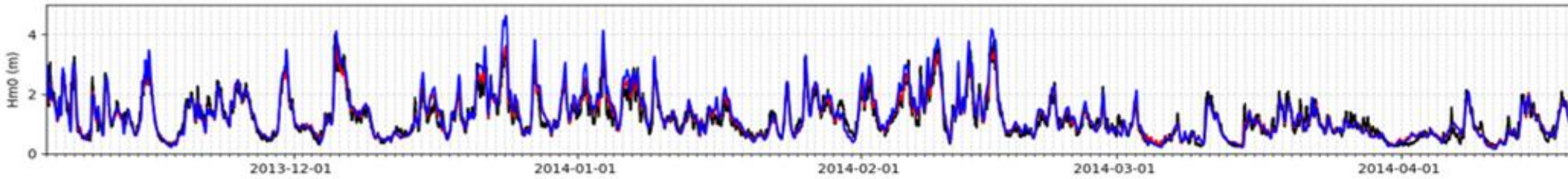
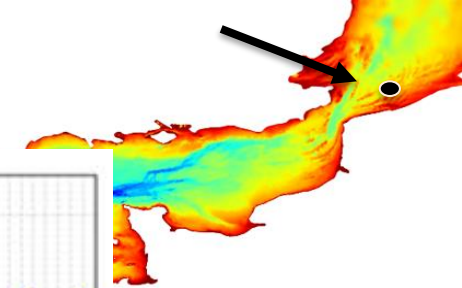
## Modèle océanique



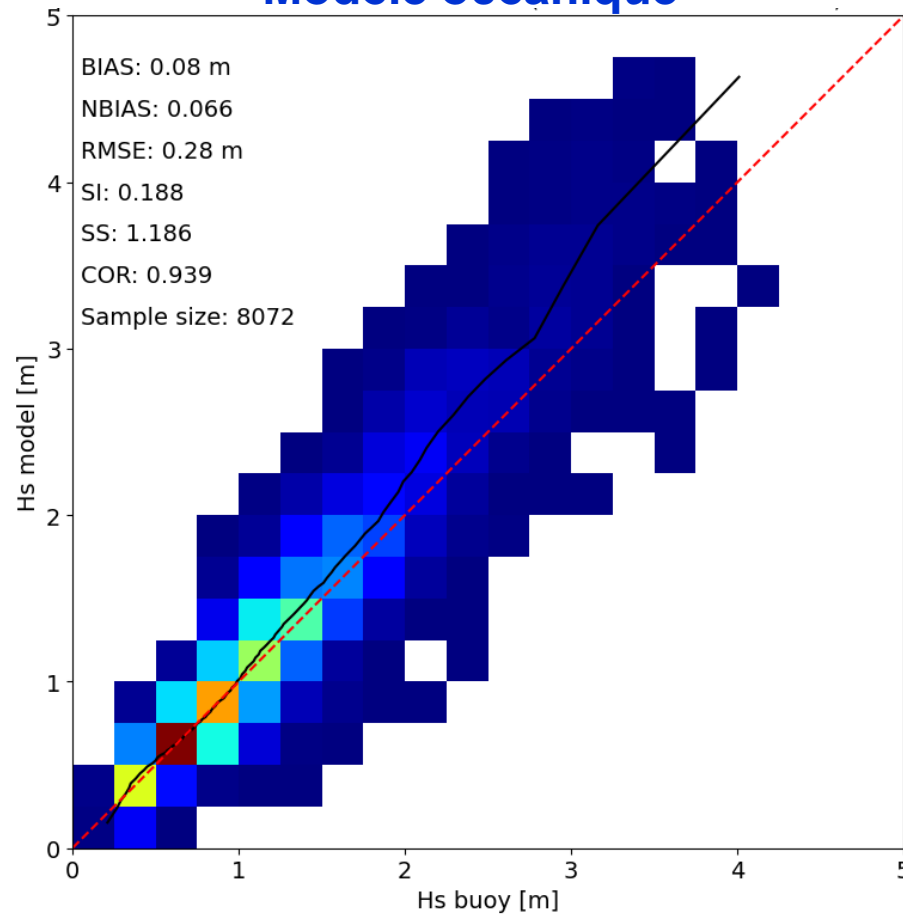
## Modèle côtier



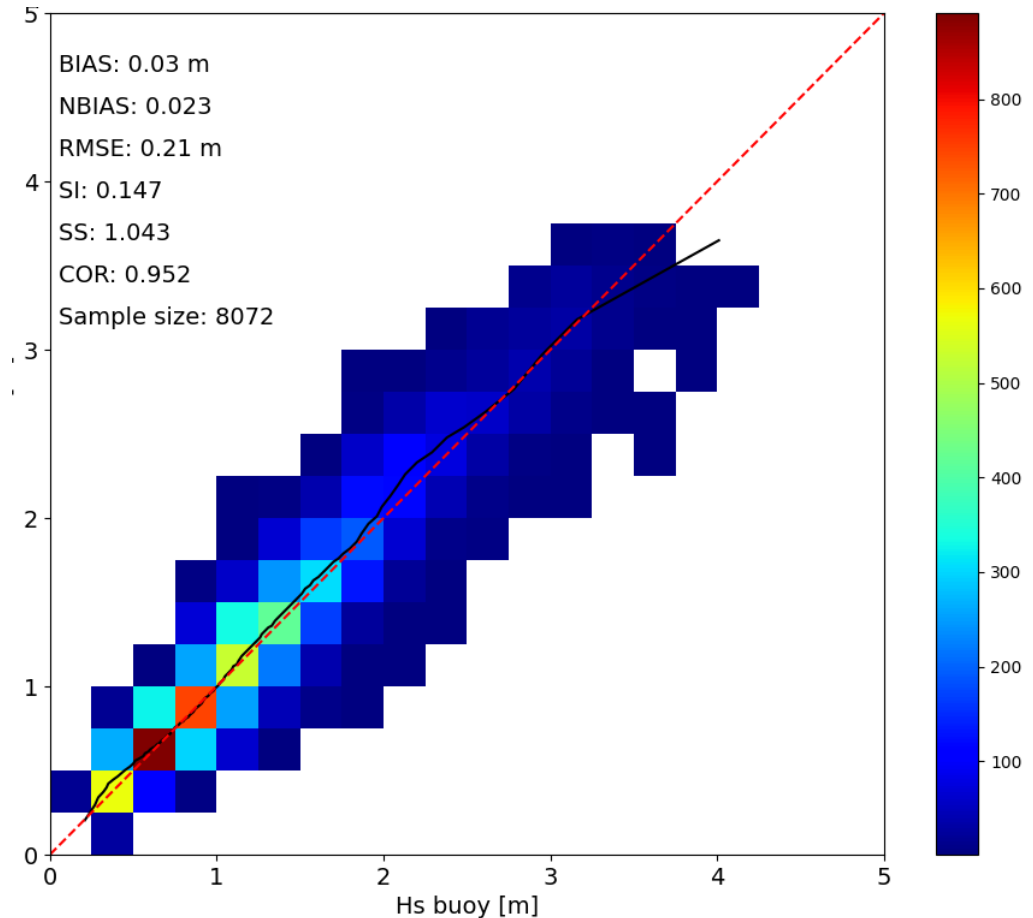
# Bouée Westhinder avec $h \sim 27$ m



## Modèle océanique



## Modèle côtier



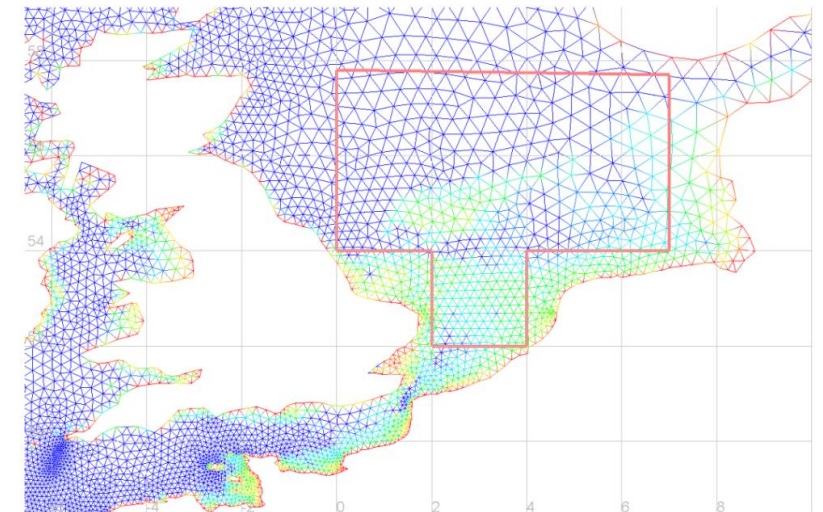
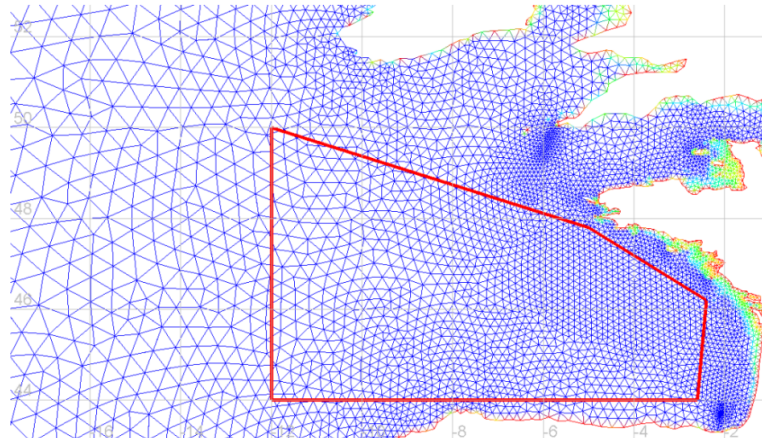


# Comparaison satellite / ANEMOC-3

- Source des données satellitaires : **ESA CCI**

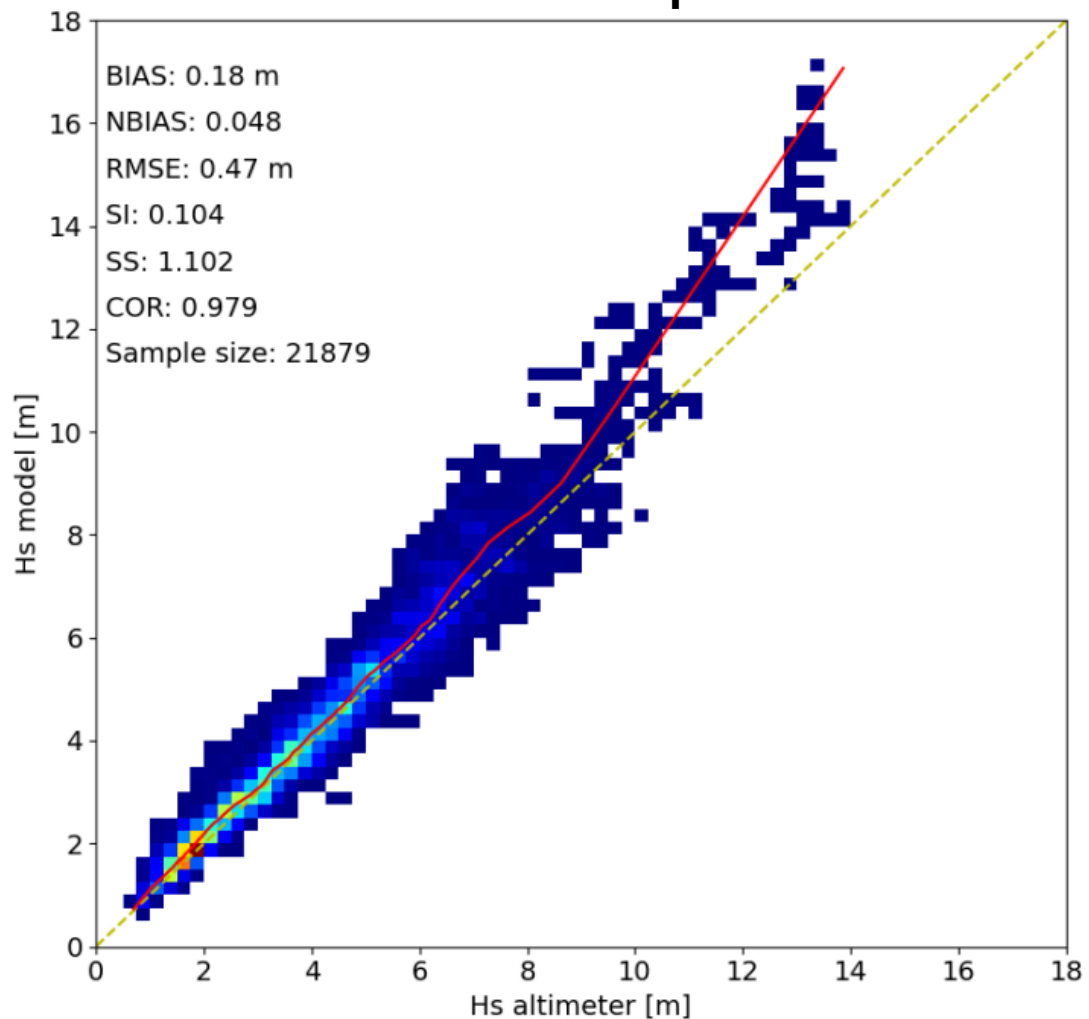
<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/3ef6a5a66e9947d39b356251909dc12b>

- Produit **L3** = données issues de **tous** les satellites (missions : ERS-1, ERS-2, Topex, Envisat, GFO, CryoSat-2, Jason-1, Jason-2, Jason-3, SARAL)
- Variable « **swh denoised** », soit la hauteur significative filtrée et ajustée via *Empirical Mode Decomposition*
- Résolution de **7 km environ**
- Approche différente de la comparaison bouées/ANEMOC-3 : ici, on travaille avec des **trajectoires** (traces au sol) et non des localisations ponctuelles
- 2 zones étudiées : dans l'océan **Atlantique** et dans la **Mer du Nord**

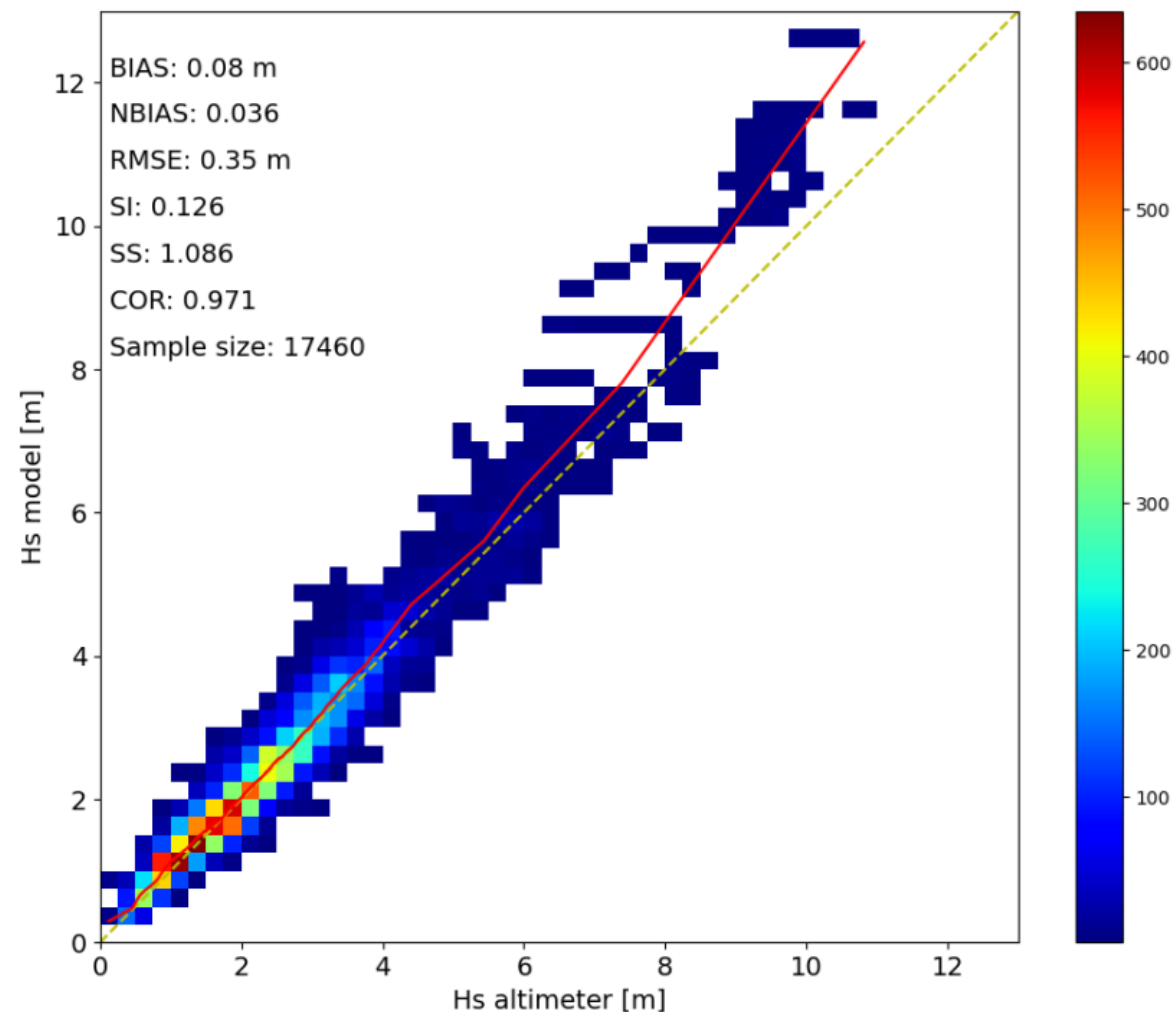


# Comparaison données satellitaires: produit L3 (ESA CCI)

## Zone Atlantique



## Zone Mer du Nord



# 5

## Conclusions et perspectives

# Conclusions

- Amélioration de résultats avec
  - domaine côtier (résolution plus fine avec meilleure représentation de la bathymétrie).
  - prise en compte des effets de marées (sur modèle côtier seulement).
- Amélioration des pics extrêmes de Hs (relativement à ANEMOC-1 et 2) ;
- Sur la base de quelques comparaisons, ANEMOC-3 est plus proche des mesures que MARC et de niveau comparable à ResourceCode (à poursuivre et quantifier plus précisément).

# Travail en cours

- Comparaisons avec mesures de spectres directionnels et décomposition de différents systèmes de vagues  
=> **vers utilisation de données CANDHIS plus détaillées**
- Utilisation à développer des mesures satellitaires.
- Tests de sensibilité :
  - forçage de vents (réanalyse ERA-5),
  - paramétrisations physiques (e.g. ST4 (Ardhuin et al, 2010)),
  - maillages plus raffinés près des côtes
- Apports de l'assimilation de données et de techniques de calage optimal de paramètres (stage 2023).
- Travail sur les cyclones tropicaux (typhons, ouragans) pour zones inter-tropicales.



**Merci pour votre attention !**