

# Modélisation de la dépendance entre la marée et la surcote météorologique pour l'estimation des niveaux marins extrêmes en sites à fort marnage

Xavier Kergadallan<sup>12</sup>, Michel Benoit<sup>23</sup>, Pietro Bernardara<sup>24</sup>

1. Cerema, Plouzané, France
2. Université Paris-Est, Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant, Chatou, France
3. EDF R&D Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), Chatou, France
4. EDF Energy R&D UK Centre, London, United Kingdom.

# Objectifs

- Objectif scientifique

- ▶ Modélisation de la dépendance marée/surcote dans l'analyse statistique des valeurs extrêmes de niveau d'eau en Mer du Nord, Manche et Atlantique (MdN M<sup>ch</sup> A<sup>tl</sup>)

- Objectif opérationnel

- ▶ Définition d'un niveau marin de référence (MdN M<sup>ch</sup> A<sup>tl</sup>)

- Mise à jour des rapports SHOM et Cetmef [2008, 2012]

# Sommaire

- Rappels
- État de l'art
- Données d'entrée
- Estimation des niveaux d'eau
  - RJPM [Tawn et Vassie, 1989]
  - Modélisation de la dépendance surcote/marée
- Conclusion

# Rappels

- Niveau d'eau  
= Marée  
+ Surcote météorologique

- Marnage

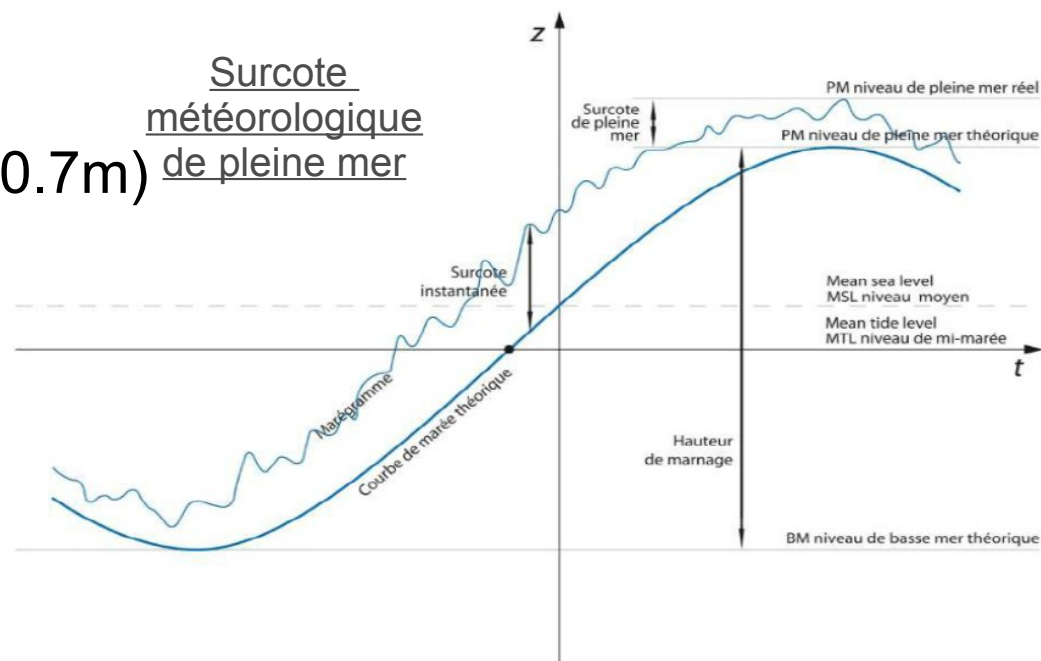
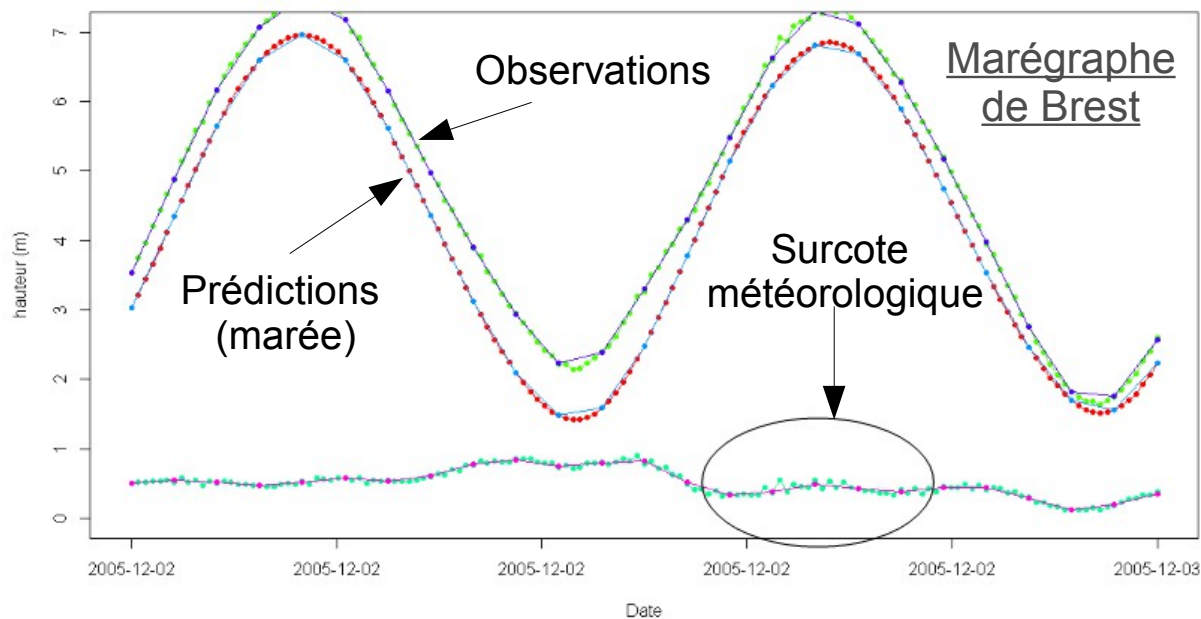
- Méditerranée :

- Faible (~40cm)

- $MdN M^{ch} A^{tl}$  :

- Important (Vives Eaux 3.7 à 10.7m)

- Surcote PM



# État de l'art

- État de l'art : MdN M<sup>ch</sup> A<sup>tl</sup> :

## Convolution surcote/marée aux moments de pleine mer (PM)

- **Décomposition surcote/marée :**

Revised Joint Probability Method (RJPM) [Tawn et Vassie, 1989]

$$Pr\{Z > z\} = \int_{t_{min}}^{t_{max}} Pr\{T = t\} \cdot Pr\{S^P > s | s = z - t\} \cdot dt$$

- ▶ Indépendance de la surcote météorologique avec la marée

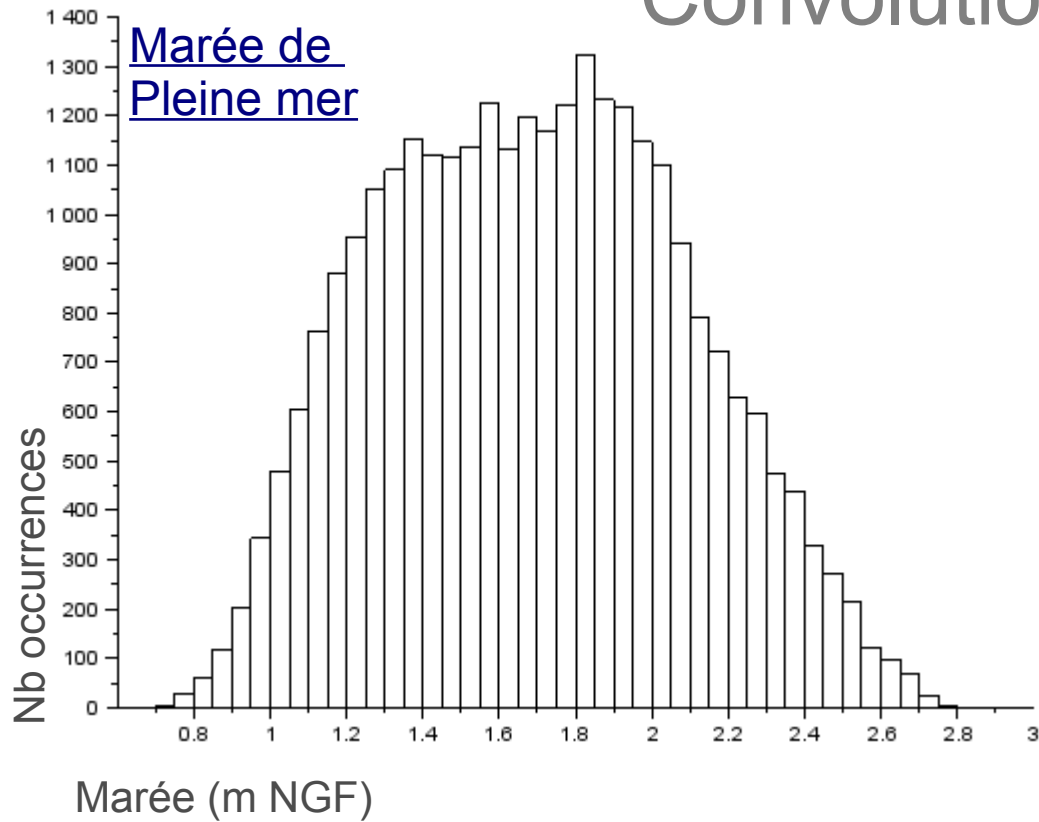
- **Moments de PM :** [Simon, 1996] (MdN M<sup>ch</sup> A<sup>tl</sup>)

- ▶ Rapport SHOM et Cetmef [2008,2012]

=> Surestimation apparente des niveaux d'eau ?

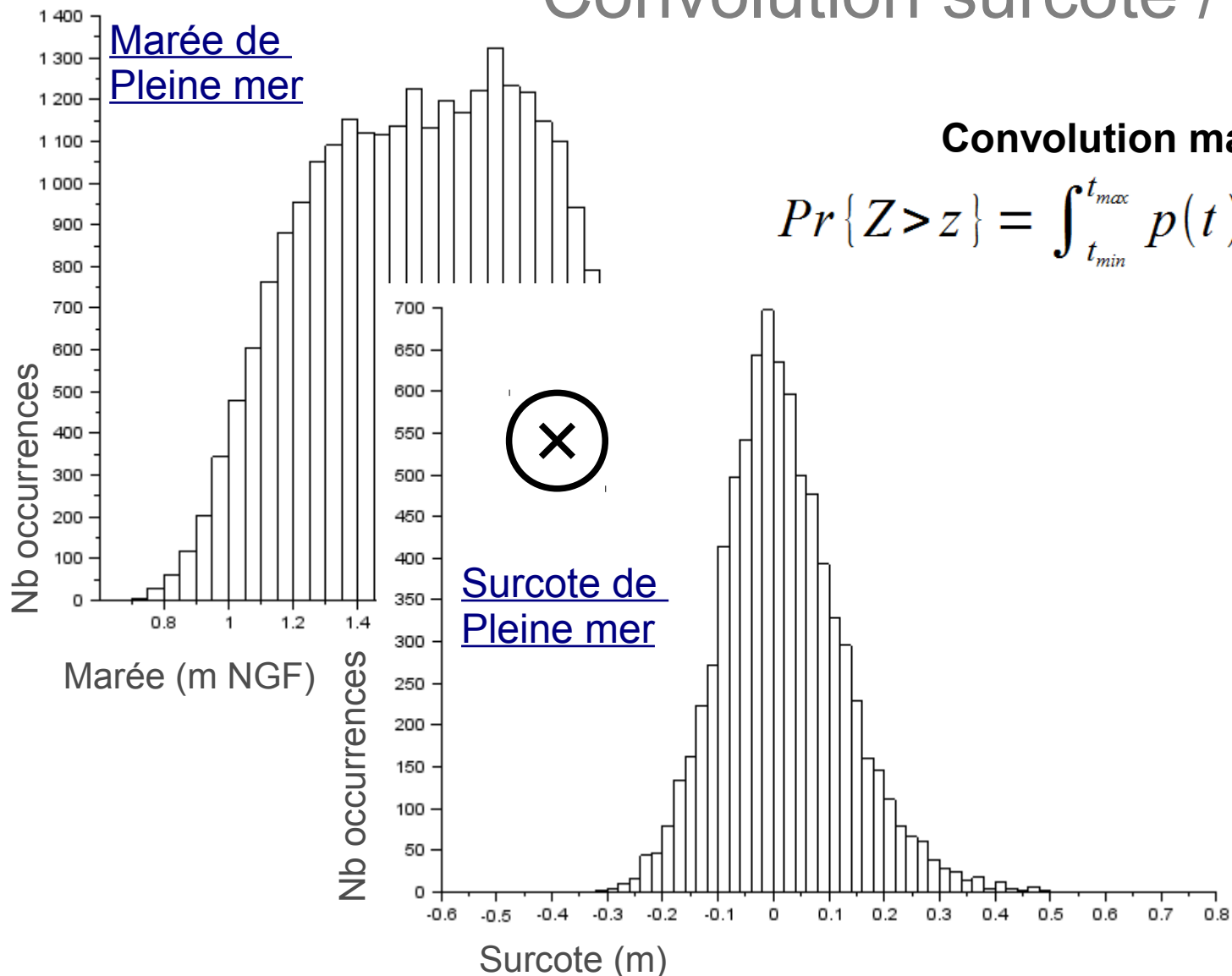
# État de l'art

## Convolution surcote / marée (RJPM)



# État de l'art

## Convolution surcote / marée (RJPM)

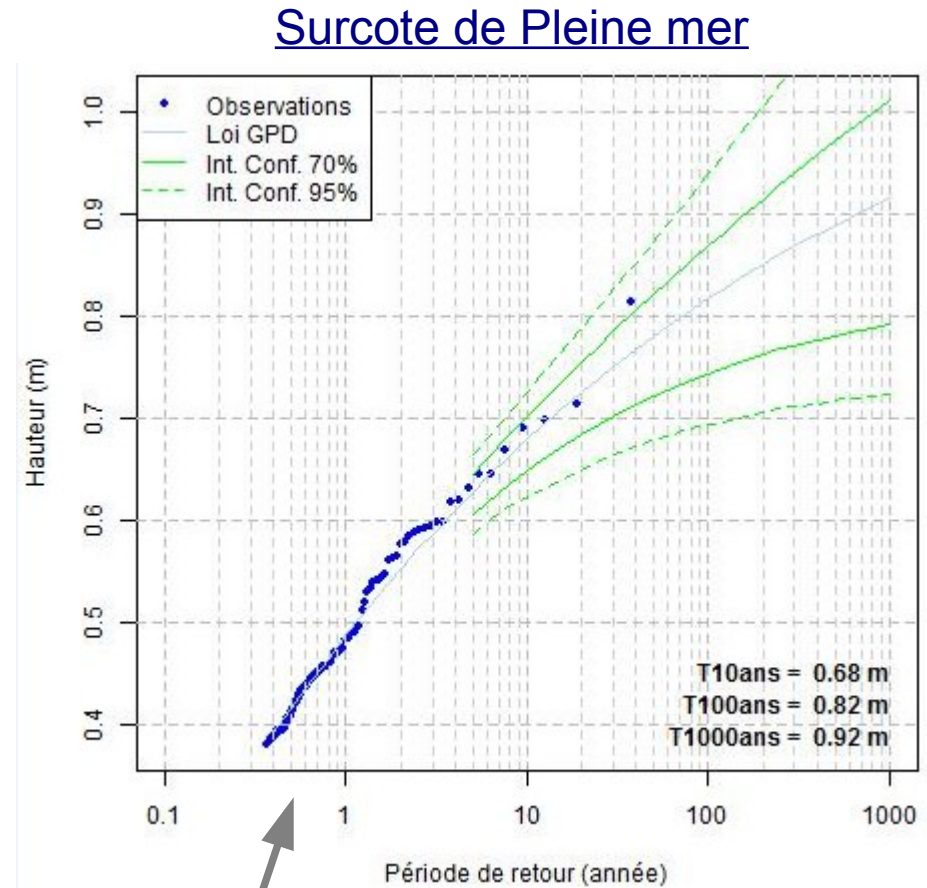
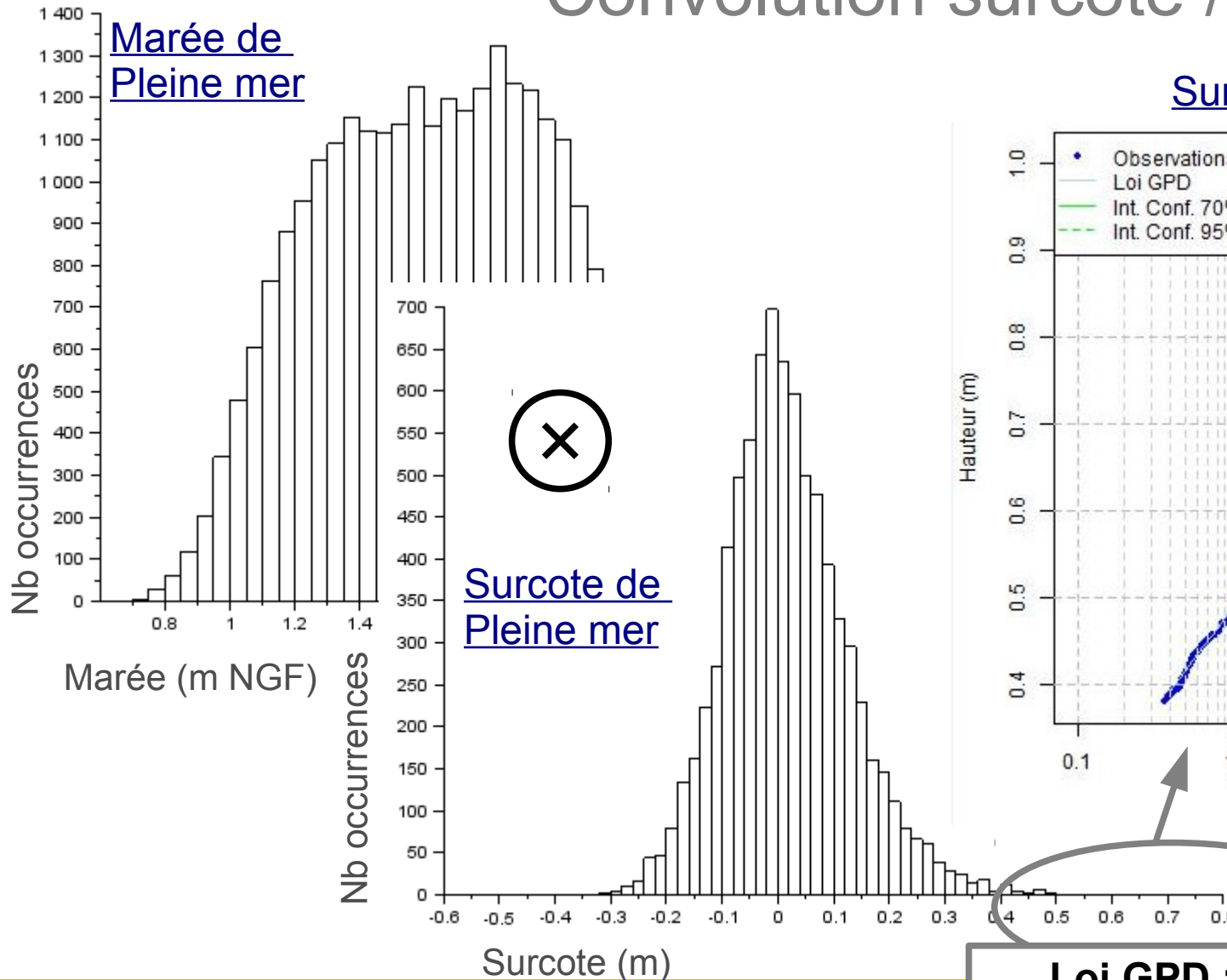


### Convolution marée / surcote

$$Pr\{Z > z\} = \int_{t_{min}}^{t_{max}} p(t)(1 - F_s(z - t)) \cdot dt$$

# État de l'art

## Convolution surcote / marée (RJPM)



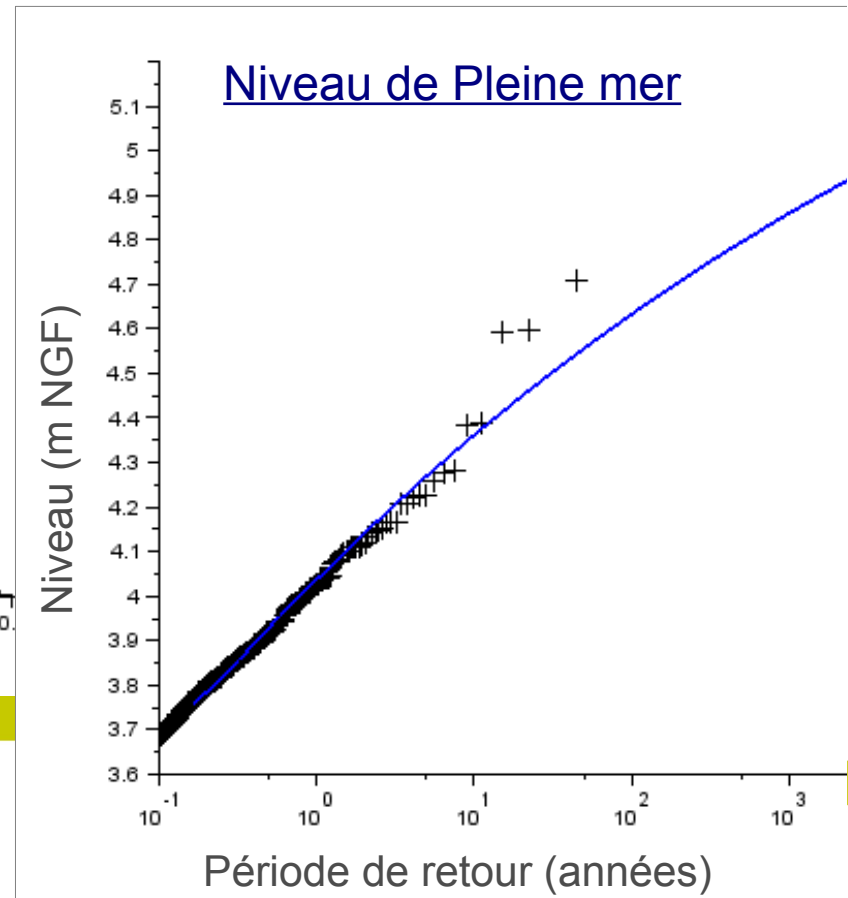
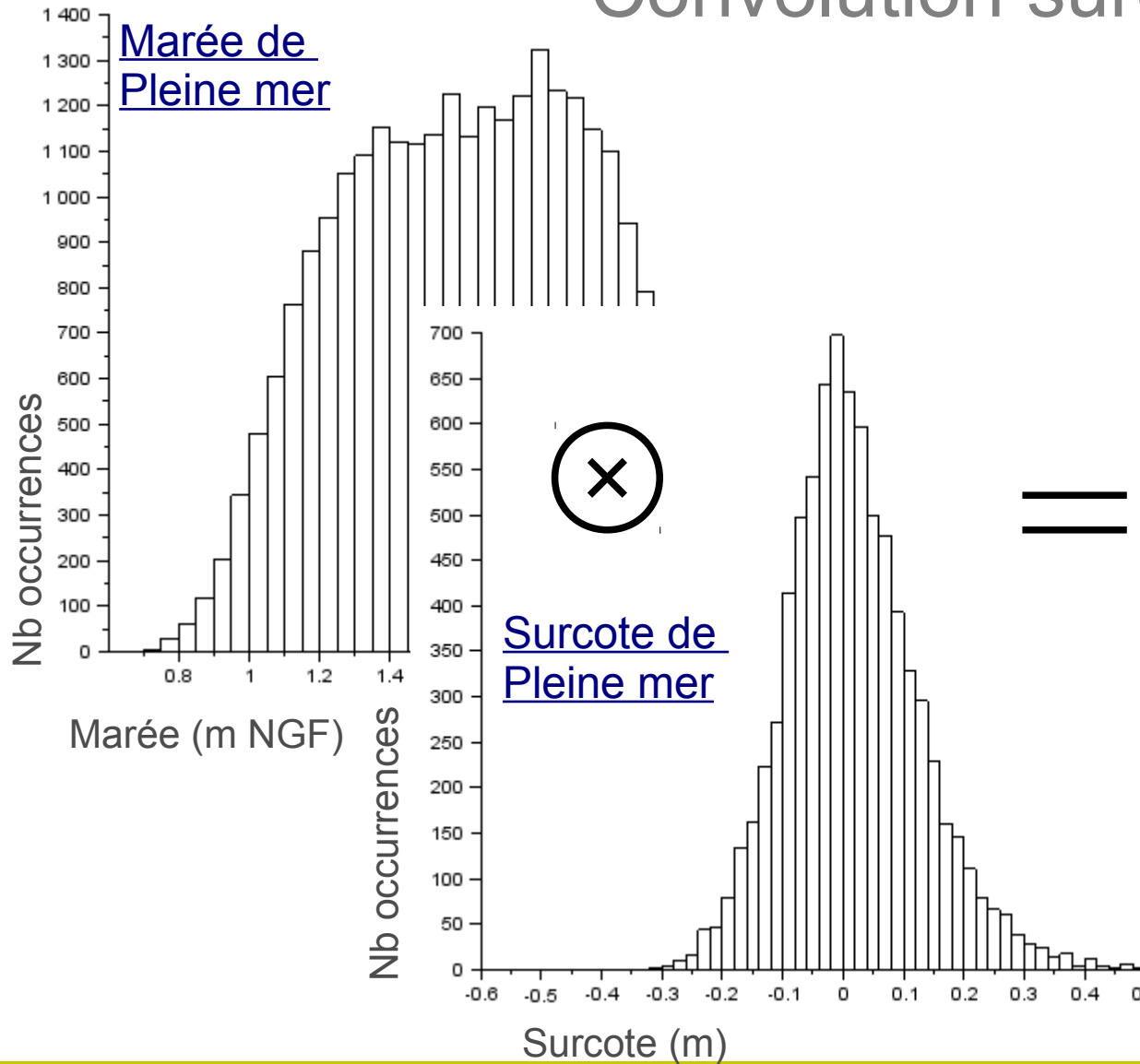
**Loi GPD :**

$$Pr\{S > s\} = \zeta_u \left[ 1 + \xi \frac{(s-u)}{\sigma_u} \right]^{(-1/\xi)}$$



# État de l'art

## Convolution surcote / marée (RJPM)



# Données d'entrée

- Observations de niveaux d'eau

- SHOM [REFMAR]

- Données horaires

- Aux ports de référence  
(durée  $\geq 10$  ans)



- Prédiction de marée

- SHOM [SHOMAR]

- Données horaires



- Préparation des données

- Correction de l'eustatisme  Cerema

- MdN  $M^{ch}$   $A^{tl}$  : calcul des surcotes PM

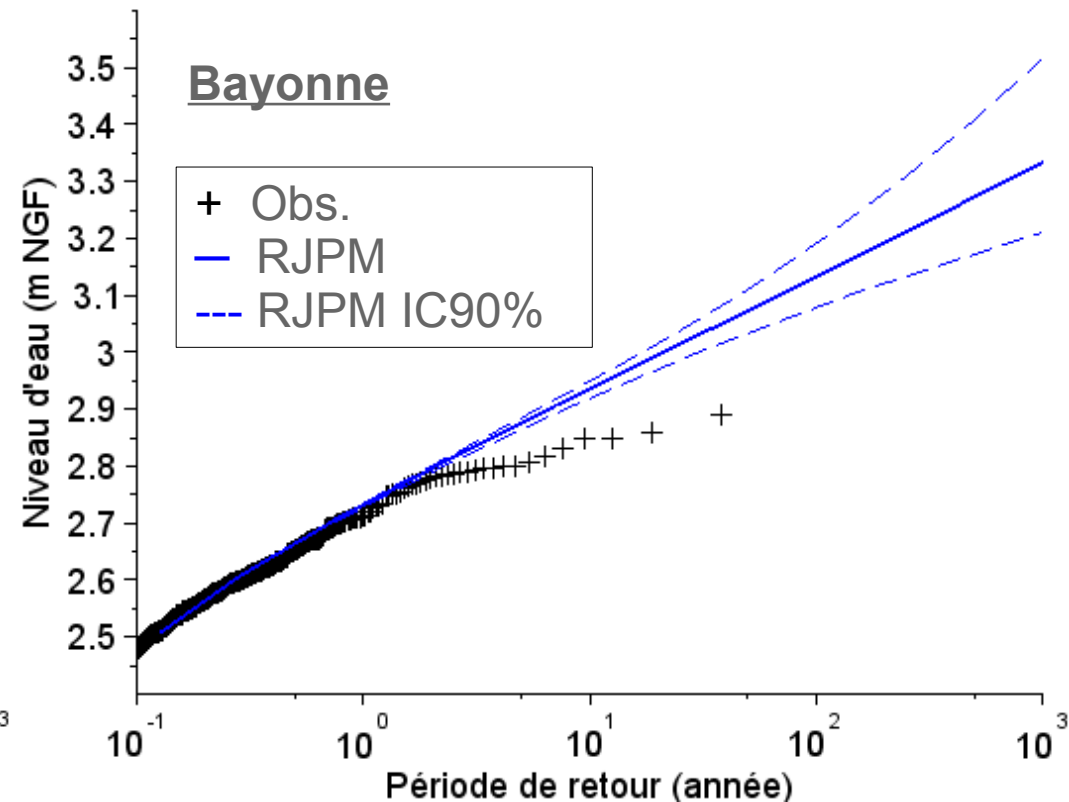
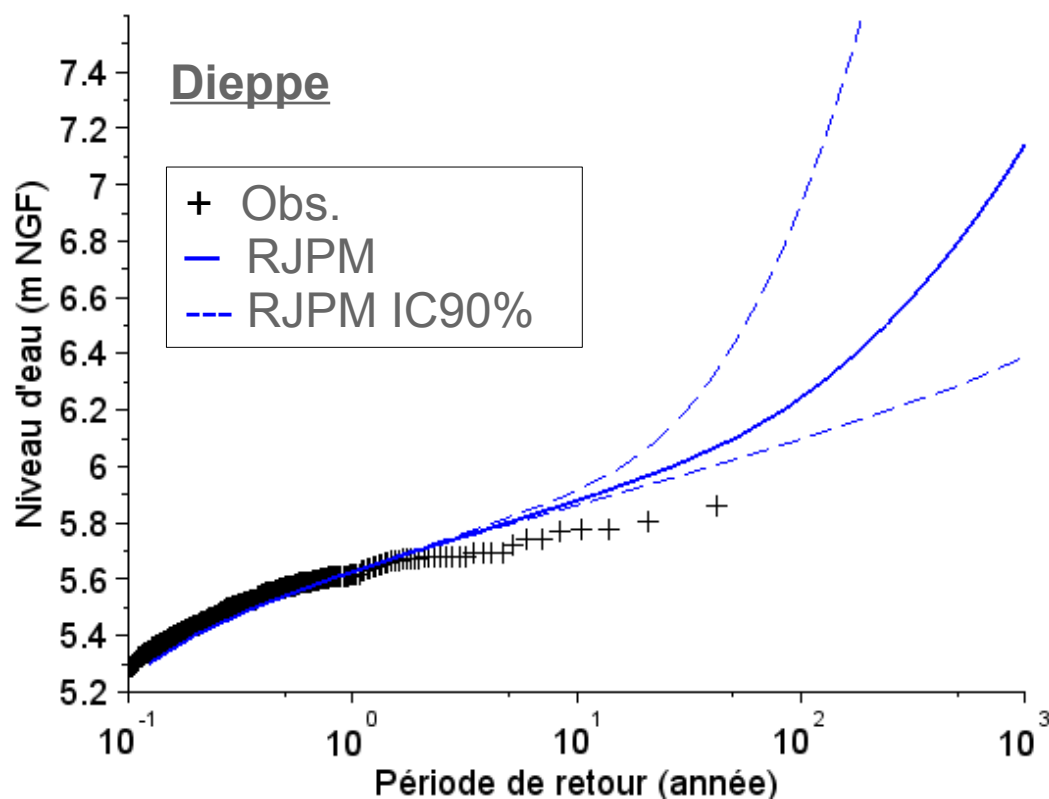


# Estimation des niveaux d'eau

RJPM [Tawn et Vassie, 1989]

- Convolution Surcote / Marée

$$Pr\{Z^p > z\} = \frac{n_s \cdot \theta_z(z)}{n_z} \cdot \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} Pr\{T=t\} \cdot \frac{Pr\{S^p > s | s=z-t\}}{\theta_s(s)} \cdot dt$$

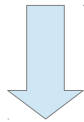
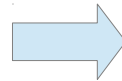


# Estimation des niveaux d'eau

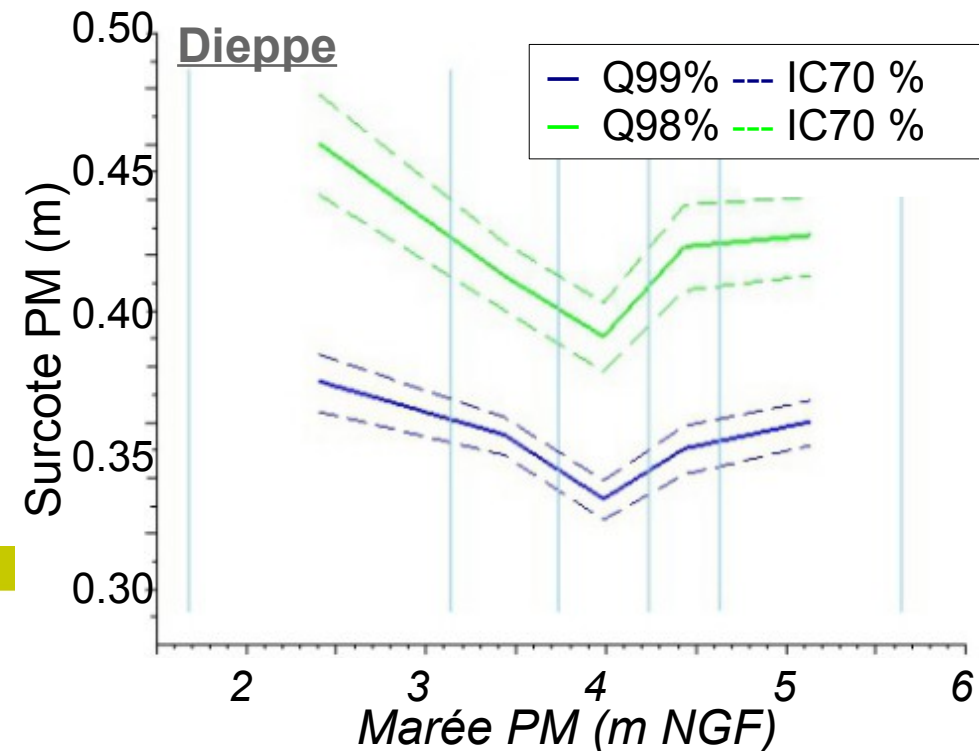
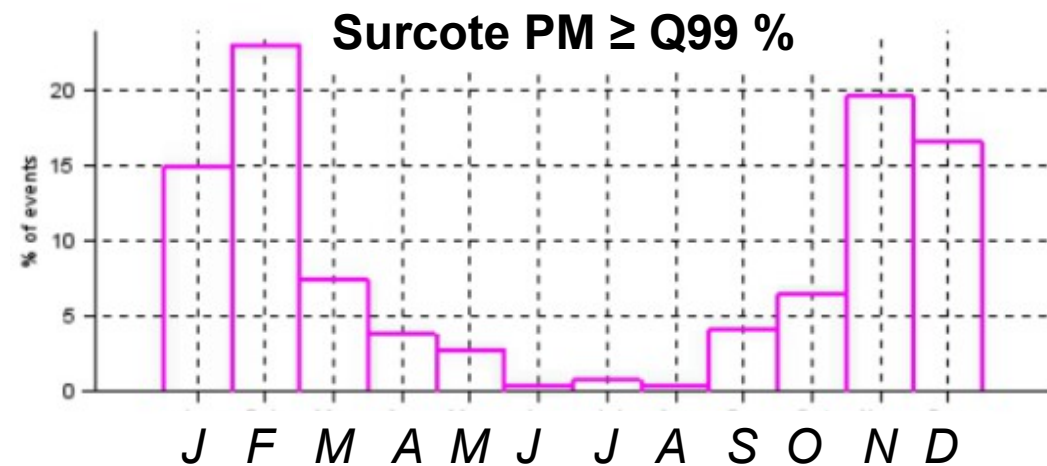
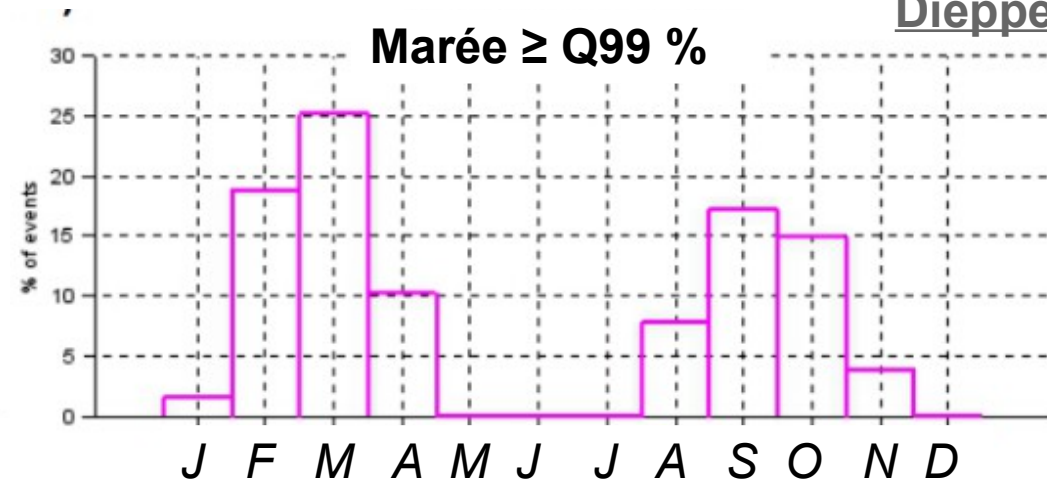
## Dépendance marée / surcote

- 2 hypothèses

- Dépendance saisonnière
- Dépendance en amplitude



Dieppe



# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

- Dépendance saisonnière : **(1) méthode saisonnière**

- RJPM modifiée

$$Pr\{Z^P > z\} = \frac{n_s \theta_z(z)}{n_z} \cdot \sum_{i=1}^{365} \int_{t_{min}^i}^{t_{max}^i} Pr\{T_i = t\} \cdot \frac{Pr\{S_i^P > s | s = z - t\}}{\theta_s(s)} \cdot dt$$

avec

$$Pr\{S_i^P > s\} = \zeta_{u,i} \left[ 1 + \xi \left( \frac{s - u}{\sigma_u} \right) \right]^{-1/\xi}$$

$$\zeta_{u,i} = \frac{1}{\sum_{k=-15}^{+15} (16 - |k|)} \sum_{k=-15}^{+15} (16 - |k|) \cdot Pr\{S_j^P > s\}$$

# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

## ● Dépendance en amplitude : (2) méthode Dixon et Tawn

- Normalisation des surcotes avant l'ajustement statistique des valeurs extrêmes

$$S^{p*}(T) = \frac{s - a(t)}{b(t)}$$

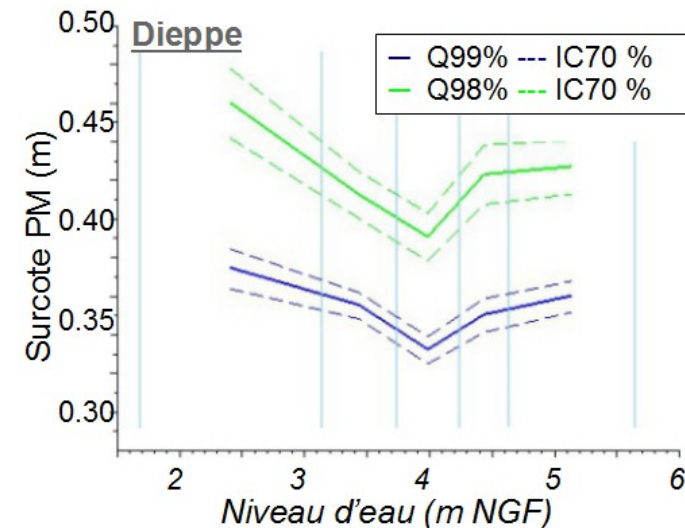
Par bandes :  
 ——— Q98%  
 ——— Q99%-Q98 %

## • RJPM modifiée

$$Pr\{Z^p > z\} = \frac{n_h \theta_z(z)}{n_z} \cdot \sum_{i=1}^N Pr\{T \in [t^{(i-1)}, t^i]\} \cdot Pr\{Z^h > z \mid t \in [t^{(i-1)}, t^i]\}$$

avec

$$Pr\{Z^h > z \mid t \in [t^{(i-1)}, t^i]\} = \frac{n_s}{n_h} \int_{t_{min}^i}^{t_{max}^i} Pr\{T_i = t_i\} \cdot \frac{Pr\{S_i^p > s_i \mid s_i = z - t_i\}}{\theta_s(s)} \cdot dt_i$$

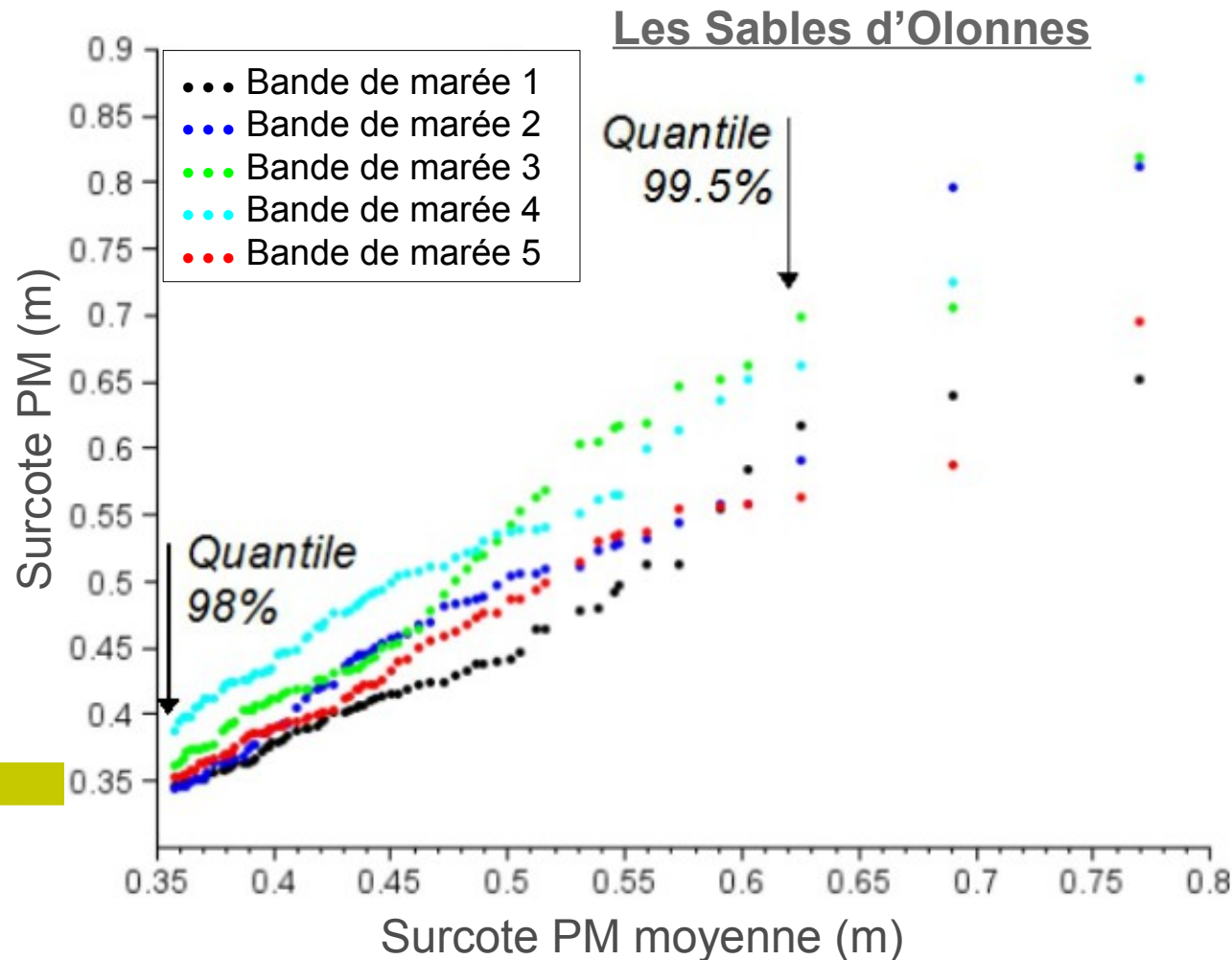


# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

- Dépendance en amplitude : **(3) méthode revisitée**

- Nouvelle normalisation des surcotes



$$S^{p'}(T) = \frac{s - c(t)}{d(t)}$$

Par bandes :  
— intercep  
— pente

# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

- **Résultats** : Estimation du niveau d'eau de période de retour 1000 ans

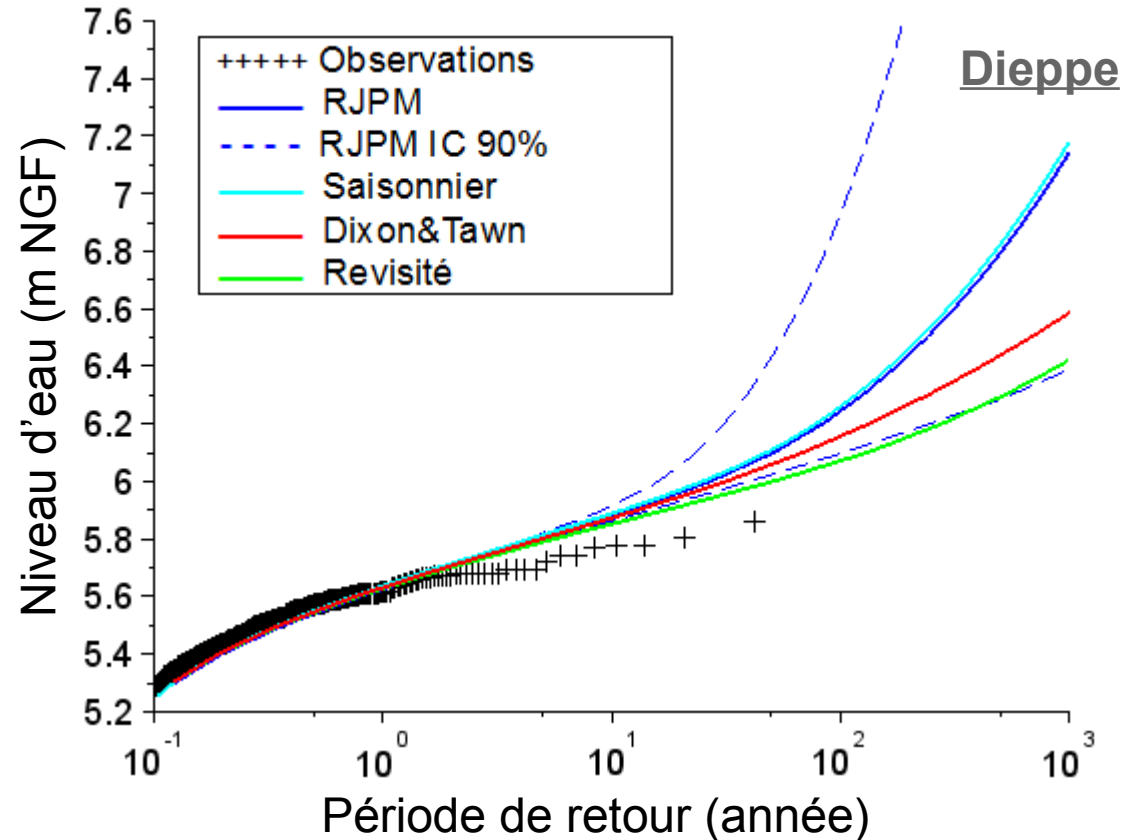
Marégraphes	RJPM (m NGF)	Saisonnier (m NGF)	Dixon&Tawn (m NGF)	Revisité (m NGF)
Dunkerque	4.86	4.87	4.96	4.84
Calais	5.17	5.18	5.14	5.15
Boulogne-sur-Mer	6.07	6.10	5.88	6.05
Dieppe	7.14	7.18	6.58	6.42
Le Havre	5.46	5.49	5.59	5.62
Cherbourg	4.39	4.37	4.39	4.37
Saint-Malo	7.85	7.83	7.96	7.84
Roscoff	5.51	5.52	5.51	5.52
Le Conquet	4.77	4.78	4.85	4.76
Brest	4.92	4.92	4.95	4.90
Concarneau	3.88	3.9	3.94	3.83
Port-Tudy	3.81	3.83	3.75	3.81
Saint-Nazaire	4.22	4.21	4.17	4.21
Pointe Saint-Gildas	4.00	4.02	4.06	4.00
Les Sables d'Olonne	3.72	3.72	3.62	3.64
La Rochelle	4.22	4.23	4.36	4.18
Port-Bloc	3.91	3.94	3.83	3.83
Bayonne	3.32	3.32	3.18	3.14
Saint-Jean-de-Luz	3.14	3.15	3.15	3.09



# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

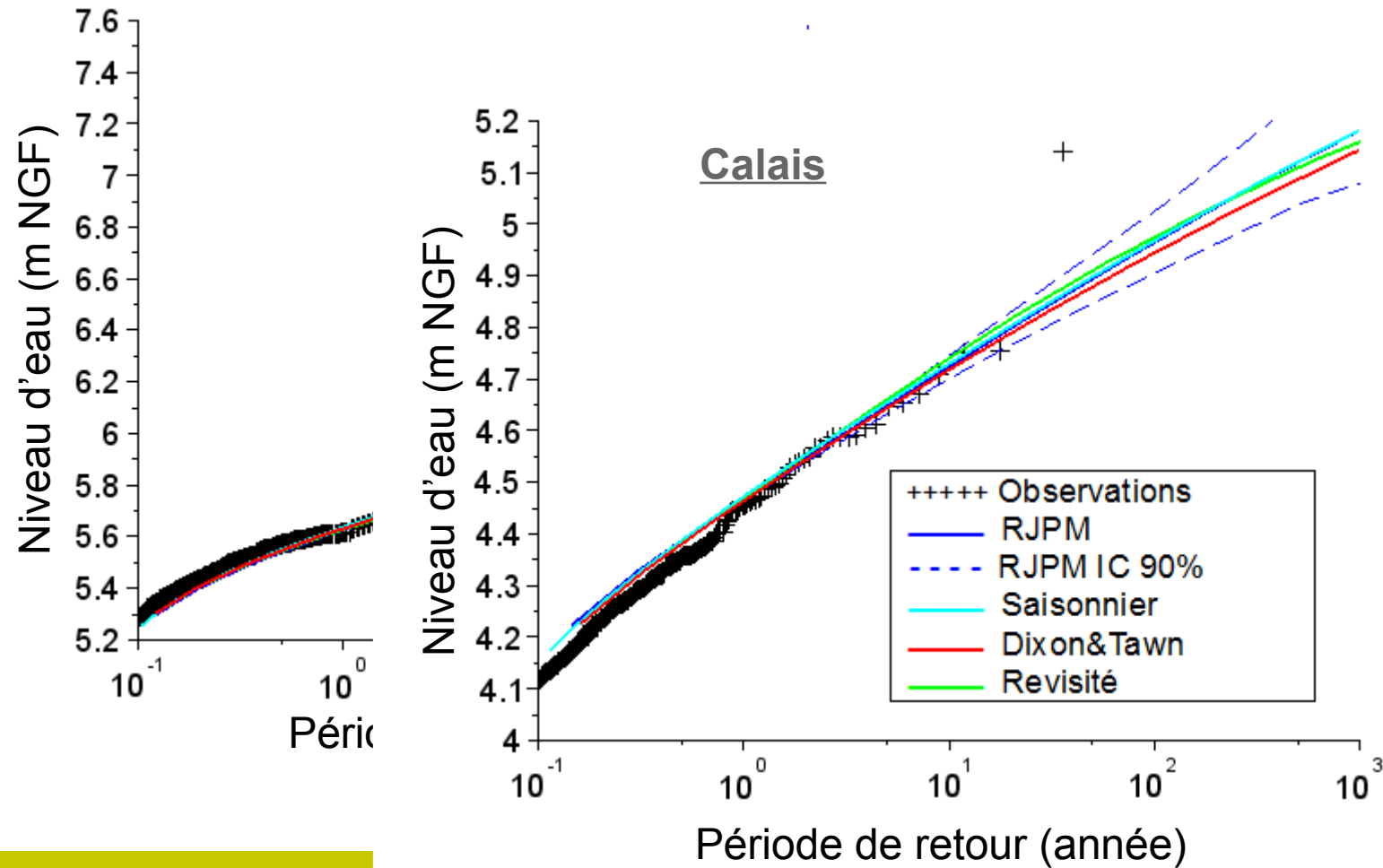
- **Résultats** : Ajustements statistiques des valeurs extrêmes



# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

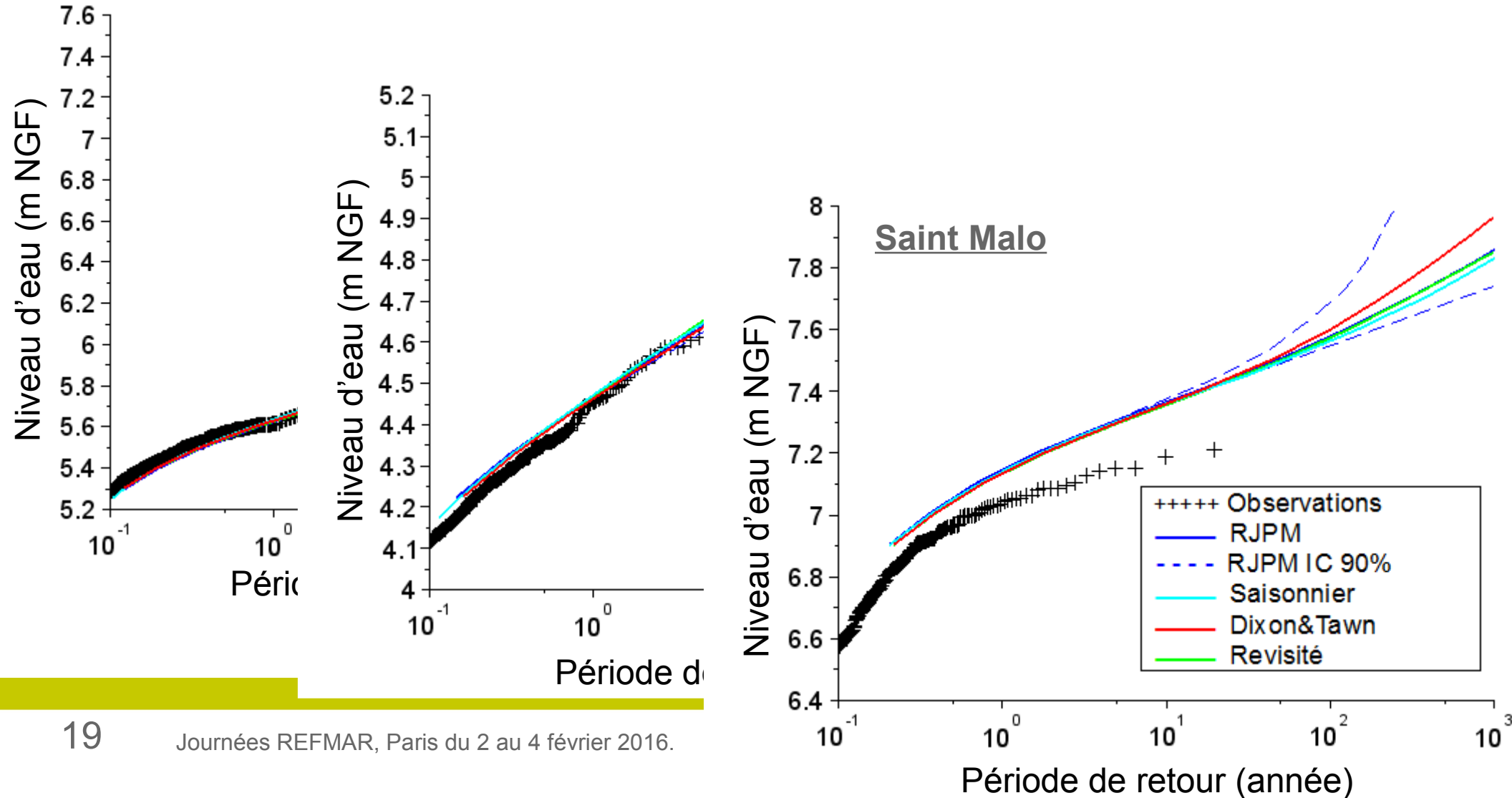
- **Résultats** : Ajustements statistiques des valeurs extrêmes



# Estimation des niveaux d'eau

Dépendance marée / surcote

- **Résultats** : Ajustements statistiques des valeurs extrêmes



# Conclusion

## Modélisation de la dépendance surcote / marée

- MdN  $M^{ch}$   $A^{tl}$  seulement
- Dépendance saisonnière : effet négligeable
- Nouveau modèle de dépendance en amplitude  
Influence notable en baie de Seine et au Sud du golfe de Gascogne
- Cas de Saint-Malo (Saint-Nazaire, Le Conquet et Cherbourg)  
Dépendance par types de tempête, influence des seiches ?



Cerema

UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST



# Merci de votre attention

Xavier KERGADALLAN  
Responsable du Pôle Données Hydraulique  
CEREMA/DTecEMF/DI/IE/IHS

+33 (0)2 98 05 67 22  
[xavier.kergadallan@cerema.fr](mailto:xavier.kergadallan@cerema.fr)

