



GT Tempêtes et Submersions Historiques

4^e Réunion plénière - 11 & 12 mars 2025



Estimation des valeurs extrêmes de niveaux d'eau à la côte

Gaël ANDRE (Shom)
Xavier KERGADALLAN (Cerema)





CONTEXTE ET OBJECTIFS

Mise à jour des documents de référence :

- Shom-Cetmef (2012), Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique), édition Shom
- Cetmef (2013), Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines, édition Cetmef
- Cerema (2018), Les niveaux marins extrêmes – Ports de métropole, édition Cerema

Révision de la méthodologie de l'étude Shom-Cetmef de 2012 :

- Plus de données et extension à la Méditerranée
- Révision la méthode d'interpolation
- Estimations jusqu'à la période de retour 1000 ans avec le calcul des intervalles de confiance

Ministère de l'écologie : besoin de niveaux de référence (T10ans, T100ans et T1000ans)

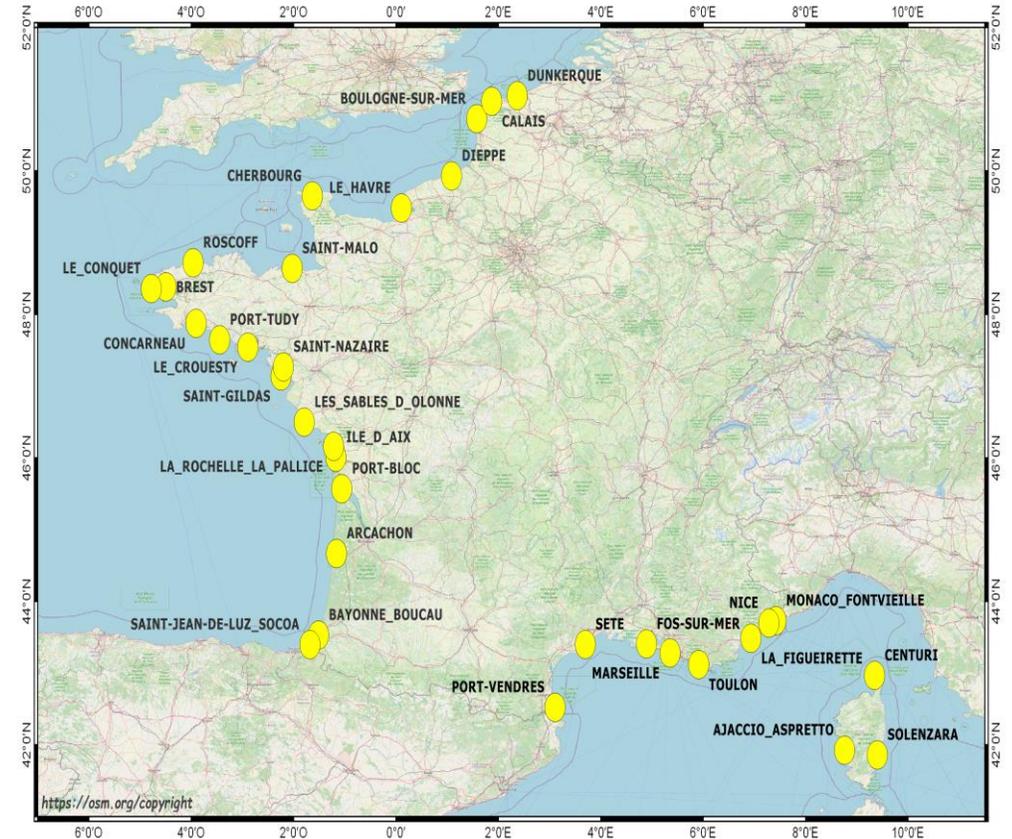
Partenariats : Shom / Cerema

GT TSH / Statistiques des Extrêmes (IRSN, EDF, Shom, BRGM, Artelia, INRS, Cerema): Rédaction d'une annexe : « Apport des données historiques et régionales pour diminuer les intervalles de confiance des niveaux d'eau de grandes périodes de retour »

METHODOLOGIE D'ANALYSE

Données utilisées :

- Observations marégraphiques
 - 33 ports de référence
 - Données horaires validées (data.shom.fr)
- Prédiction de marée (logiciel MAS du Shom)
- Références ZH/IGN69 :
 - RAM 2020 (Shom)
 - BathyElli V2.0 (Shom)
- Simulation de surcote HOMINIM (Shom et Météo-France)

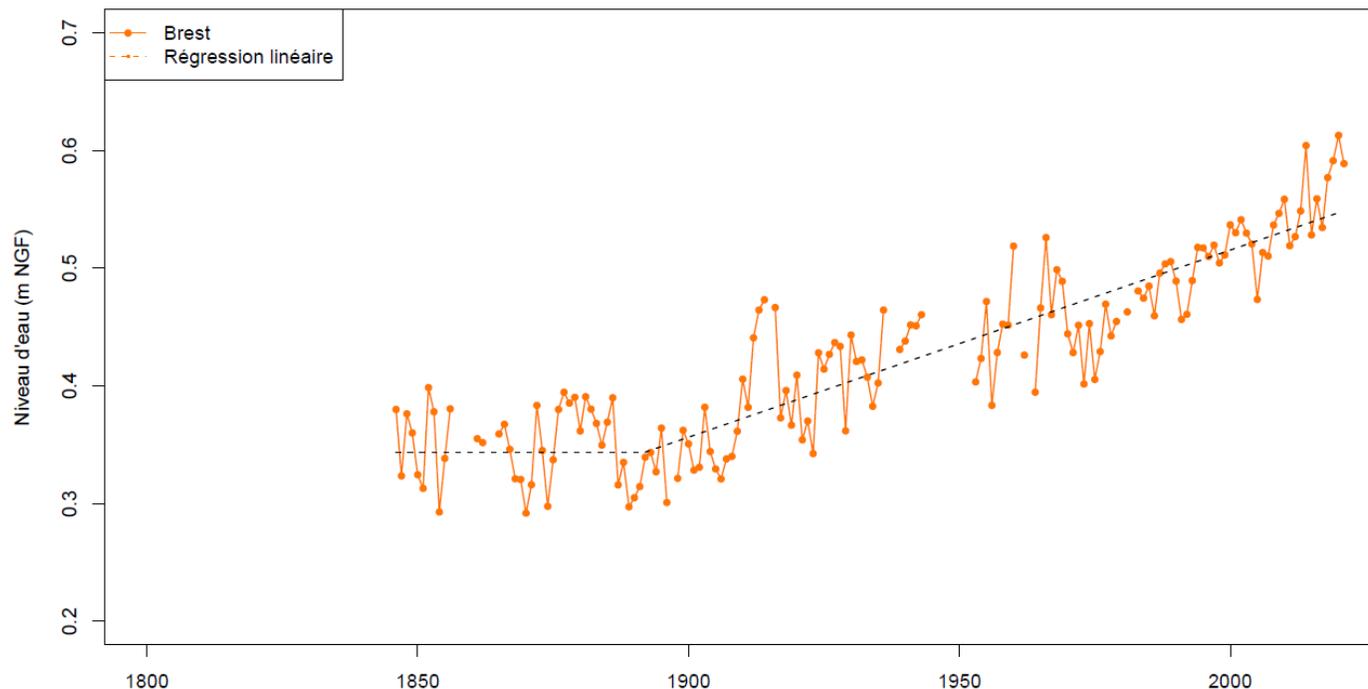




METHODOLOGIE D'ANALYSE

Niveau moyen :

- Aux ports de référence, estimation 2022 par régression linéaire sur les moyennes annuelles

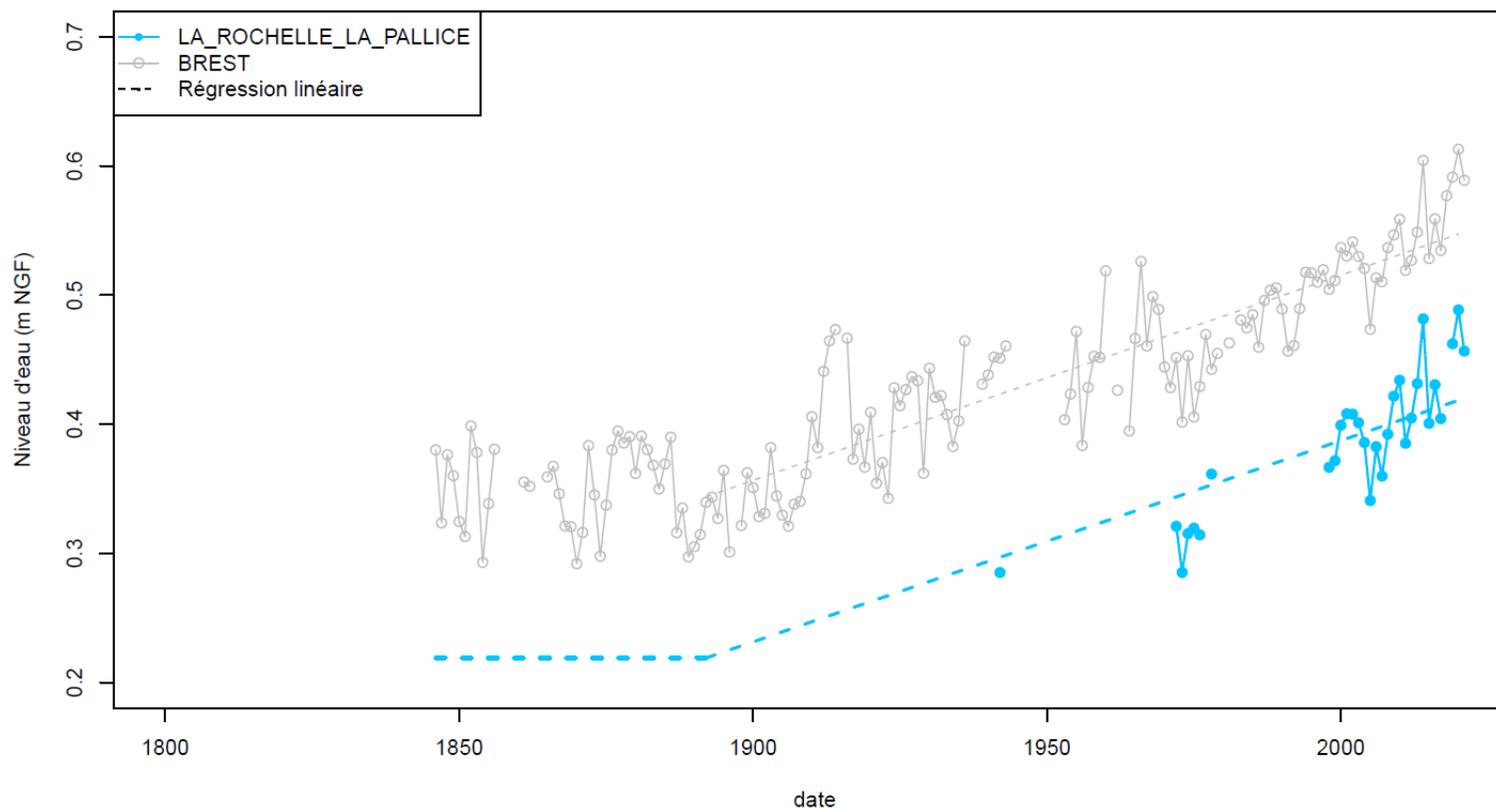




METHODOLOGIE D'ANALYSE

Niveau moyen :

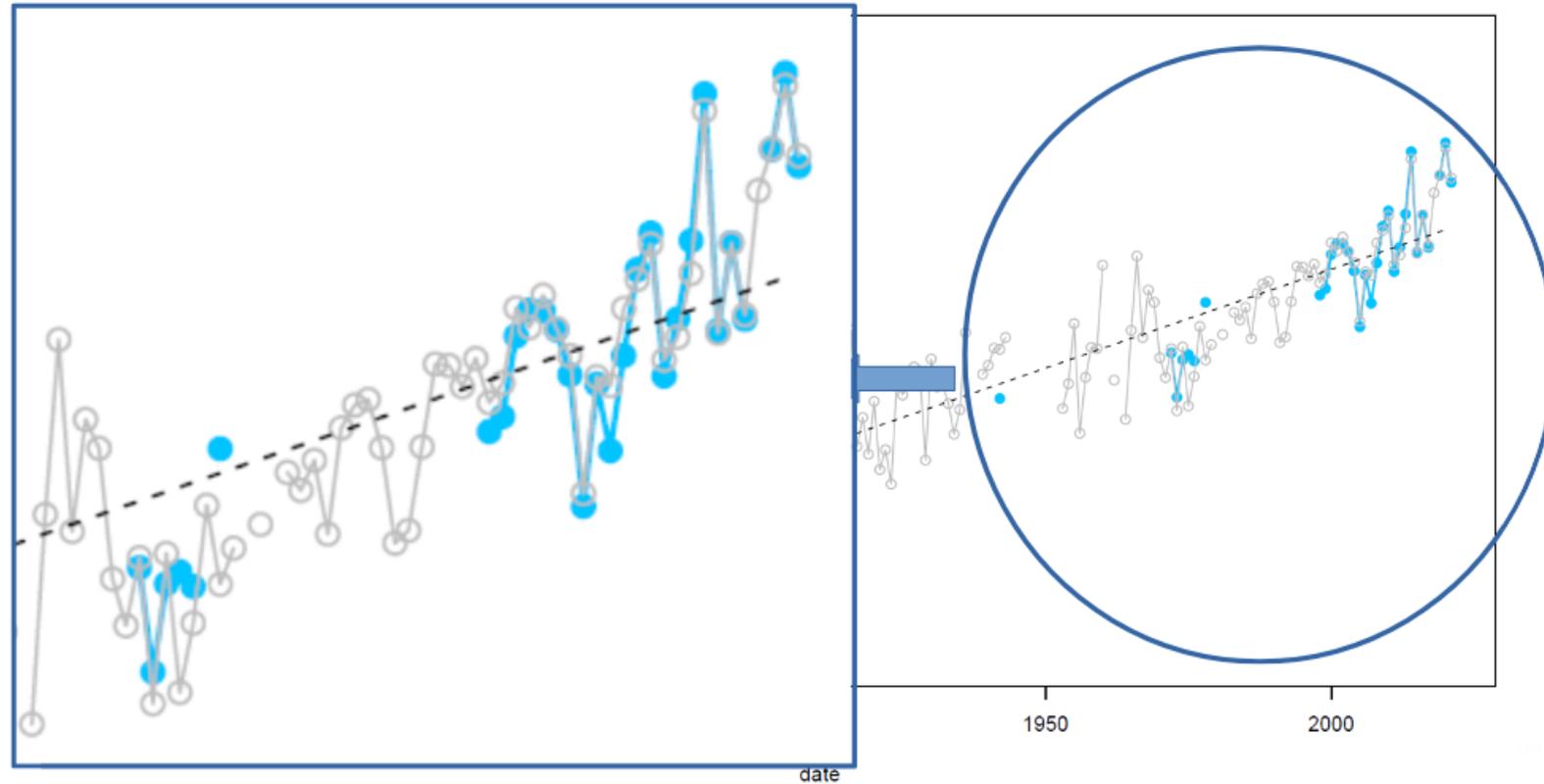
- Aux ports de référence, estimation 2022 par régression linéaire sur les moyennes annuelles



METHODOLOGIE D'ANALYSE

Niveau moyen :

- Aux ports de référence, estimation 2022 par régression linéaire sur les moyennes annuelles





METHODOLOGIE D'ANALYSE

Niveau moyen :

- Aux ports de référence, estimation 2022 par régression linéaire sur les moyennes annuelles

Marégraphes	Variations pluri-annuelles
ARCACHON	1.59 mm/an
BOULOGNE-SUR-MER	1.34 mm/an
BREST	1.58 mm/an
BAYONNE BOUCAU	0.64 mm/an
CALAIS	0.14 mm/an
CHERBOURG	0.44 mm/an
CONCARNEAU	0.64 mm/an
LE CONQUET	1.63 mm/an
DIEPPE	3.85 mm/an
DUNKERQUE	1.09 mm/an
ILE D'AIX	2.85 mm/an
LE CROUESTY	2.21 mm/an
LE HAVRE	0.89 mm/an
LA ROCHELLE LA PALLICE	1.55 mm/an
PORT-BLOC	1.61 mm/an
PORT-TUDY	0.81 mm/an
ROSCOFF	0.75 mm/an
SAINT-GILDAS	0.69 mm/an
SAINT-JEAN-DE-LUZ SOCOA	0.95 mm/an
SAINT-MALO	1.42 mm/an
SAINT-NAZAIRE	1.24 mm/an
LES SABLES D'OLONNE	2.06 mm/an

Vitesses de variation pluriannuelle du niveau d'eau moyen aux ports de référence en Manche-Atlantique

En Méditerranée tendance calculée sur le port de Marseille (plus longue série avec une vitesse de variation annuelle estimée a 1,43 mm/an)

- Entre les ports, niveau moyen au 01/01/2000 (modèle Shom cstFRANCE et référencement à l'IGN69 via BathyElli v2.0)



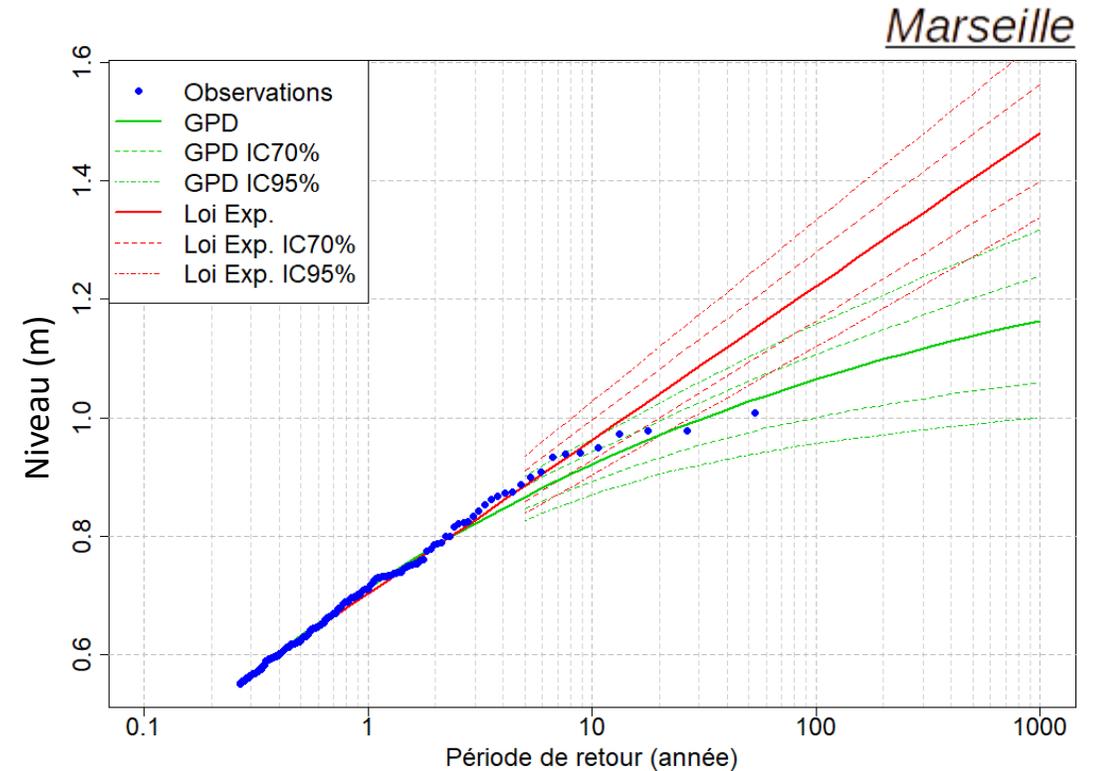
METHODOLOGIE D'ANALYSE

Méditerranée

- Aux ports de référence :
 - faible marnage => approche directe
 - Distribution des niveaux d'eau
- Ajustement statistique des valeurs extrêmes
 - Sélection des pics de tempête (POT avec critère de séparation $\pm 24h$)
 - 2 lois d'ajustement :

- GP $Pr\{Z > z | z > s_0\} = \left(1 + \xi \frac{z - s_0}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$

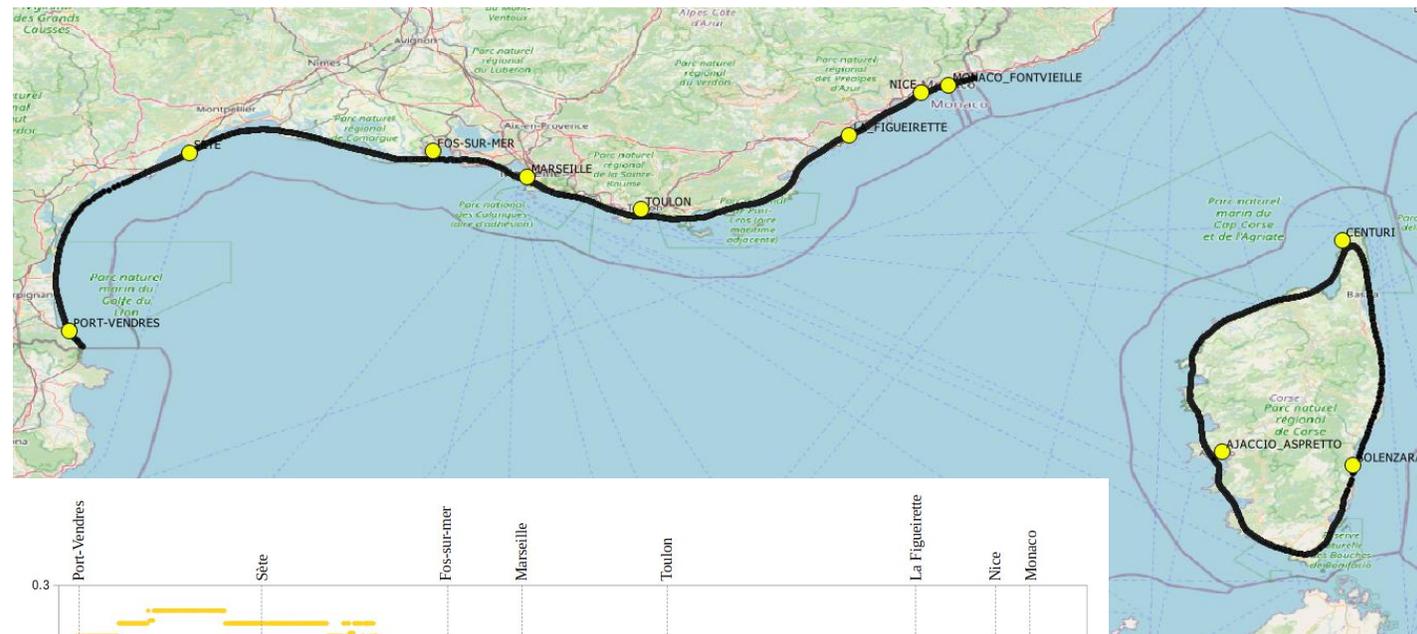
- Exponentielle $Pr\{Z > z | z > s_0\} = \exp[-\rho(z - z_0)]$



METHODOLOGIE D'ANALYSE

Méditerranée

- Entre les ports de référence :
 - Interpolation linéaire des niveaux d'eau estimés le long du trait de côte lissé

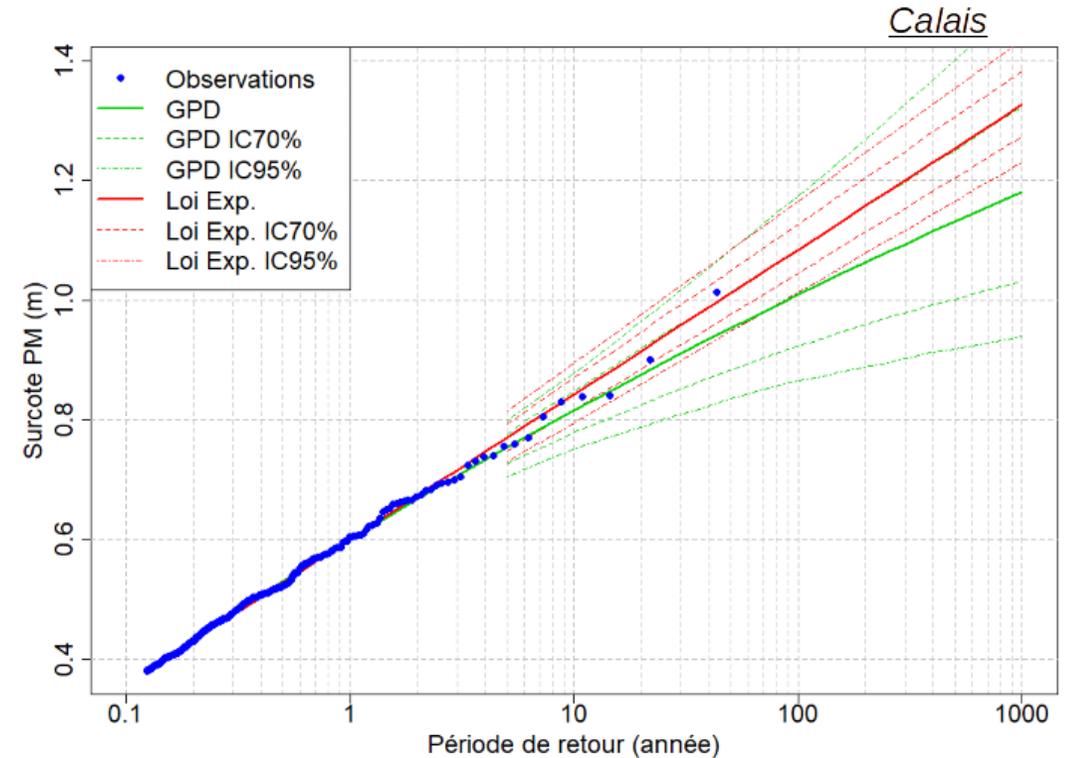


Variation des surcotes entre les ports (Centile99 % HOMONIM Shom Météo-France)

METHODOLOGIE D'ANALYSE

Manche et Atlantique

- Aux ports de référence :
 - fort marnage => approche indirecte
 - convolution marée surcote PM
- Distribution des surcotes PM :
 - Distribution paramétrique au-dessus du seuil de tempête : Sélection par POT et ajustement par GPD ou Exponentielle
 - Distribution empirique sous le seuil de tempête





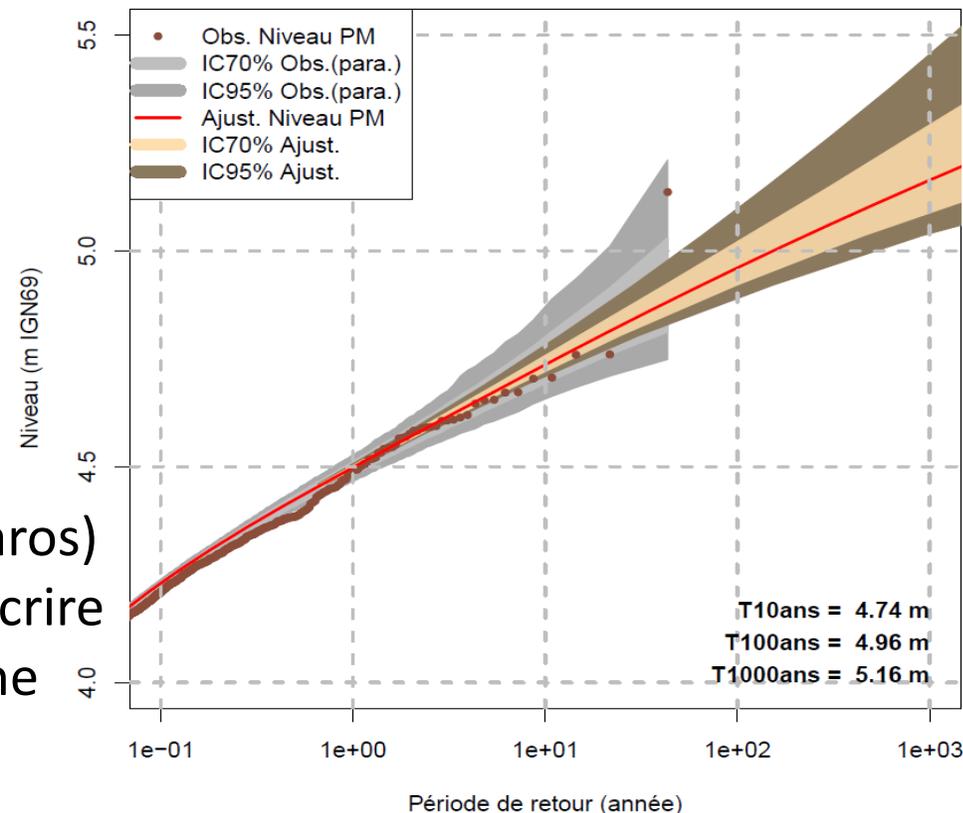
METHODOLOGIE D'ANALYSE

Manche et Atlantique

- Aux ports de référence :
 - fort marnage => convolution marée surcote PM
- Distribution des hauteurs de marée à PM prédites:
 - Conditions de marée identiques tous les 18 ans (Saros)
 - Analyse empirique sur cette période permet de décrire entièrement le phénomène sans avoir recours à une méthode d'extrapolation
- Convolution marée surcote PM :

$$Pr \{Z_{PM} > z\} = \int_{PBMA}^{PHMA} p(m) \cdot (1 - F_s(z - m)) \cdot dm$$

- « $p(m)$ » la densité de probabilité d'avoir une marée PM égale à « m »
- « $F_s(s)$ » la fonction de répartition des surcotes PM



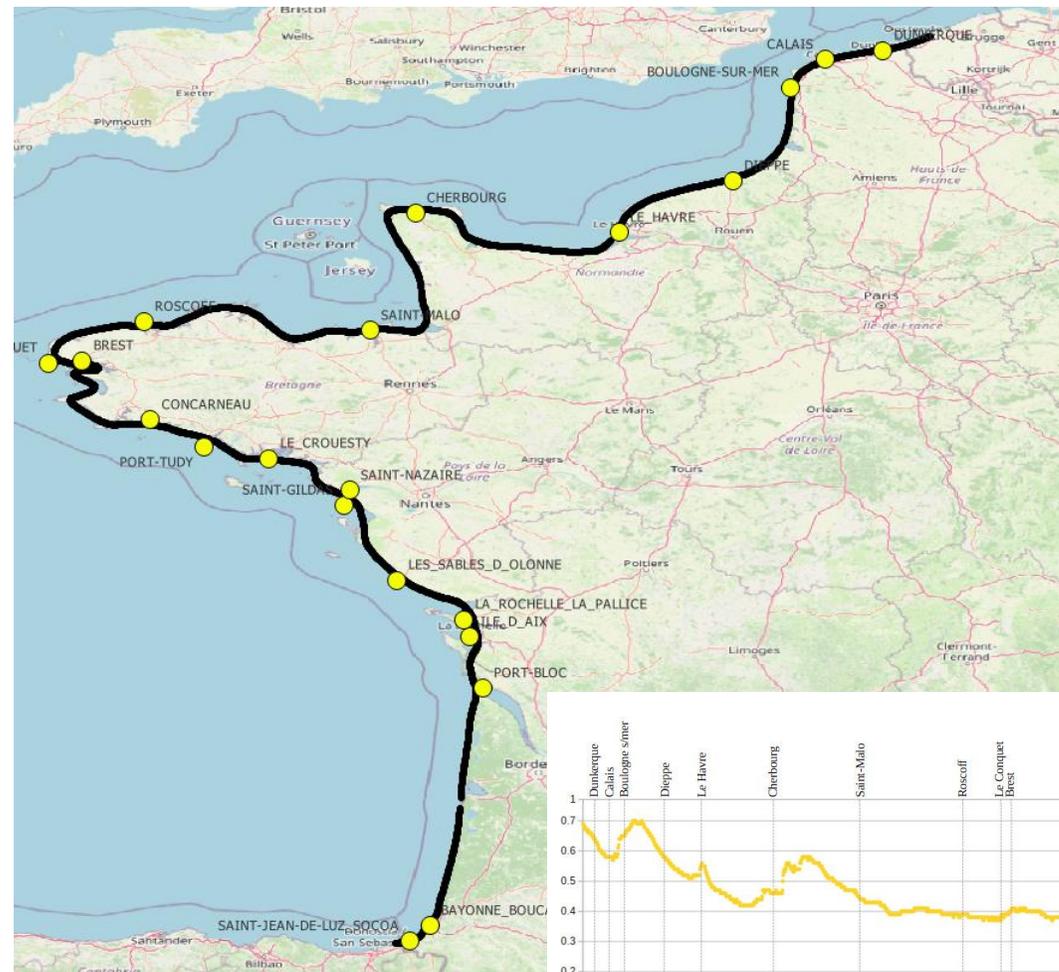
Période de retour	Niveau PM		
	(IGN69)	Int. Conf. 70 %	Int. Conf. 95 %
5 ans	4.66 m	4.65 m à 4.68 m	4.65 m à 4.69 m
10 ans	4.74 m	4.72 m à 4.76 m	4.71 m à 4.78 m
20 ans	4.81 m	4.78 m à 4.84 m	4.77 m à 4.87 m
50 ans	4.90 m	4.86 m à 4.94 m	4.84 m à 5.00 m
100 ans	4.96 m	4.92 m à 5.02 m	4.89 m à 5.10 m
200 ans	5.02 m	4.97 m à 5.10 m	4.94 m à 5.20 m
500 ans	5.10 m	5.04 m à 5.21 m	5.00 m à 5.34 m
1 000 ans	5.16 m	5.09 m à 5.29 m	5.04 m à 5.46 m

Tableau 7 : Calais – Périodes de retour des valeurs extrêmes de niveaux PM

METHODOLOGIE D'ANALYSE

Manche et Atlantique

- Entre les ports de référence :
 - Distribution de marée calculée en chaque point du linéaire côtier
 - Interpolation linéaire des distribution de surcotes estimés le long du trait de côte
 - Correction des effets locaux
⇒ calcul d'un facteur de pondération à partir des simulations de surcote HOMINIM



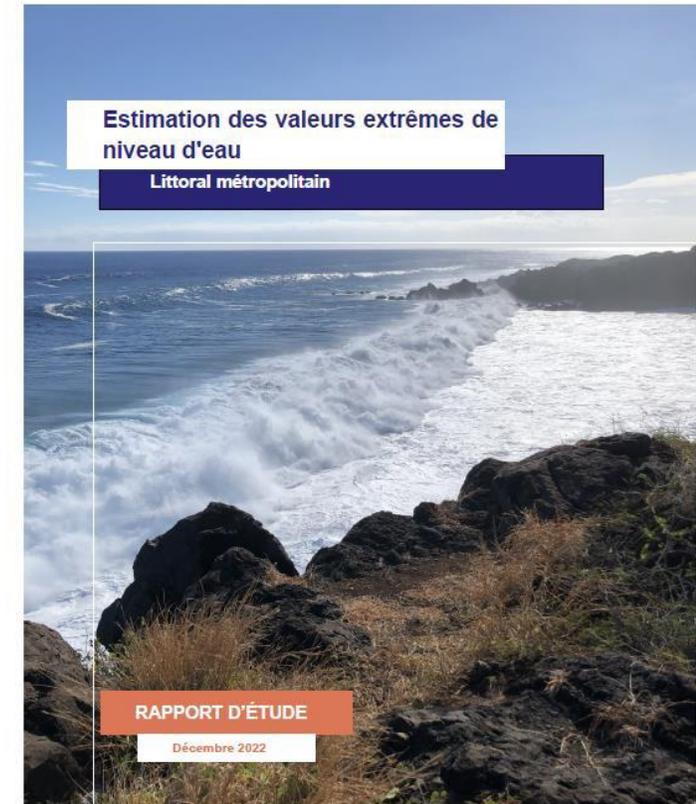
Variation des surcotes entre les ports
(Centile99 % HOMONIM Shom Météo-France)



Produit «Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau Littoral métropolitain » Ed. 2022

<https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extrêmes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain?lg=fr-FR>
<https://diffusion.shom.fr/donnees/references-verticales/niveaux-extrêmes-edition-2022.html>

- Ce produit contient :
 - Rapport au format pdf
 - Données au format numérique : format texte ou Shapefile
- Aux ports de référence, estimations statistiques :
 - des valeurs extrêmes de surcote de pleine mer en Manche et Atlantique,
 - des valeurs extrêmes de niveau d'eau pour l'ensemble de la métropole ;
- Cartes d'estimation statistique des valeurs extrêmes de niveau d'eau le long du littoral.
- Les estimations fournies vont jusqu'à la période de retour 1 000 ans.



N° NOVA : 22-RE-0188

Produit conçu avec le système de management de la qualité certifié AFAQ ISO 9001



Produit «Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau Littoral métropolitain » Ed. 2022

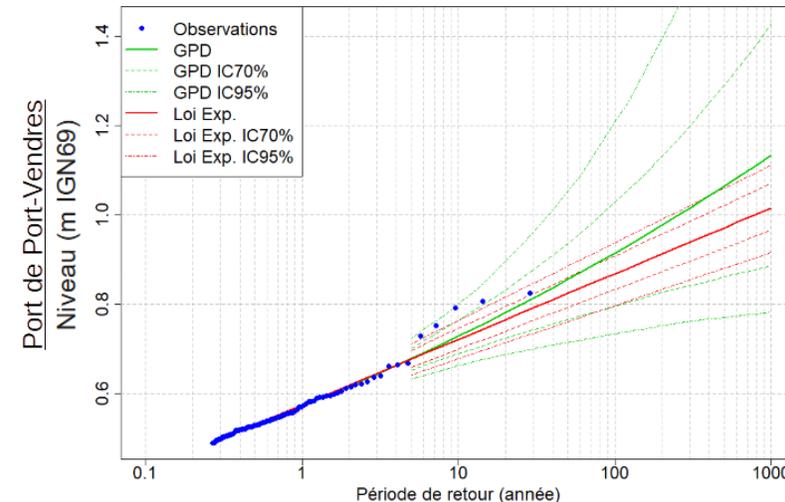
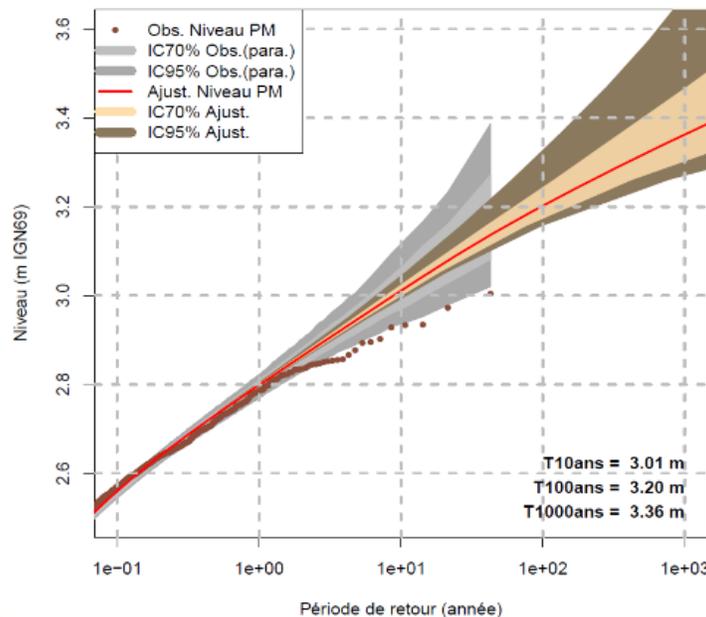
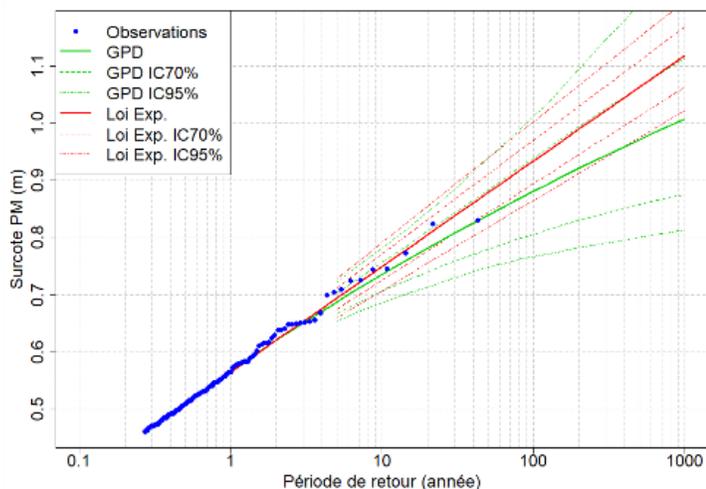
<https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extremes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain?lg=fr-FR>

<https://diffusion.shom.fr/donnees/references-verticales/niveaux-extremes-edition-2022.html>

Aux ports de reference :

- Méditerranée : ajustement des niveaux d'eau
- Manche et atlantique : ajustement des surcotes et calcul des niveaux par convolution

Port de Bayonne



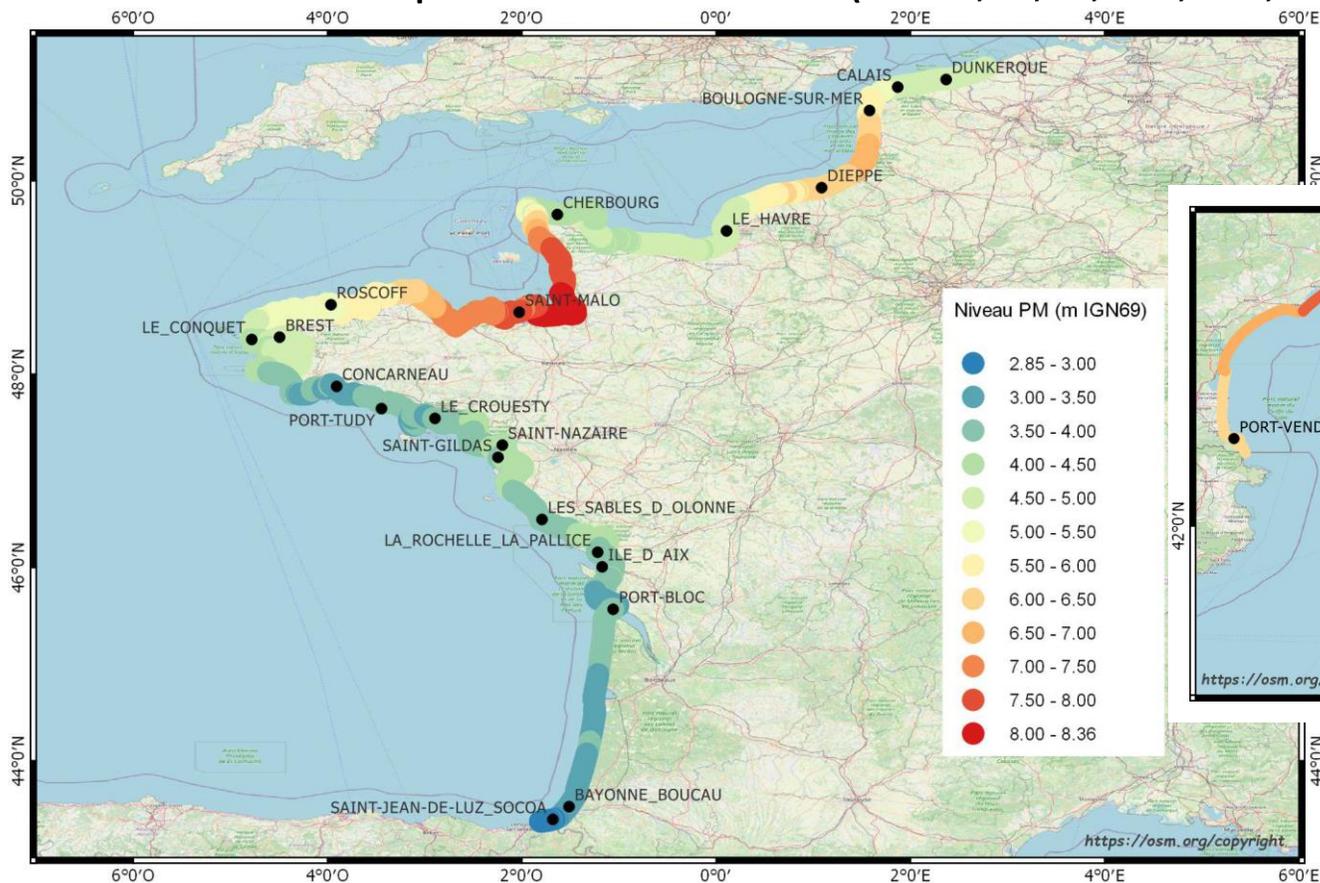
Produit « Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau Littoral métropolitain » Ed. 2022

<https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extremes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain?lg=fr-FR>

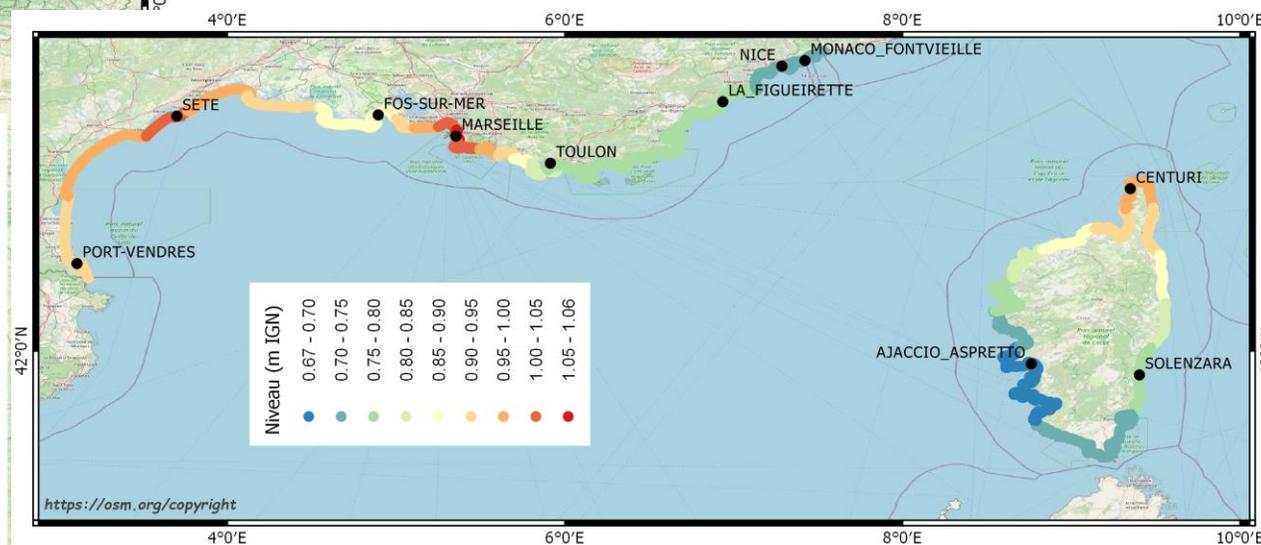
<https://diffusion.shom.fr/donnees/references-verticales/niveaux-extremes-edition-2022.html>

Le long du trait de côte :

- Niveaux de période de retour (T = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 ans)



Niveaux de période de retour 100 ans



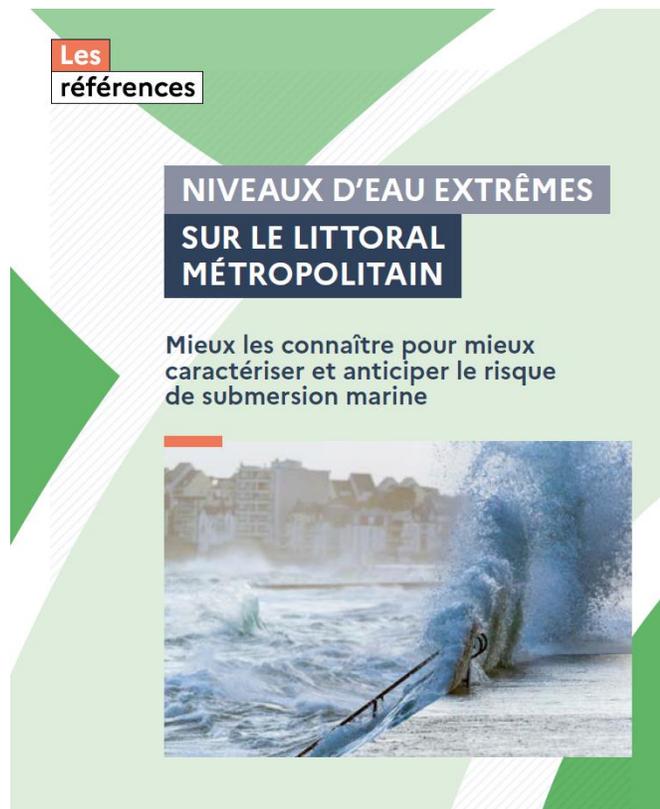


Ouvrage « Niveaux d'eau Extrêmes sur le littoral métropolitain » - Ed. Cerema 2024

Mieux les connaître pour mieux caractériser et anticiper le risque de submersion marine

<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/niveaux-eau-extrêmes-littoral-metropolitain>

Publication grand public : collection « Les références » du Cerema s'appuyant sur le rapport initial



N° NOVA : 22-RE-0188

Produit conçu avec le système de management de la qualité certifié AFAQ ISO 9001





GT Tempêtes et Submersions Historiques

4^e Réunion plénière - 11 & 12 mars 2025



Merci pour votre attention





Comparaison extrêmes de niveau d'eau Ed. 2012 / 2022

Port de référence	Différences				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Arcachon	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04
Boucau-Bayonne	0.04	3.01	0.04	0.05	0.04
Boulogne-sur-mer	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
Brest	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Calais	-0.03	-0.03	-0.04	-0.06	-0.08
Cherbourg	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.01
Concarneau	0.03	0.02	0.00	-0.01	-0.02
Dieppe	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	0.03
Dunkerque	0.02	0.02	0.02	0.00	-0.01
La Rochelle	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07
Le Conquet	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
Le Havre	0.03	0.05	0.08	0.12	0.15
Les Sables d'Olonne	0.03	0.03	0.02	0.00	-0.02
Pointe de Saint-Gildas	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05
Port-Bloc	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
Port-Tudy	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.03
Roscoff	0.02	0.02	0.01	0.00	-0.01
Saint-Malo	0.04	0.02	0.01	-0.01	0.00
Saint-Nazaire	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
Socoa St-Jean-de-Luz	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01

Valeur absolue	< 5cm	< 10 cm	< 15 cm
----------------	-------	---------	---------

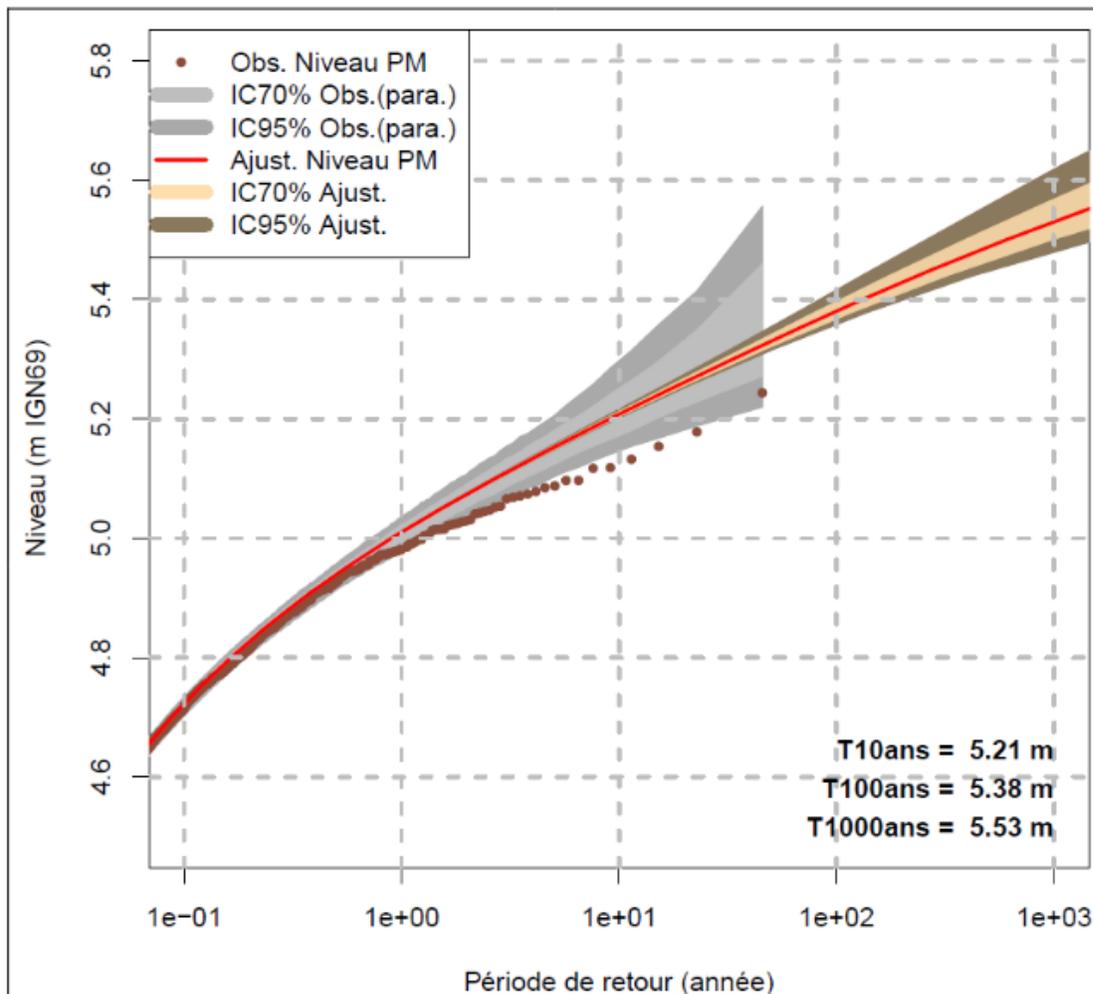




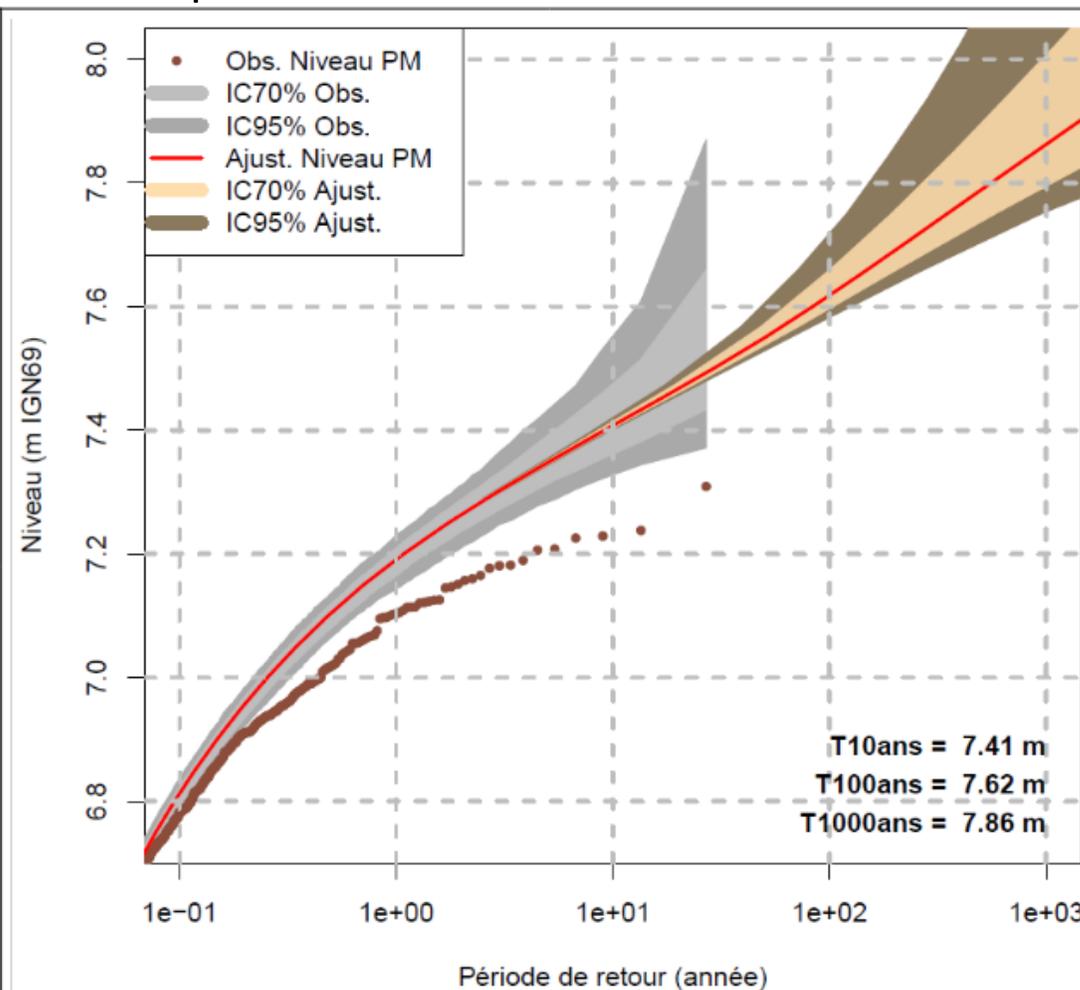
Dépendance marée / surcote

Indépendance

Exemple de Roscoff et Saint-Malo



a) Roscoff



b) Saint-Malo



Dépendance marée / surcote

Distribution de marée par bandes de surcotes

- Sélection de bandes équiprobables de surcote
- Calcul de la distribution empirique de marée par bandes de surcotes

Calcul des périodes de retour de niveaux d'eau

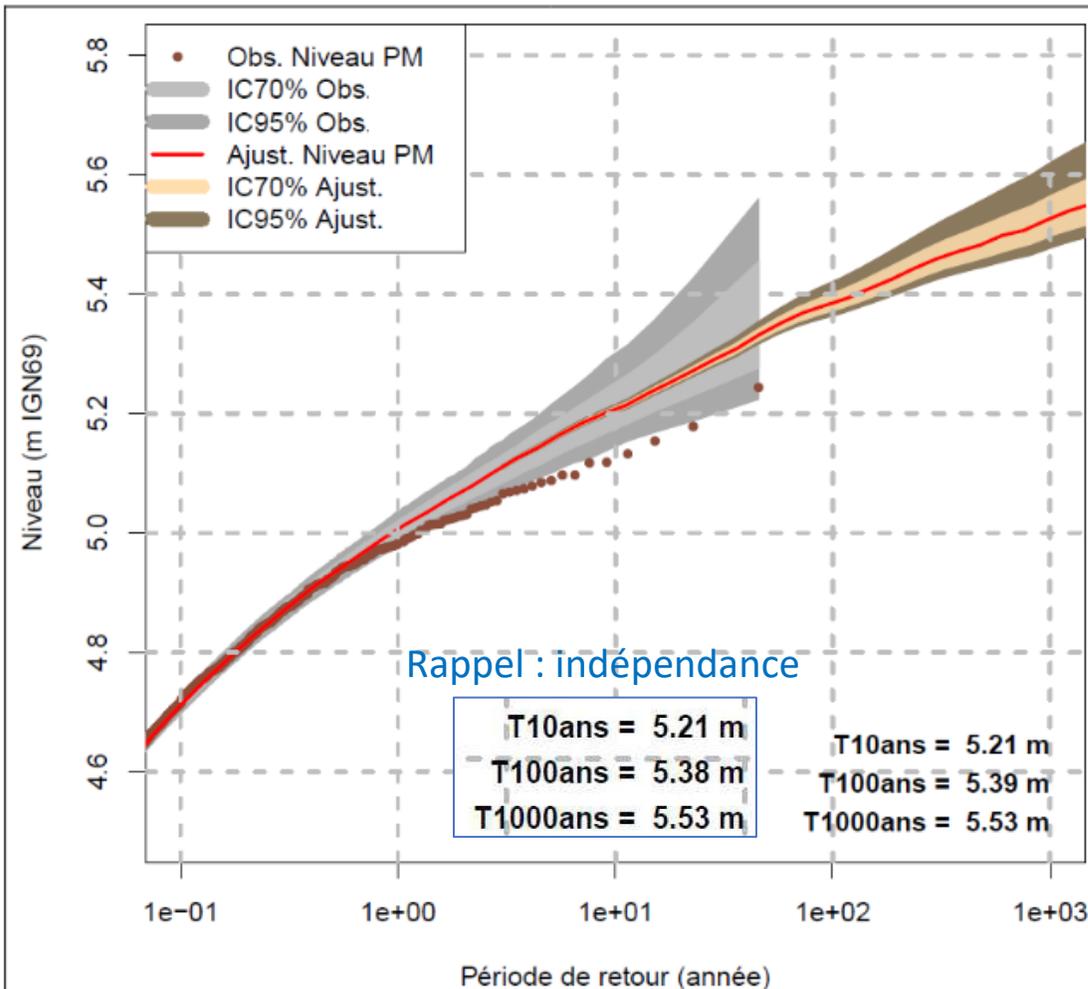
- Simulation de 10^5 années de surcote PM
- Surcote => bande de surcote => distribution de marée
- Tirages aléatoire de 10^5 années de marée PM
- Calcul des niveaux d'eau et analyse empirique des périodes de retour



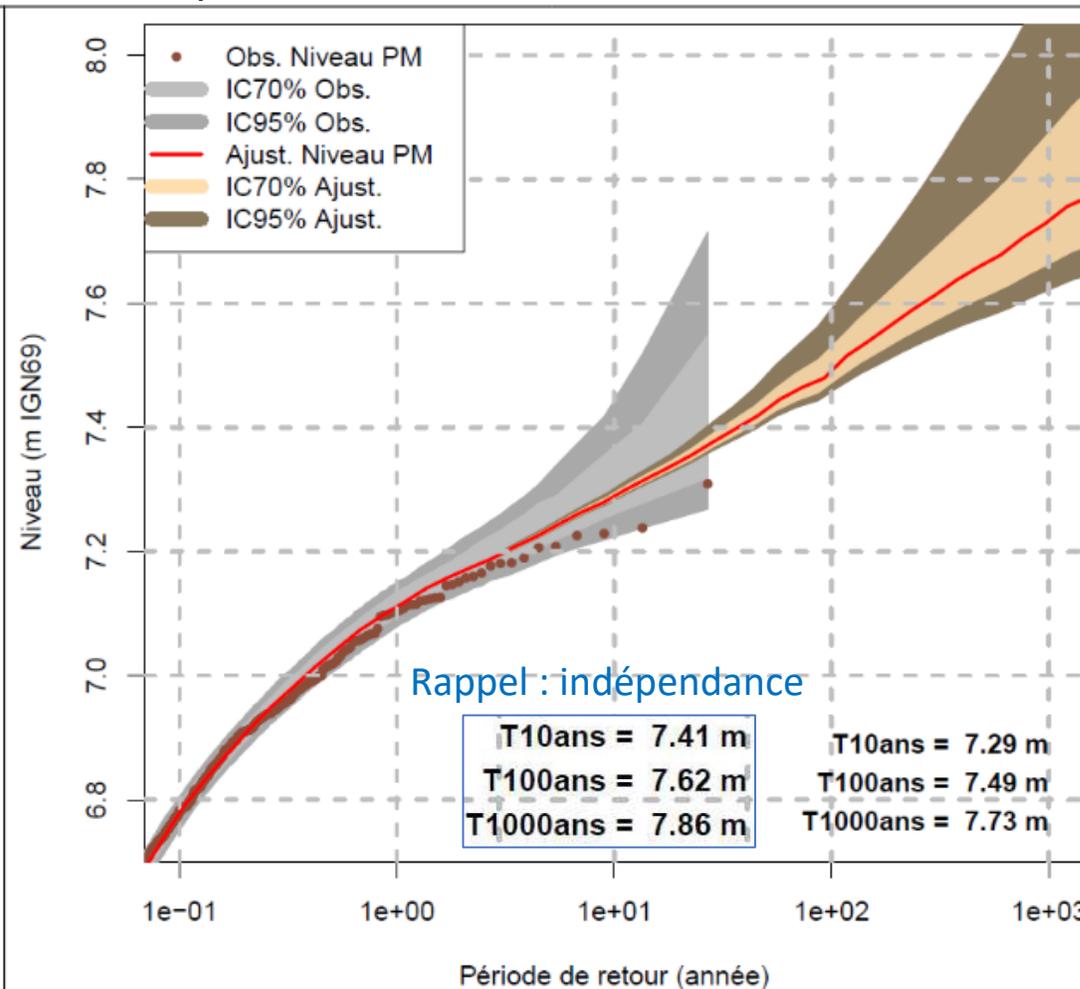
Dépendance marée / surcote

2 bandes de surcotes

Exemple de Roscoff et Saint-Malo



a) Roscoff



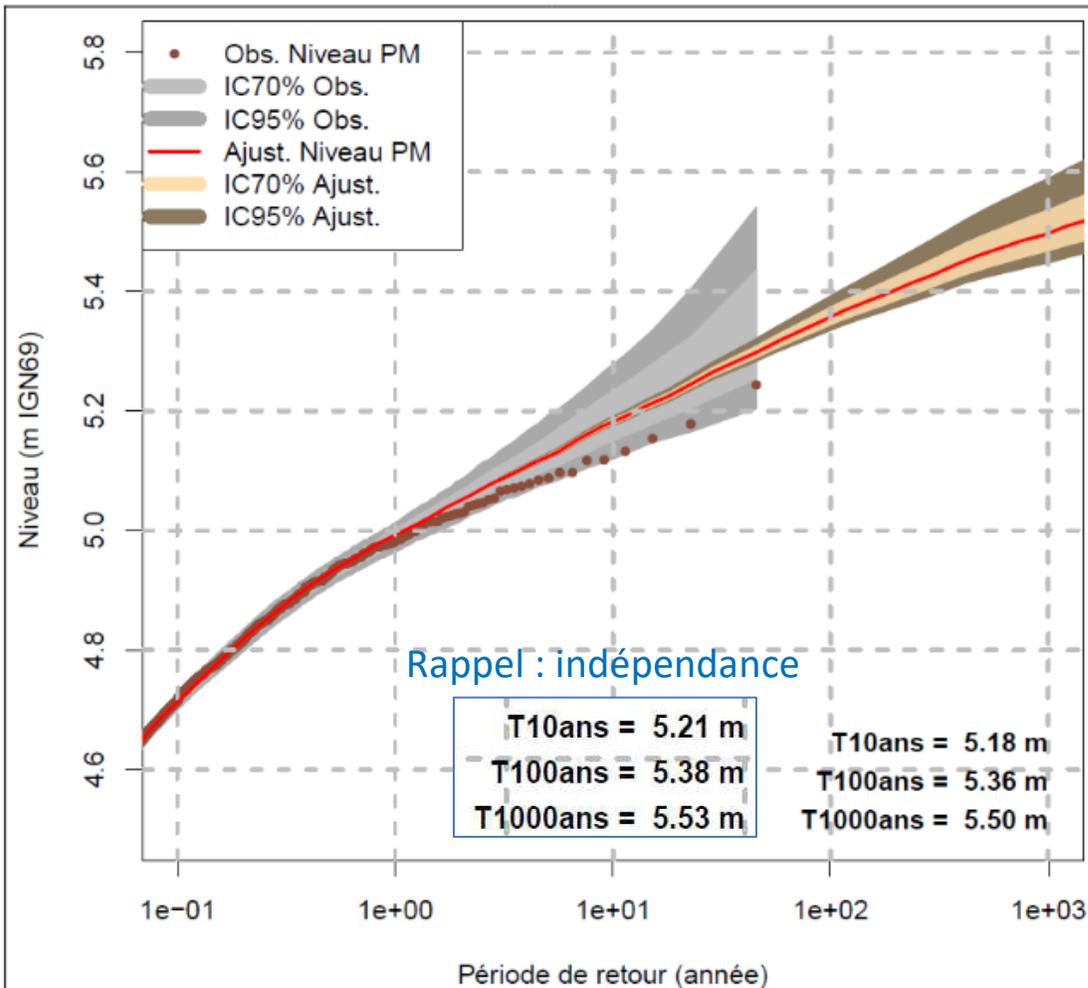
b) Saint-Malo



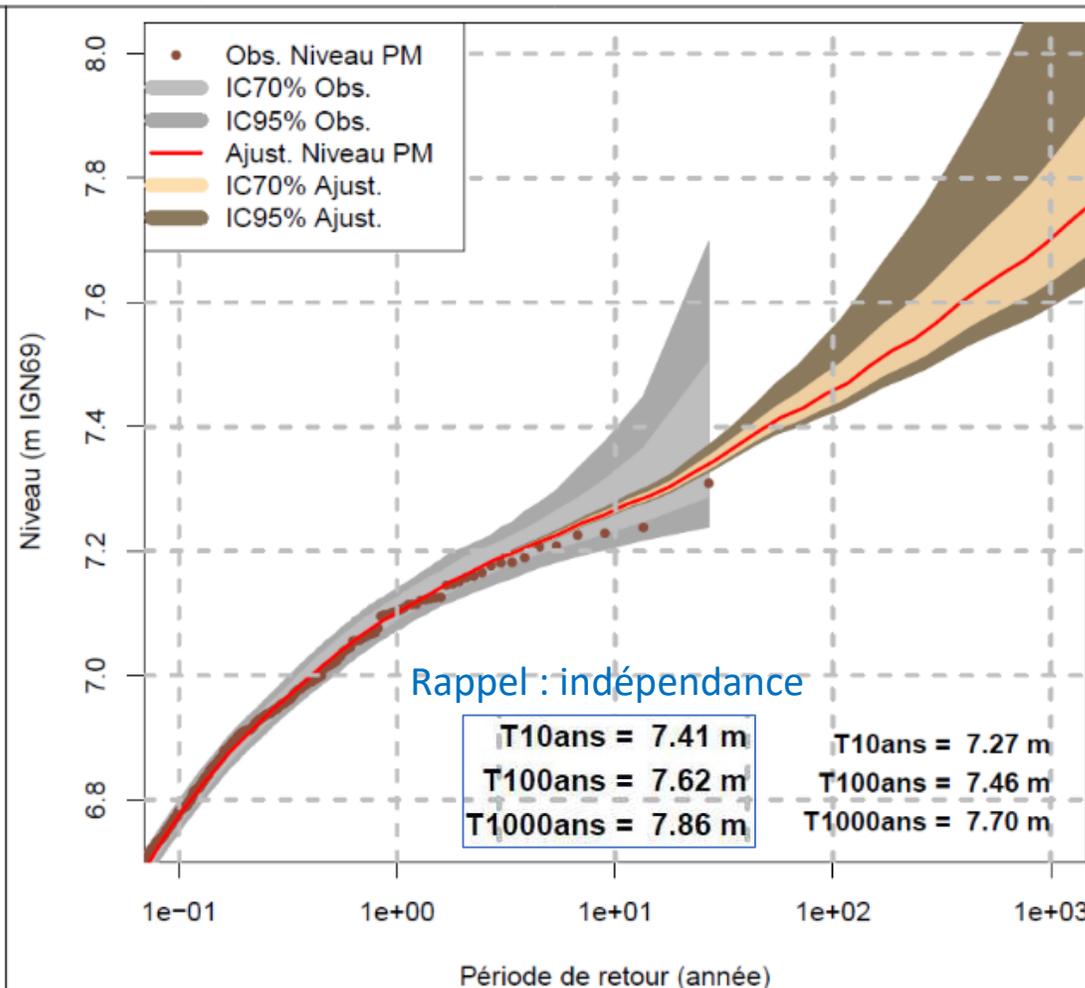
Dépendance marée / surcote

3 bandes de surcotes

Exemple de Roscoff et Saint-Malo



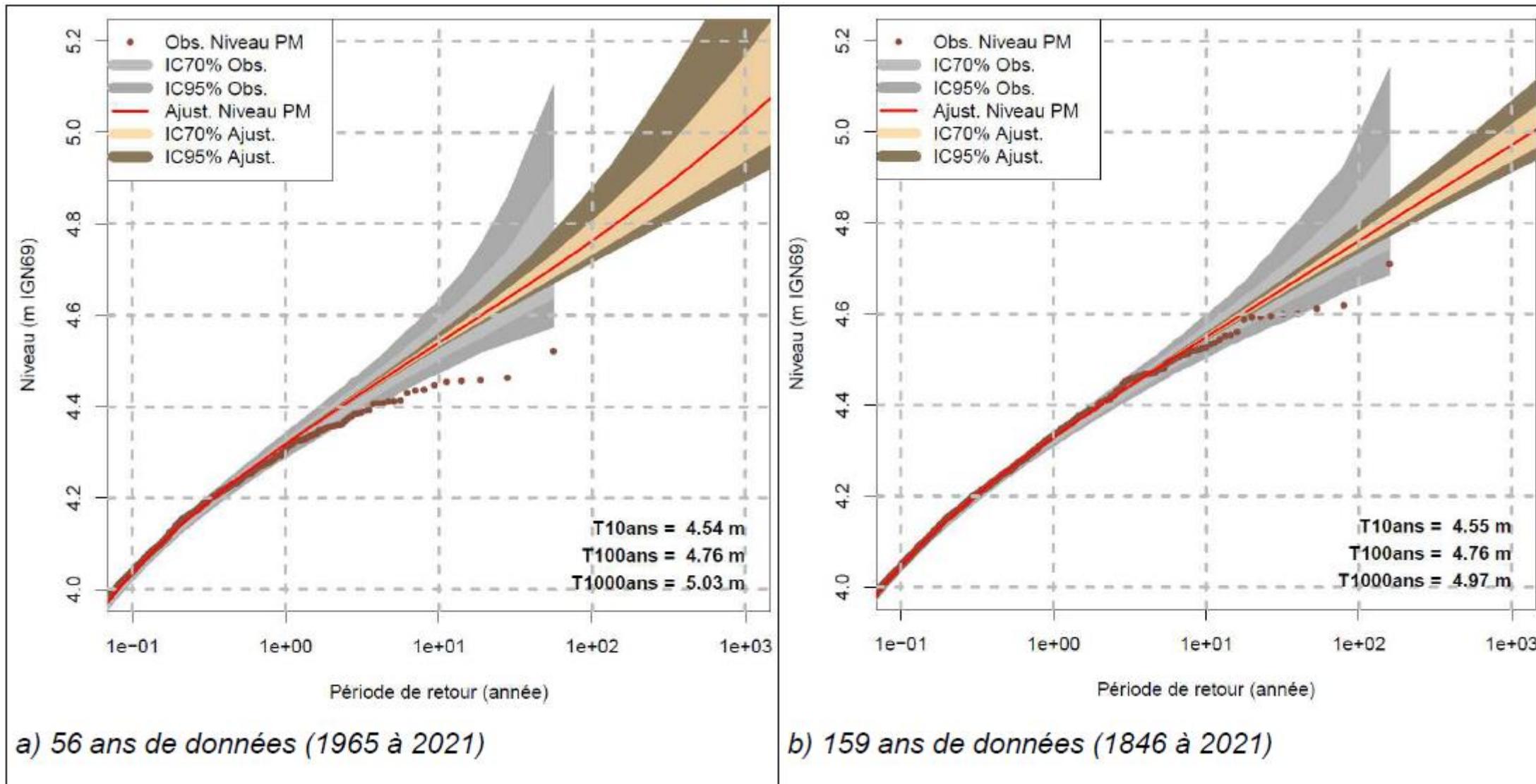
a) Roscoff



b) Saint-Malo

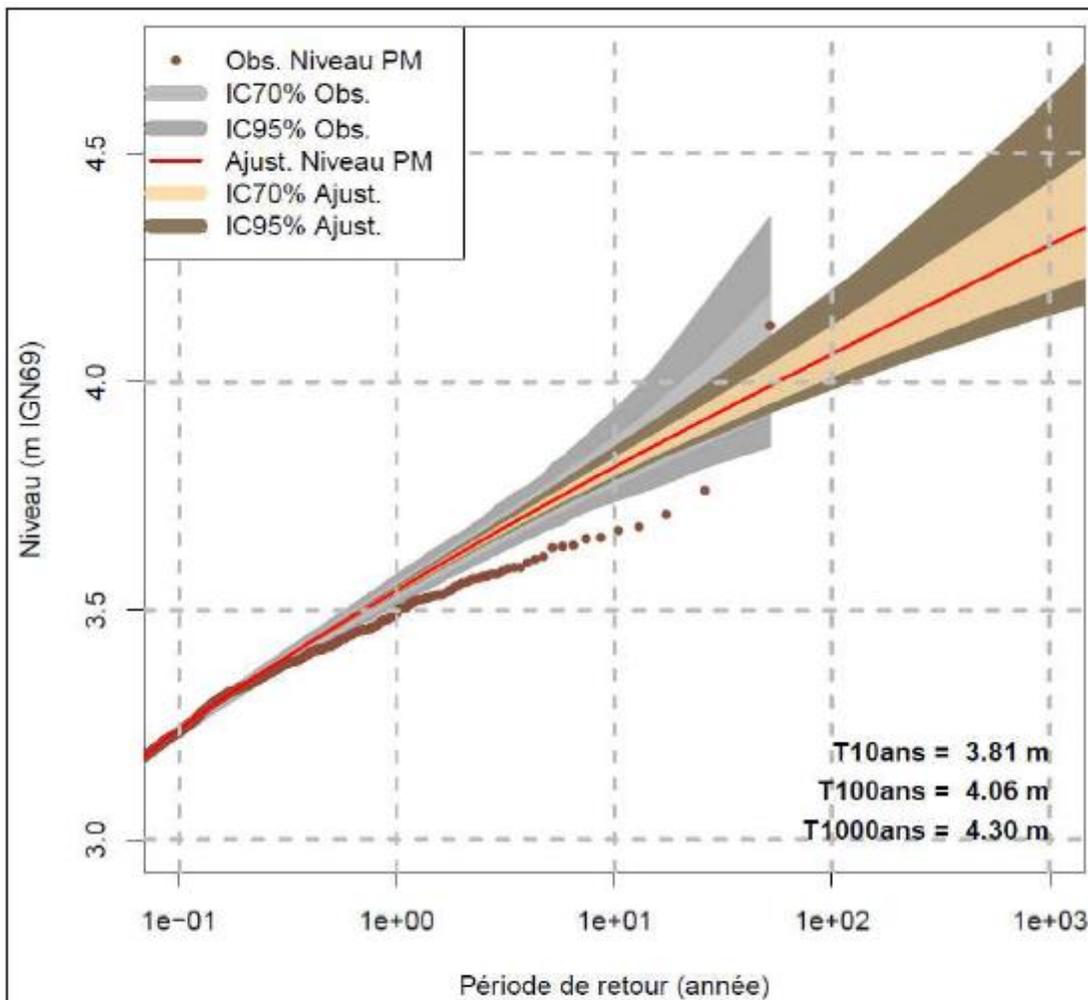
Test de sensibilité sur la durée d'observation

Marégraphe de Brest

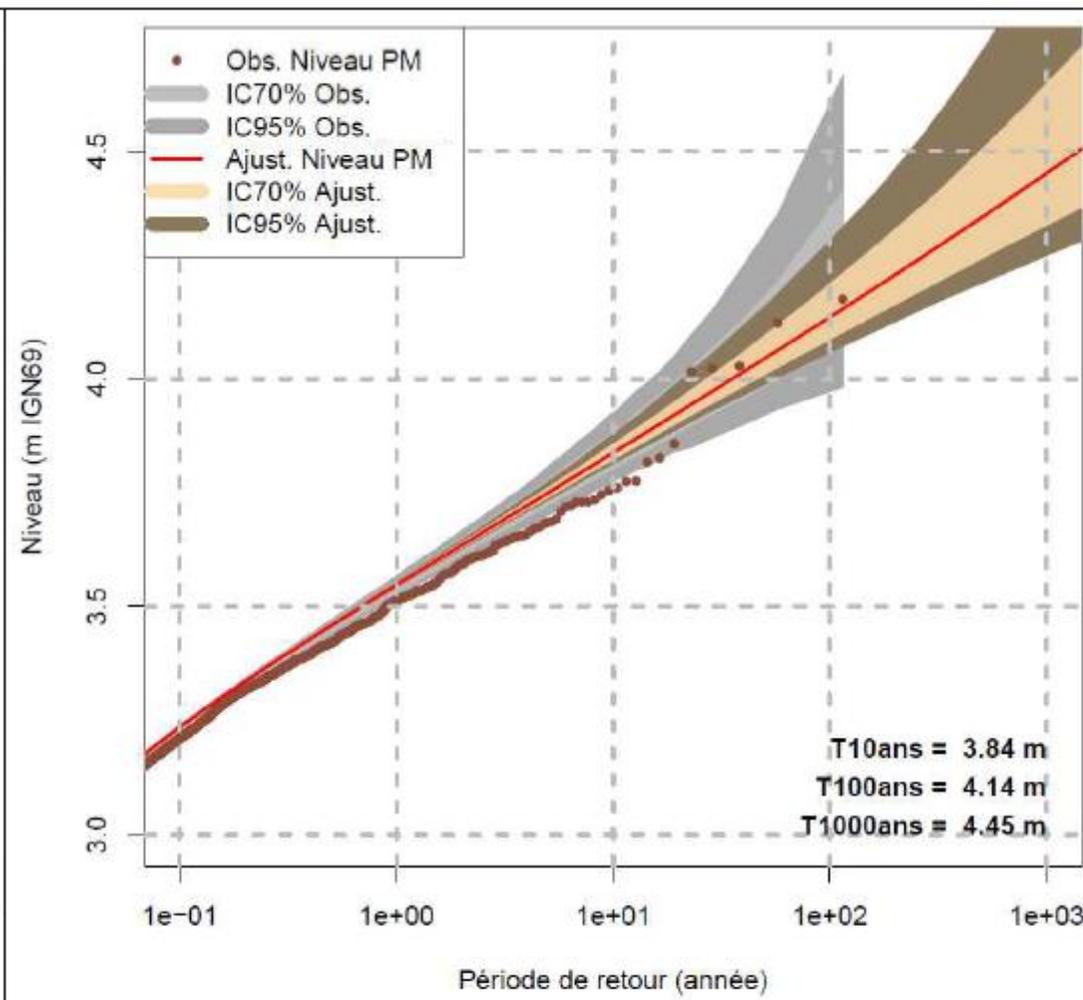


Test de sensibilité sur la durée d'observation

Marégraphe de Saint-Nazaire



a) 52 ans de données (1965 à 2021)



b) 155 ans de données (1863 à 2021)