



Post-traitement statistique de la prévision d'ensemble de surcotes

Data science pour les risques côtiers

K.A. Kpogo-Nuwoklo, D. Paradis, P. Ohi, D. Ayache, *Météo-France/DirOP/MAR*
M. Zamo, *Météo-France/DirOP/COMPAS*

Roscoff, le 14 Novembre 2023



Cadre

- ▶ Mise au point dans le cadre du projet HOMONIM mené avec le Shom, cofinancé par la DGPR
 - répondre au Plan Submersions Rapides
 - mieux caractériser l'aléa submersion
- ▶ Avant 2016, modélisation déterministe des surcotes (configurations: Arpège, Arome, CEP)
- ▶ 2016, introduction de la prévision d'ensemble de surcotes



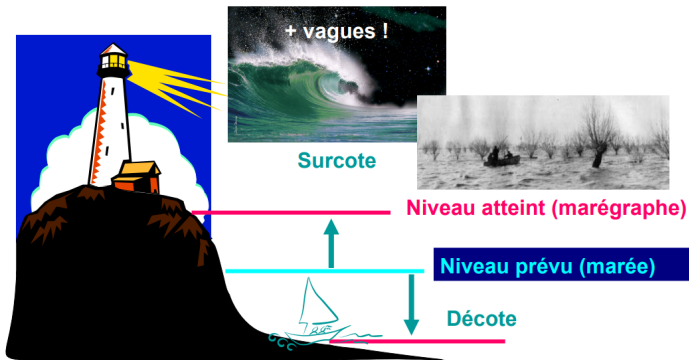
Cadre

- ▶ Mise au point dans le cadre du projet HOMONIM mené avec le Shom, cofinancé par la DGPR
 - répondre au Plan Submersions Rapides
 - mieux caractériser l'aléa submersion
- ▶ Avant 2016, modélisation déterministe des surcotes (configurations: Arpège, Arome, CEP)
- ▶ 2016, introduction de la prévision d'ensemble de surcotes

Intérêt

- ▶ Outil d'aide à la décision dans le cadre la Vigilance Vagues-Submersion
- ▶ Anticiper des extrêmes possibles
- ▶ Estimation de l'incertitude sur la prévision à certaines échéances (dispersion de l'ensemble)

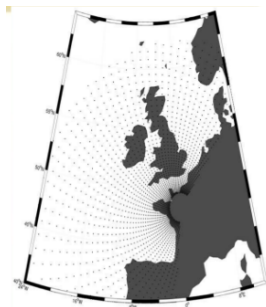
La surcote





Modèle Hycom 2D (version V3)

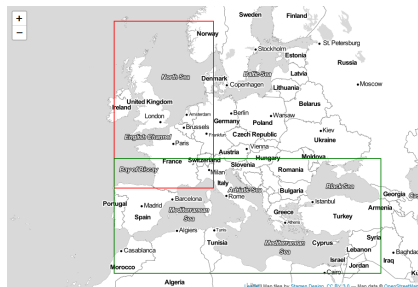
- ▶ Développé par le SHOM
- ▶ Équations de Saint-Venant (modèle 2D), avec courant intégré sur la verticale
- ▶ Modèle barotrope 2D, variables pronostiques SSH courant composante vectoriel (U, V)
- ▶ Grille curviligne: résolution à la côte 0,8 à 2km en Atlantique et 1 à 1,5 km à la côte pour la Méditerranée
- ▶ Forçages de marée 15 composantes de l'atlas de marée NEA 2011
- ▶ Forçages atmosphériques: vent à 10m et pression au niveau de la mer



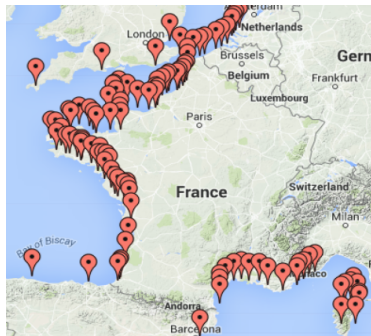


Prévision d'Ensemble de surcotes

- ▶ Opérationnel depuis juillet 2016
- ▶ Configurations Atlantique et Méditerranée
- ▶ Forçages atmosphériques: vents à 10 m et Pmer issus de la PEARP
- ▶ Initialisation avec analyse HYCOM (Arpège) déterministe (SSH + courant (U,V))
- ▶ 2 réseaux par jour 06h et 18h (PEARP), prévisions à 90 h et 102 h
- ▶ 35 membres dont un membre de contrôle



Résultats des simulations



- ▶ Prévisions disponibles sur 127 sites
- ▶ Surcote modélisée: pas de 10min
- ▶ Post-traitement Hauteur totale modélisée avec marée astronomique SHOM : pas 10 min

Exemple de simulation de la PE surcotes

- Exemple de prévision de surcotes à Fos-sur-Mer (réseau du 02/03/2017 à 18 h): PE (boîte à moustaches), déterministe Arpège (courbe bleue), observation (courbe rouge), marée réduite (courbe en pointillée, grise).

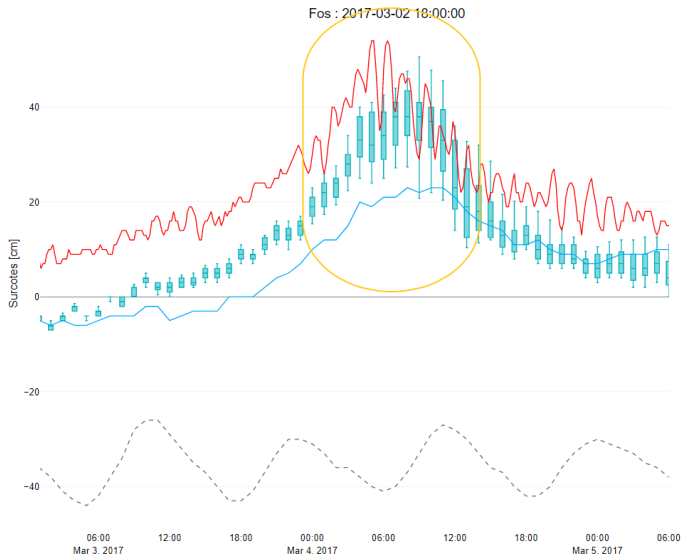
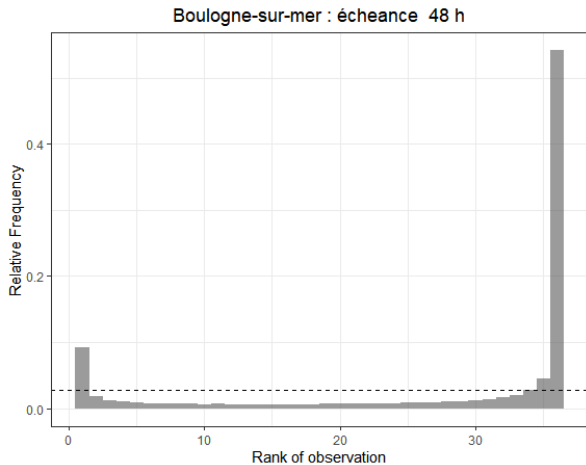




Diagramme de rang: Boulogne-sur-Mer (données: 2016-2022)



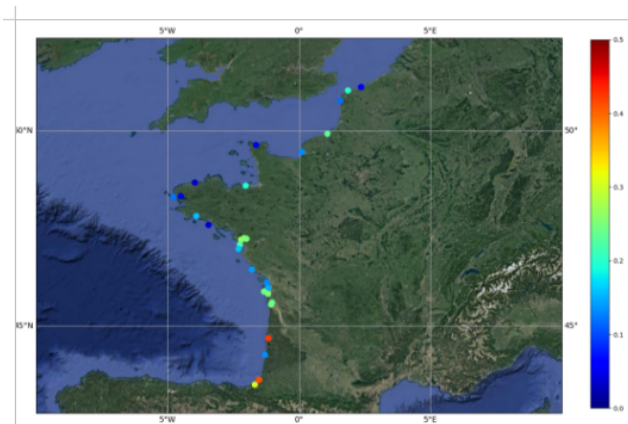
- ▶ Sous-dispersion
- ▶ Biais négatif



Principales causes du biais de surcotes

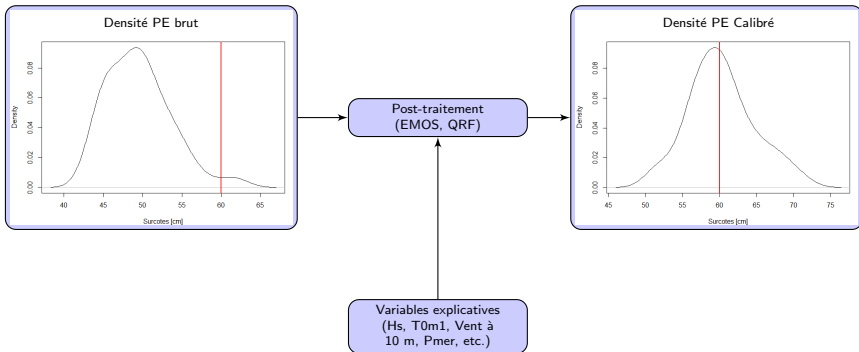
- ▶ Erreurs de prédiction de la marée
- ▶ Pression de référence supposée constante sur tout le domaine
- ▶ Limite des méthodes empiriques pour une meilleure calibration de la dissipation sur le fond
- ▶ Modèle barotrope, dynamique 3D manquante dans le modèle
- ▶ Non prise en compte de l'effet des vagues via wave setup
- ▶ Qualité des forçages atmosphériques (PEARP) et de marée
- ▶ etc.

Effet des vagues via le wave setup



Carte de maximum de wave setup simulé (en mètres) avec SCHISM-WWM sur l'ensemble des tempêtes (ayant servi à la validation de Tolosa-ATL) aux principaux marégraphes

Objectif: corriger simultanément le biais et la dispersion



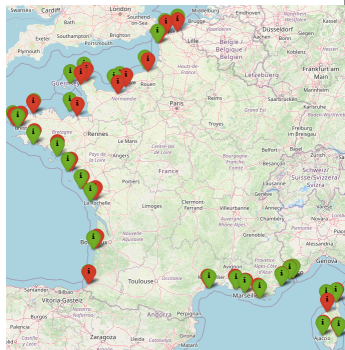
Techniques de post-traitement PE (Review: Gneiting, 2014)

- ▶ Ensemble Model Output Statistics (EMOS, (Gneiting et al., 2005))
- ▶ Quantile Regression Forests (QRF, (Meinshausen, 2006))



Données

- ▶ Période de 6.5 ans : du 01/01/2016 au 30/06/2022
- ▶ PE surcotes : 35 membres, réseau de 18h, échéance max de 108h, séries temporelles des prévisions en 30 sites
- ▶ Observations: hauteur d'eau provenant de 30 marégraphes du réseau Ronim (SHOM)
Surcote observée = Hauteur totale – Marée SHOM
- ▶ Données de vent à 10 m et Pmer : analyse Arpège déterministes
- ▶ Données de vagues (hauteur significative et période moyenne): analyses WW3/forçage Arpège
- ▶ Liste des 21 prédicteurs (statistiques de l'ensemble brute, mois, échéance de prévision, marée, vent, vagues)



Positions des marégraphes (en rouge) et des points WW3 associés (en vert) : points les plus proches dans la direction dominante des vagues (VVS) avec une profondeur minimale de 20 m.



Liste des prédicteurs

- Choix des prédicteurs inspiré des études passées: Taillardat et al.(2016), Scheuerer and Hamill (2018), Evin et al. (2021)

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 prédicte (SHOM)
FF	Intensité du vent à 10 m
Pmer	Pression au niveau de la mer
Hs	Hauteur significative
T0m1	Période moyenne



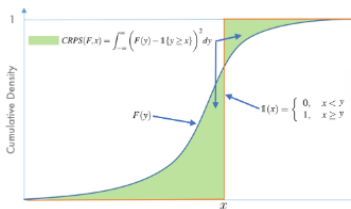
Ensemble Model Output Statistics (EMOS)

- Méthode paramétrique

$$f(y|X_1, \dots, X_N) = \mathcal{N} \left(\mu = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i, \sigma^2 = b + cs^2 \right) \quad (1)$$

avec y la variable réponse (ici surcote), X_1, \dots, X_N les membres de l'ensemble (ou ses statistiques) ou tout autre prédicteur, s^2 la variance de l'ensemble.

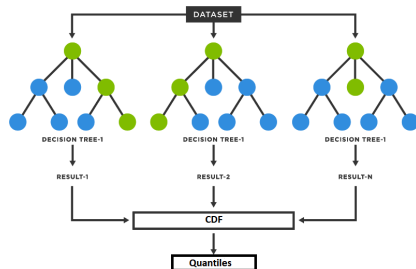
- Estimation des paramètres par minimisation du CRPS sur la période d'apprentissage



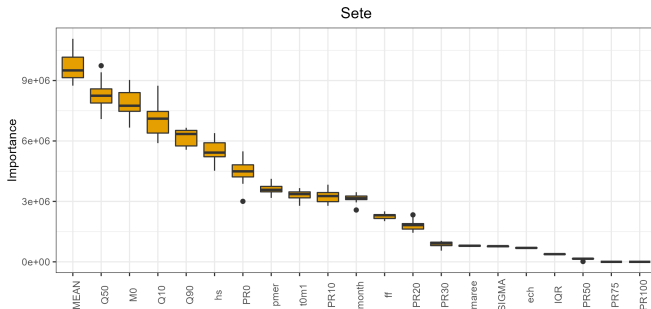
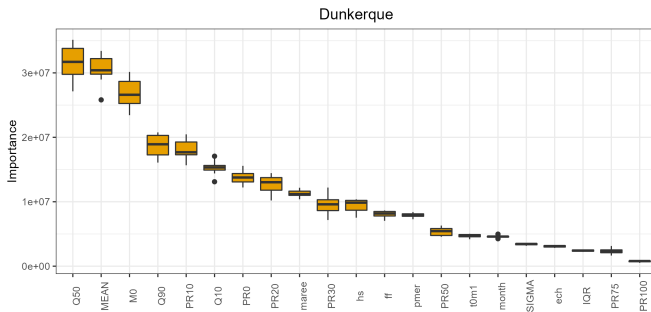


Quantile Regression Forests (QRF)

- ▶ Méthode non paramétrique
 - ▶ Information sur la distribution conditionnelle complète de la variable réponse
 - ▶ Déduction des quantiles
-
- ▶ Estimation du modèle par validation croisée K-Folds
 - ▶ Découpage en trimestre: période d'apprentissage = durée totale - trimestre de validation



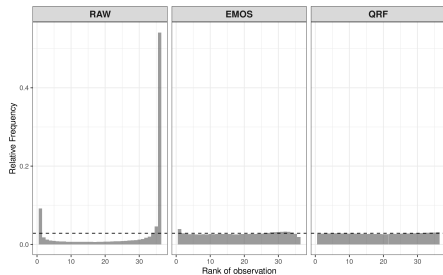
QRF: Importance des prédicteurs



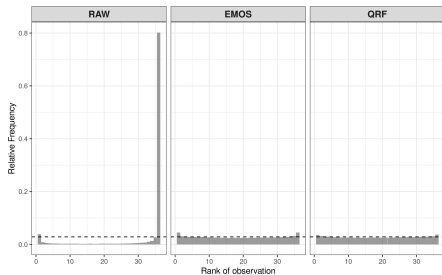


Diagrammes de rang

Boulogne-sur-Mer (échéeance 48 h)



Fos-sur-Mer (échéeance 48 h)



Comparaison des diagrammes de rang obtenus avec l'ensemble brut, calibré par EMOS et par QRF, pour Boulogne-sur-Mer et Fos-sur-Mer, à l'échéeance 48h

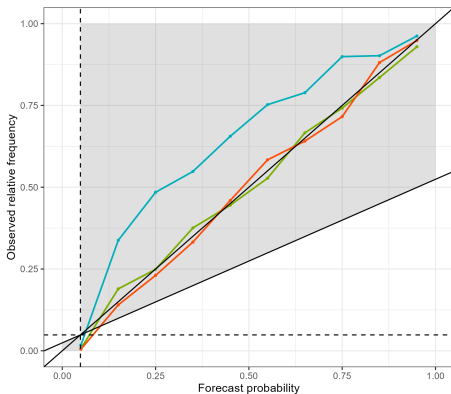
- Diagrammes de rang relativement uniformes après calibration



Diagrammes de fiabilité (échéance 48h)

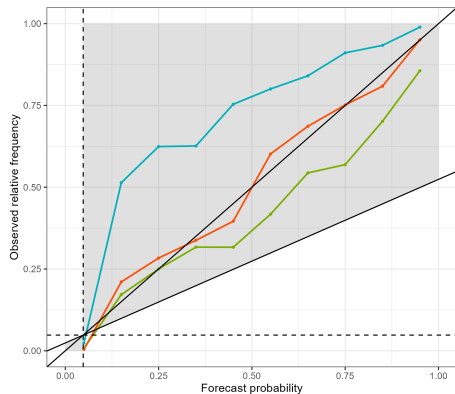
Dunkerque : Diagramme de fiabilité pour surcotes > 46 cm (Q95%)

— RAW — EMOS — QRF



Brest : Diagramme de fiabilité pour surcotes > 34 cm (Q95%)

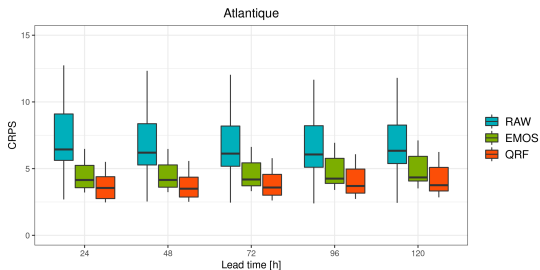
— RAW — EMOS — QRF



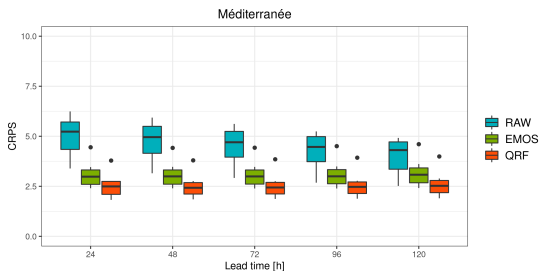
► Avantage QRF



Continuous Ranked Probability Score (CRPS)



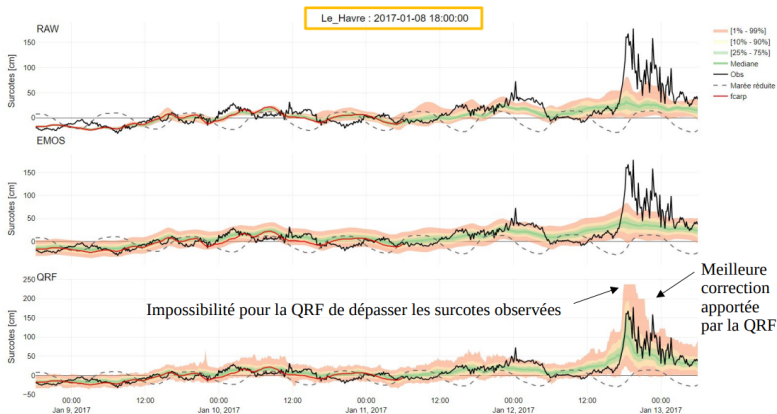
Comparaison entre le CRPS de l'ensemble brut, et ceux calculés après calibration par EMOS et par QRF, pour les domaines Atlantique et Méditerranée, selon l'échéance des prévisions.



► Avantage QRF

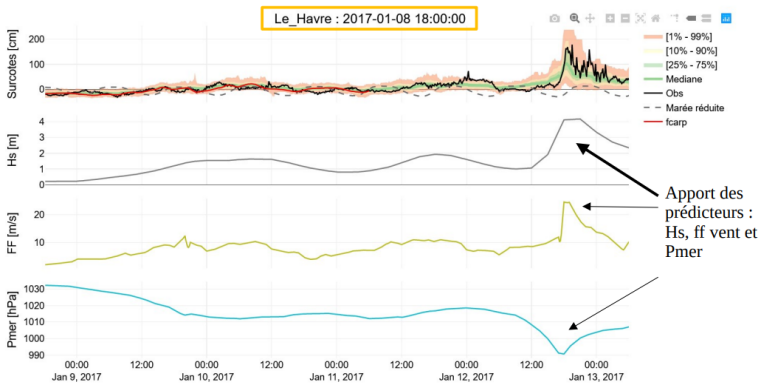


Le Havre: 08/01/2017





Le Havre: 08/01/2017 (prédicteurs)





Conclusion

- ▶ En général, une sous-estimation des prévisions brutes (observation se situe souvent autour du Q75).
- ▶ Amélioration de la distribution des prévisions après la calibration
- ▶ Meilleurs résultats avec la méthode de calibration QRF : CRPS, diagrammes de rang et de fiabilité, quelques situations de tempête
- ▶ Généralisation de la correction aux sites ne disposant pas de marégraphes