

Le projet HOMONIM en soutien des prévisions d'inondation côtière

Colloque SHF, 28-30 novembre 2023, Toulouse.

Denis Paradis, denis.paradis@meteo.fr

Prévision Marine et Océanographie - Directions des Opérations pour la Prévision,
Météo France, Toulouse

*Audrey Pasquet, Alice Dalphiné, Komlan Kpogo-Nuwolko, Héloïse Michaud, Rémy Baraille,
Didier Jourdan, Patrick Ohl, Roman Le Belleguic, Yann Krien, David Ayache, Christophe
Bataille, Maya Ciavaldini, Fabien Brosse*
travaillant à Toulouse, au Shom ou à Météo France ou au LEGOS

1) Le projet HOMONIM

- Contexte

2) TOLOSA-ATL, prochain modèle de surcotes

- configuration

- résultats

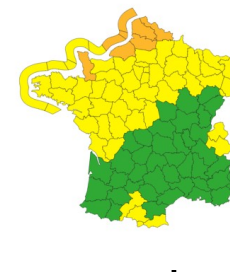
3) Prévision d'Ensemble

- Calibration de la PE de surcotes

- PE de vagues en côtier

4) Couplage Tolosa-ATL avec WW3

5) Conclusion



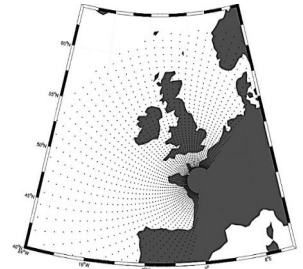
Historique, **O**bservation, **MO**délisation des **N**iveaux **M**arins

⇒ Projet conjoint Météo France / Shom, MOA=DGPR, en réponse au chantier « améliorer l'anticipation des submersions marines » du Plan Submersions Rapides (PSR)

⇒ Amélioration de la modélisation du niveau d'eau et des vagues en côtier

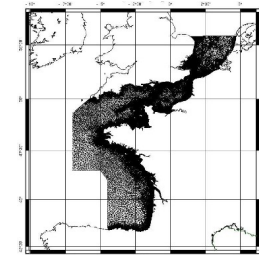
Phase I : 2012 – 2015

- 3 nouveaux marégraphes
- nouveaux MNT à 100 m (côtes métropole) et 500 m (large métropole)
- nouvelles chaînes de prévision des surcotes (HYCOM-2D) et des vagues à la côte (WW3) pour la **métropole**



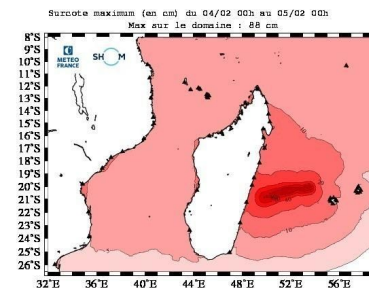
Phase II : 2016 – 2019

- consolidation et amélioration en métropole
- 3 nouveaux marégraphes / modélisation couplée sur zone à enjeux
- prévision d'ensemble (PE) de surcotes
- **extension à l'outre-mer** des modèles de surcotes et de vagues en côtier
⇒ configurations pour : Antilles – Guyane – Réunion – Mayotte



Phase III : 2020 – 2025

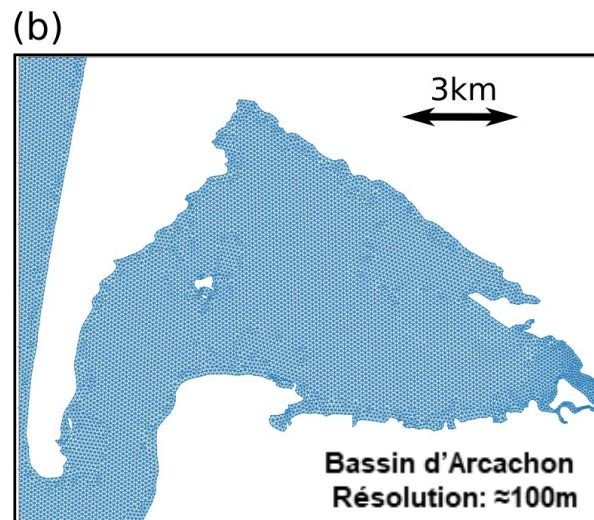
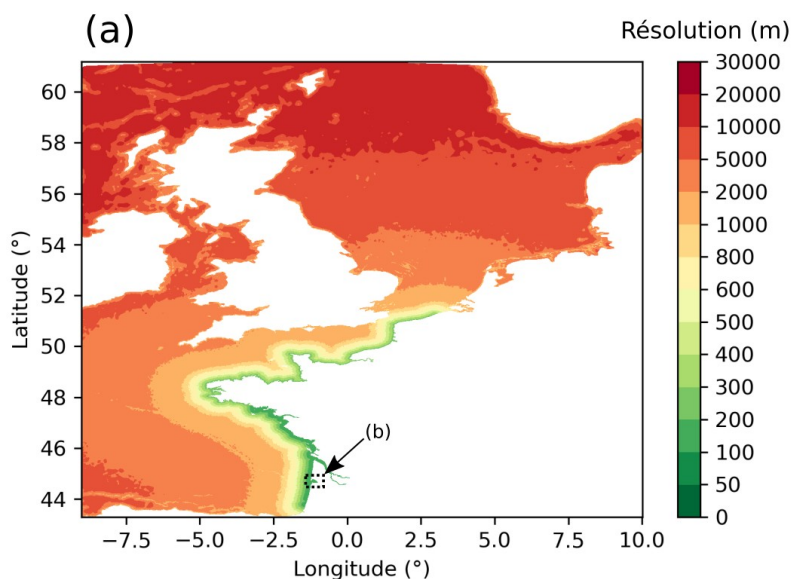
- nouveau modèle Tolosa pour les surcotes pour la façade ATL
- configuration couplée THR (Très Haute Résolution), Tolosa-WW3, Nord Aquitaine
- R&D sur la modélisation XTHR vague à vague
- PE de vagues



TOLOSA-SW = module shallow-water de la boîte à outils **TOLOSA** (**T**ools **L**ibrary for unstructured **O**cean Models and **S**urge **A**pplication), codée avec les dernières normes Fortran orientées objet, développée par l'IMT et le Shom pour modéliser les écoulements à surface libre. <http://tolosa-project.com>

⇒ TOLOSA-ATL remplacera Hycom2D-ATL en apportant une grille non-structurée (2,6 millions d'éléments) et des performances calcul améliorées (2 fois plus coûteux que Hycom mais avec une grille 4 fois plus raffinée). Façade Atlantique-Manche-Mer du Nord en 2024 (HOMONIM-3)

⇒ Maillage non-structuré à résolution variable (10 km → 100 m), bathymétrie Shom 100 m, marée FES 2014, friction de fond semi-quadratique, variable, obtenue par optimisation stochastique de la marée



Résultats

- Simulation de la **marée** : amélioration du déphasage et des indicateurs statistiques pour la majorité des stations ; erreur complexe divisée par 2,5 en moyenne
- Rejeu de 17 événements remarquables et de l'hiver 2013-2014 : réduction de 5 à 10 % des écarts type et EQM, correction partielle jusqu'à 25 % des biais transitoires pour certains événements du panel, via la prise en compte d'une Pmer de référence plus précise

Erreur complexe sur la marée

	HYCOM	TOLOSA
DUNKERQUE	0.35	0.09
CALAIS	0.39	0.11
BOULOGNE-SUR-MER	0.39	0.10
CHERBOURG	0.19	0.08
LE_HAVRE	0.28	0.08
ROSCOFF	0.25	0.07
SAINT-MALO	0.18	0.12
BREST	0.26	0.15
LE_CONQUET	0.38	0.08
CONCARNEAU	0.25	0.08
LE_CROUESTY	0.25	0.12
SAINT-NAZAIRE	0.28	0.19
LES_SABLES-D_OLONNE	0.28	0.13
LA_ROCHELLE-PALLICE	0.34	0.17
PORT-BLOC	0.24	0.12
ARCACHON_EYRAC	0.18	0.11
BOUCAU-BAYONNE	0.21	0.13
SOCOA	0.25	0.05
GLOBAL	N/A	0.14
MEAN_SELECTED	0.28	0.11

Scores des surcotes

Score des surcotes (cm)	Panel de 17 tempêtes		Hiver 2013-2014	
	Hycom-ATL	Tolosa-ATL	Hycom-ATL	Tolosa-ATL
Biais arithmétique (cm)	-4	-4	-4	-3
Biais en valeurs absolues (cm)	9	9	5	4
Ecart quadratique moyen (cm)	17	16	13	12
Ecart type moyen (cm)	12	11	12	11
Erreur absolue de l'écart aux pics de surcote (cm)	17	17	-	-
Erreur aux pics de surcote (cm)	-10	-11	-	-
Déphasage aux pics de surcotes (mn)	43	41	-	-

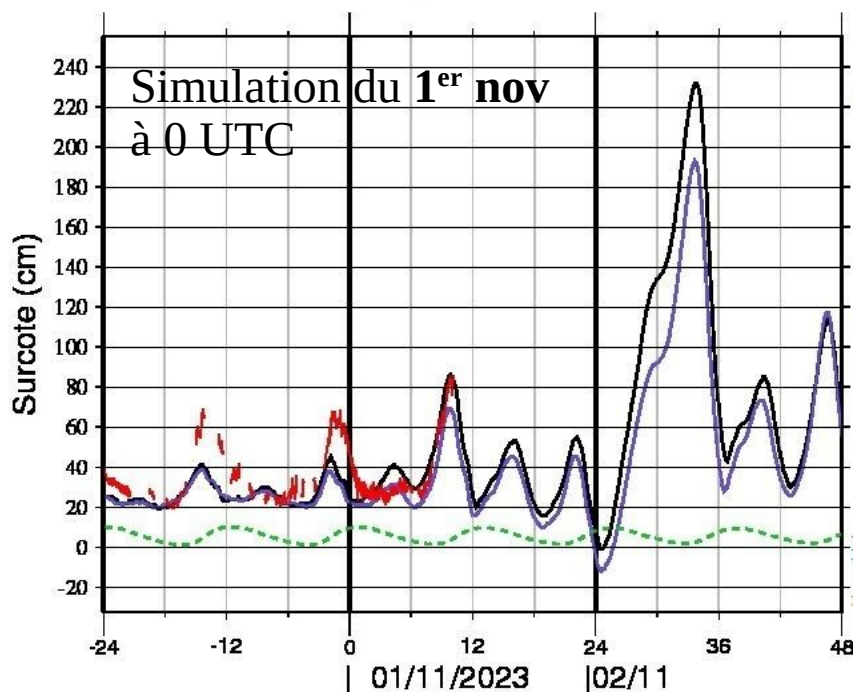
Résultats (suite et fin)

- Évaluation par des prévisionnistes de MF en charge de la VVS entre mars et avril 2023 : comportement de TOLOSA-ATL similaire à Hycom-ATL, avec quelques points positifs : correction de biais transitoires, amélioration de la gestion des bancs découvrants, sur-réactivité moindre

Exemple : tempête **Ciarán**, avec le forçage **Arpege**, à **Boulogne** ⇒ TOLOSA génère une surcote inférieure à celle de Hycom qui ressemble un peu plus aux observations

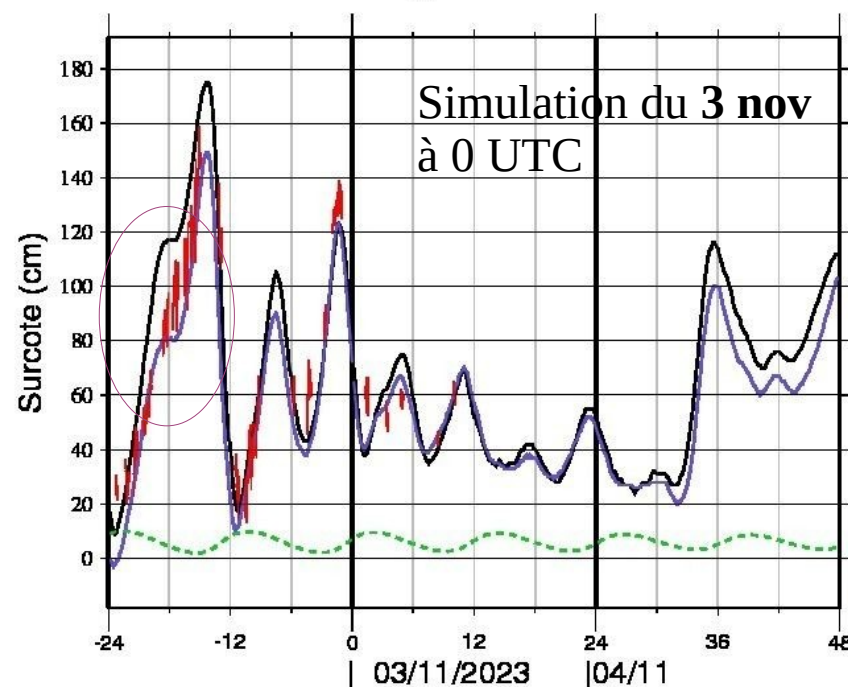
- Chaîne pré-opérationnelle aujourd'hui, passant normalement opérationnelle au printemps 2024

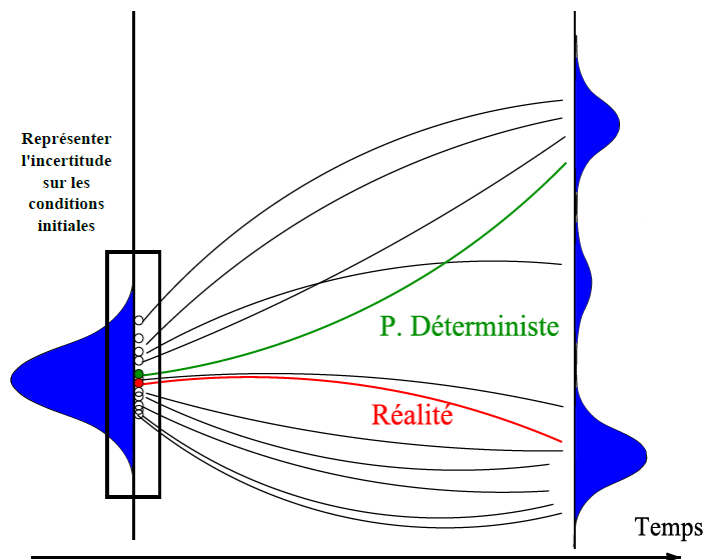
Boulogne-sur-mer



Hycom (noir)
TOLOSA (mauve)
Observation (rouge)
Marée réduite (vert)

Boulogne-sur-mer



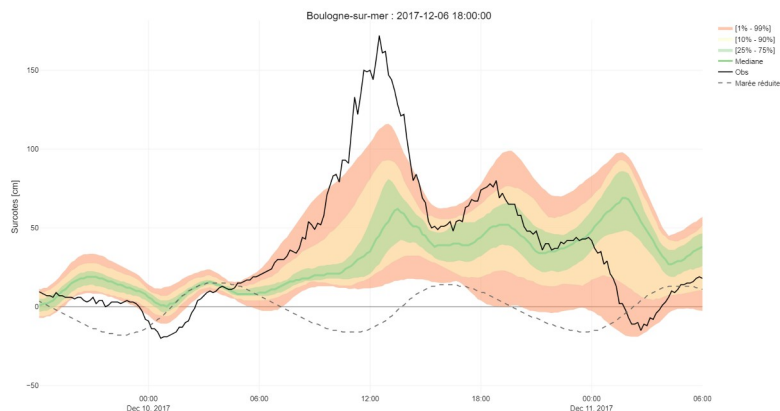


PE = Représenter l'**incertitude** de la prévision (état initial, modèle, forçage) par un ensemble de simulations équiprobables.

PE de surcotes : incertitude sur le forçage avec la PEARP (35 membres)

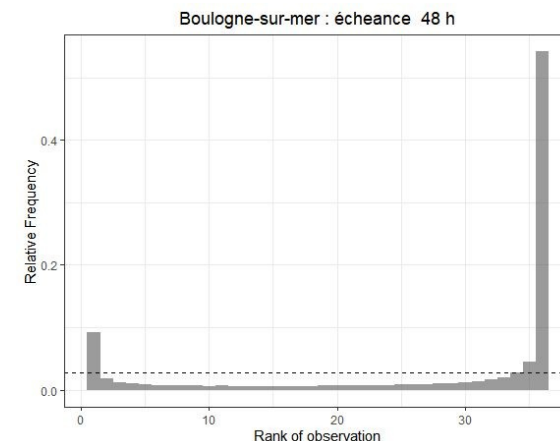
⇒ opérationnelle depuis juillet 2016 pour la métropole (ATL et MED)

Exemple de distribution des prévisions de surcotes pour Boulogne/mer : panache pour une prévision (06/12/2017), diagramme de rang construit à partir de 6,5 ans de prévisions



Sous-dispersion et biais négatif

⇒ Nécessité de recourir à une méthode qui corrige à la fois le biais et la dispersion = Calibration



Calibration de la PE de surcotes

Données :

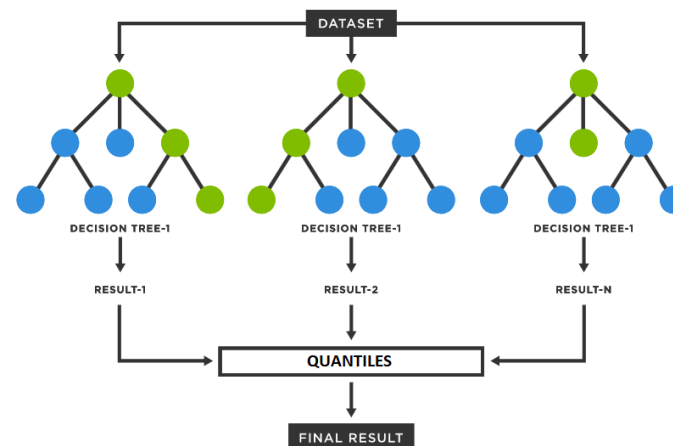
- Période de 6.5 ans : du 01/01/2016 au 30/06/2022
- Observations : hauteur d'eau provenant de 30 marégraphes du réseau Ronim (SHOM)
Surcote observée = Hauteur totale – Marée SHOM
- PE surcotes : 35 membres, réseau de 18h, échéance max de 108h
- Données de vent à 10 m et Pmer : analyses Arpège déterministes
- Données de vagues (hauteur significative et période moyenne) : analyses WW3/forçage Arpège

Choix des 21 prédicteurs :

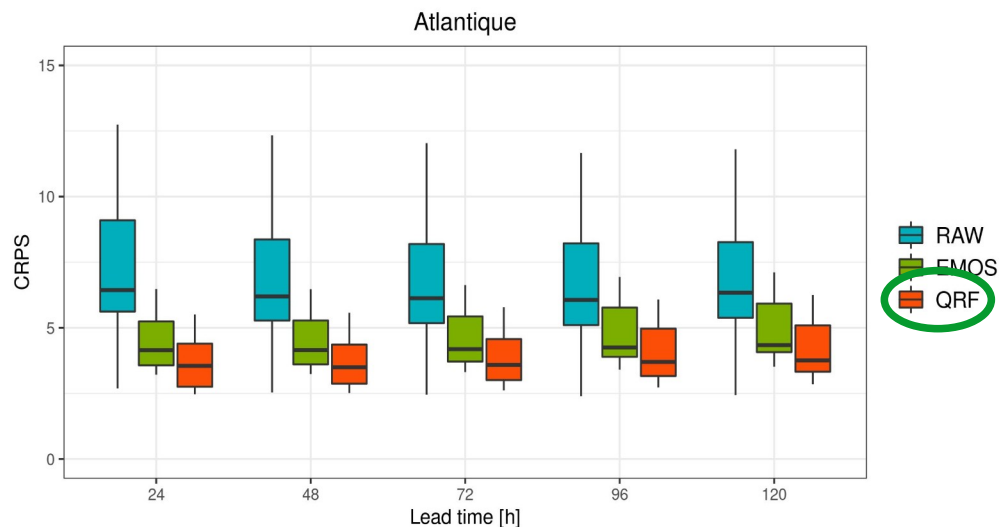
Nom	Description
M0	Membre de contrôle de l'ensemble brut
MEAN	Moyenne de l'ensemble brut
MED	Médiane de l'ensemble brut
Q10	Quantile 10 de l'ensemble brut
Q90	Quantile 90 de l'ensemble brut
PR0	Probabilité brute de surcotes > 0 cm
PR10	Probabilité brute de surcotes > 10 cm
PR20	Probabilité brute de surcotes > 20 cm
PR30	Probabilité brute de surcotes > 30 cm
PR50	Probabilité brute de surcotes > 50 cm
PR75	Probabilité brute de surcotes > 75 cm
PR100	Probabilité brute de surcotes > 100 cm
IQR	Interquantile de l'ensemble brut
SIGMA	Ecart type de l'ensemble brut
Ech	Echéance de prévision
Month	Mois de la prévision
Maree	Marée prédite (SHOM)
FF	Intensité du vent à 10 m
Pmer	Pression au niveau de la mer
Hs	Hauteur significative
T0m1	Période moyenne

Choix de la méthode : QRF, Quantile Random Forest (méthode non-paramétrique visant à déterminer un ensemble d'arbres décisionnels) comparée à EMOS (Ensemble Model Output Statistics)

QRF :

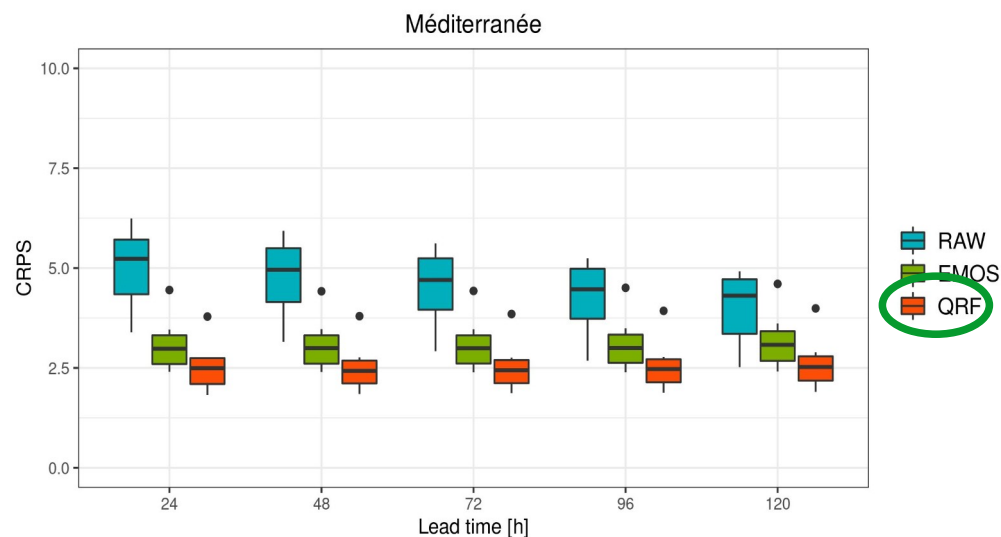


Calibration de la PE de surcotes : résultats



Comparaison entre le CRPS de l'ensemble brut, et ceux calculés après calibration par EMOS et par QRF, pour les domaines **Atlantique** et **Méditerranée**, selon l'échéance des prévisions (échantillon de 6.5 ans)

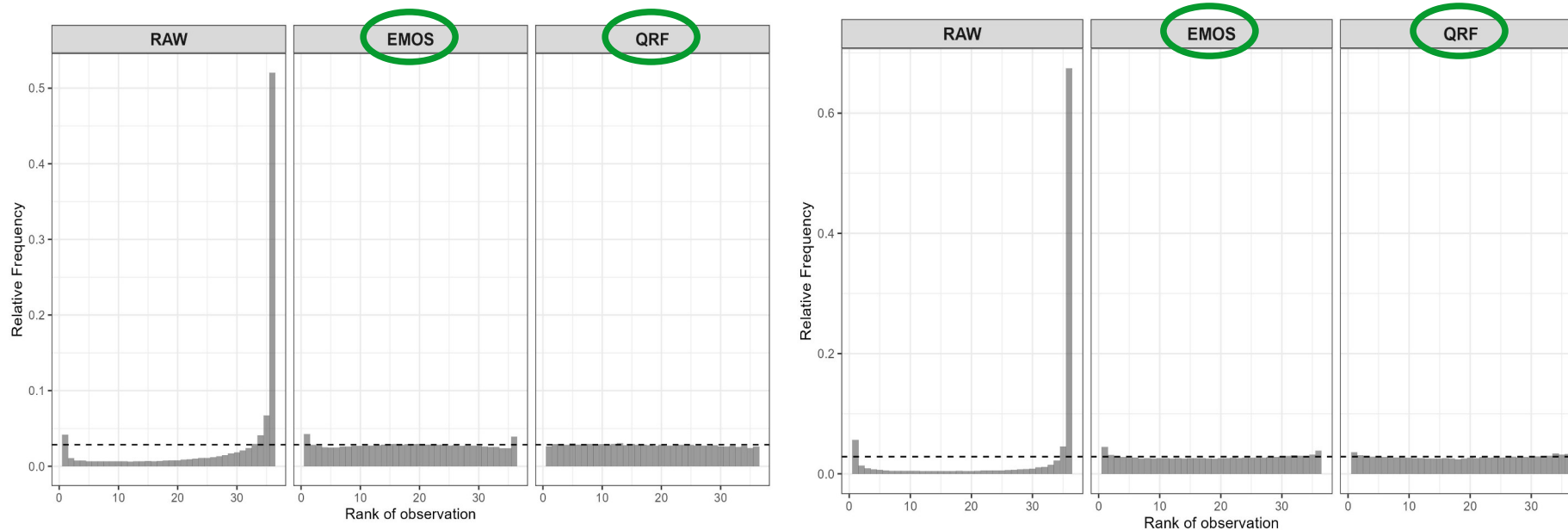
Comparaison des 2 méthodes : CRPS meilleurs avec QRF



Calibration de la PE de surcotes : résultats

Dunkerque – échéance 48 h

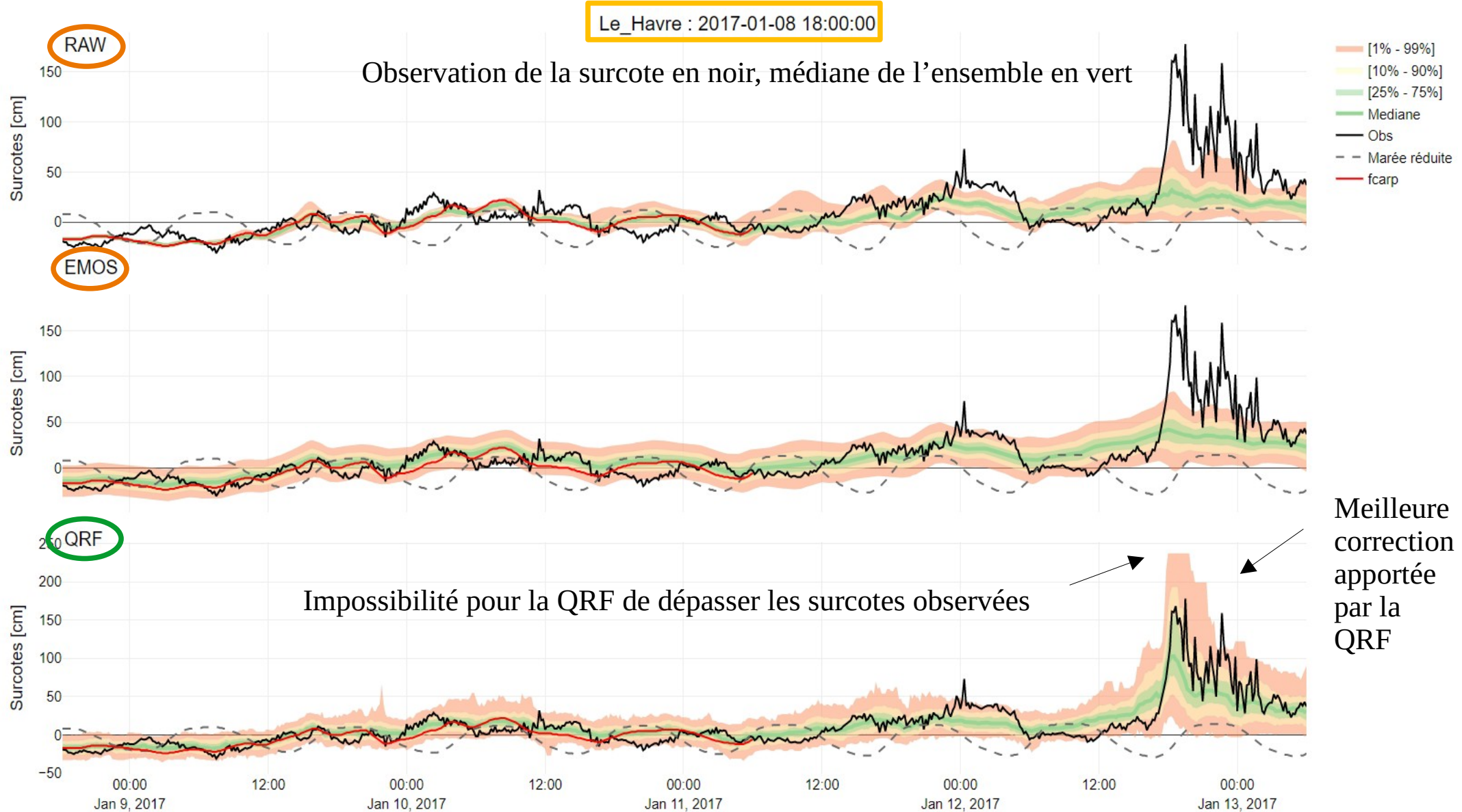
Sète – échéance 48 h



Comparaison des diagrammes de rang obtenus avec l'ensemble brut, calibré par EMOS et par QRF, pour Dunkerque et Sète, à l'échéance 48h (échantillon de 6.5 ans)

⇒ résultats proches entre QRF et EMOS

Calibration de la PE de surcotes : résultats

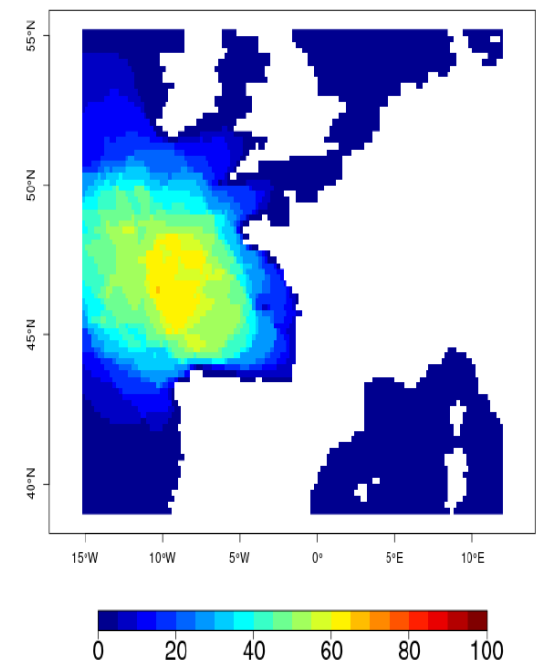


Calibration de la PE de surcotes : conclusion

- La méthode QRF est très satisfaisante quelque soit le score
- Limitation : ne peut pas prévoir une surcote supérieure au maximum issu de l'échantillon d'apprentissage
- Mise en place d'un post-traitement basé sur la QRF : pour MED avec HYCOM puis ATL avec TOLOSA
- Régionalisation : pour les autres sites sans marégraphes, test d'une interpolation des calibrations entre 2 sites avec marégraphes

Prévision d'Ensemble de vagues en côtier (WW3)

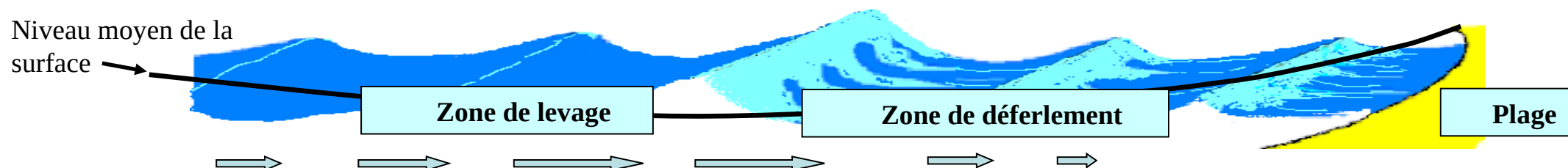
- A imbriquer dans une PE de vagues au large : MFWAM, grille globale à 20 km de résolution, forçage vent par la PEARP (35 membres), 2 physiques de vagues alternatives, opérationnelle depuis nov 2022
- PE de vagues en côtier en cours de développement :
 - grille unique couvrant le littoral métropolitain ATL+MED jusqu'à 200 m de résolution
 - forçage par les vents PEARP ou PEAROME : décision selon scores sur 2 ans de rejeux et selon coût (35 membres versus 17 membres)
 - forçage par courant et niveau marin pour la partie ATL (TOLOSA déterministe)
- Groupe de Travail (prévisionnistes et modélisateurs) qui contribue à la définition des PE Marine, leur post-traitement et leur concept d'emploi



*Probabilité de vagues > 10 m (%)
prévue à 102h par la PE MFWAM*

Motivation :

- Interactions vagues/océan renforcées près du littoral
- réfraction, déferlement, croissance pour les vagues
- wave setup (surélévation due au déferlement) pour le niveau marin



Travaux prévus : configuration couplée TOLOSA-ATL/WW3

- Grille couvrant le Nord Aquitaine (Arcachon → sud Vendée), avec une maille descendant à 20-30 m
- Évaluation de l'apport de la Très Haute Résolution sur la qualité des simulations
- Évaluation des performances calcul avec les nouvelles versions des modèles (TOLOSA, WW3 implicite, parallélisation...)
- Débouchés : alimentation d'applications d'aide à la décision et de prévision des inondations



Travaux de Homonin-3

- ⇒ nouvelles capacités de prévision du niveau marin : TOLOSA-ATL à HR
- ⇒ préparation de la prévision des submersions marines : run couplé TOLOSA-ATL/WW3 à THR, TOLOSA-LCT (vagues à vagues)
- ⇒ évaluation de l'incertitude des prévisions de surcotes et des vagues à la côte : PE WW3, calibration
- ⇒ simplifier et optimiser les chaînes de production opérationnelle de Météo France : maillage non-structuré et performance calcul de TOLOSA

Bénéficiaires

- ⇒ dispositif VVS : prévisions plus fines et plus précises (résolution, wave-setup)
- ⇒ services de l'État en charge de la gestion des crises de submersion marine (VigiCrues, RDI, CL) : conditions météo-océaniques à l'embouchure des fleuves et dans les estuaires (plus réalistes et avec une connaissance de l'incertitude)
- ⇒ applications aval d'aide à la décision pour les submersions marines : meilleur forçage météo-océanique, cohérence avec les modèles utilisés par les prévisionnistes en charge de la VVS



Merci de votre attention

