

EXTRAPOLATION DES NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES : INCORPORATION DE L'APPROCHE POT A LA MÉTHODE DES PROBABILITÉS COMBINÉES

Franck Mazas, Luc Hamm, ARTELIA Maritime, Grenoble
Xavier Kergadallan, CETMEF, Brest

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

LES ENJEUX

- Tempête **XYNTHIA**, 27-28 février 2010: > 30 personnes noyées par submersion marine
- Besoin : estimation précise des niveaux marins extrêmes pour les études de risques en zone côtière
- ETAT DE L'ART** Deux approches principales pour l'estimation des niveaux marins extrêmes :
 - Approche directe** : extrapolation des données de niveaux : OK pour les zones à faible marange
 - Approche indirecte** : analyse séparée des composants déterministe (marée astronomique) et stochastique (surcote / décote) puis distribution des niveaux par convolution de la marée et des surcotes : **Joint Probability Method (JPM)**

Dans ce cadre, extrapolation statistique sur la composante de surcote uniquement. Différentes méthodes utilisées dans la littérature: maxima annuels, *r-largest method*...

BUT DE L'ÉTUDE Incorporation des approches par dépassement de seuil pour l'extrapolation des surcotes :

- approche **Peaks-Over-Threshold (POT)** : emploi d'un seuil physique pour l'identification des événements de surcotes / décotes depuis une série temporelle régulière (e.g. horaire) d'observations auto-corrélées puis emploi d'un seuil statistique pour identification des données extrêmes i.i.d. ;
 - Extrapolation des pics de surcote par le modèle **Poisson-GPD** ; calcul des intervalles de confiance
- CAS D'ÉTUDE** Méthode illustrée par les données de **Brest**



Figure 1 La-Faute-sur-Mer (Vendée) après Xynthia

MODÈLE MIXTE POUR LES SURCOTES

DISTRIBUTION "NOYAU" Valeurs fréquentes modélisées par un estimateur non-paramétrique à noyau

EXTRAPOLATION DES QUEUES POUR LES ÉVÈNEMENTS DE SURCOTES

- Identification des événements extrêmes de surcotes / décotes par un seuil physique u_p → construction d'un échantillon de pics i.i.d.
 - Détermination d'un seuil statistique u_s → construction d'un échantillon de N dépassements extrêmes
 - Ajustement des dépassements par une distribution paramétrique : **GPD**, distribution de **Weibull**... (Fig. 2)
- DES ÉVÈNEMENTS EXTRÊMES AUX SURCOTES RÉGULIÈRES EXTRÊMES**
- Prise en compte de la durée moyenne des événements de

surcotes → équivalent d'un **indice extrême** pour les surcotes

Relation entre les distributions conditionnelles des pics de surcotes et des surcotes régulières (horaires) au-dessus de u_s :

$$G_S(s) = 1 - \frac{N^S}{n_S(u_S)} d_S(s) [1 - G_{PS}(s)]$$

- d_S modélisé par régression linéaire (en échelle log-log) jusqu'à $d_S = 1$ (Fig. 3)
- Connexion de la queue au noyau par la loi des dépassements de seuil : $F_S(s) = 1 + \frac{n_S(u_S)}{n} [G_S(s) - 1]$ for $s > u_s$ (Fig. 4)

INTERVALLES DE CONFIANCE Calculés par **bootstrap paramétrique**

- Approximation par une distribution paramétrique équivalente
- Même procédure pour ces distributions équivalentes que pour les queues

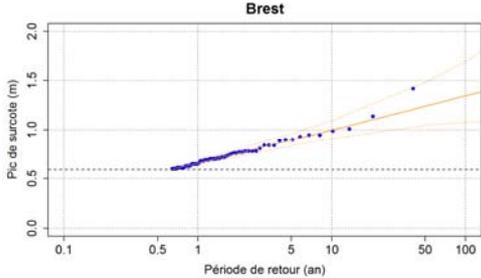


Figure 2 Extrapolation des pics de surcotes extrêmes

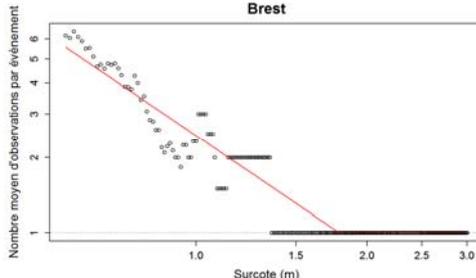


Figure 3 Nombre moyen de surcotes horaires par événement : modèle (rouge), observations (points)

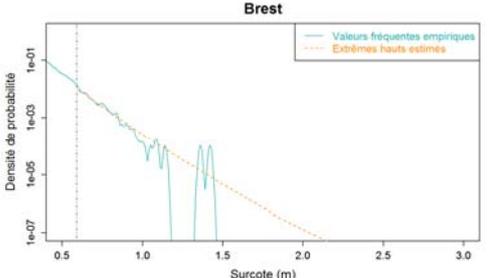


Figure 4 Distribution des surcotes horaires extrêmes : modèle (rouge), observations (points)

MARÉE ASTRONOMIQUE

COMPOSANTE DÉTERMINISTE Entièrement prédictible :

- Une série temporelle continue sur un saros (18,6 ans) est nécessaire et suffisante pour la détermination complète de la

distribution de marée astronomique

- Valeurs horaires de la marée astronomique modélisées par un estimateur non-paramétrique à noyau

DISTRIBUTION DES NIVEAUX MARINS

NIVEAUX MARINS RÉGULIERS (HORAIRES) Convolution des distributions des valeurs régulières de marée et de surcote (Fig. 5)

DISTRIBUTION DES ÉVÈNEMENTS DE NIVEAUX MARINS EXTRÊMES

- Les études de protection côtière nécessitent des estimations de périodes de retour sur les événements (pics) de niveaux marins
- équivalent d'un **indice extrême** pour niveaux marins basé sur le nombre moyen d'observations régulières par événement (Fig. 6)
- Relation entre la distribution conditionnelle des pics de niveaux

G_{PZ} et celle des niveaux réguliers supérieurs à un seuil u^2 :

$$G_{PZ}(z) = 1 + \frac{1}{N^2} \frac{1}{d_Z(z)} [1 - F_Z(z)]$$

- Seuil u^2 définissant les événements pris égal à la **PMVE**
- Calcul des périodes ou niveaux de retour (Fig. 7) : $T(z) = \frac{1}{\lambda^2 [1 - G_{PZ}(z)]}$

INTERVALLES DE CONFIANCE

- Convolution sur les "distributions paramétriques équivalentes" des IC pour une approximation rapide des IC sur les niveaux

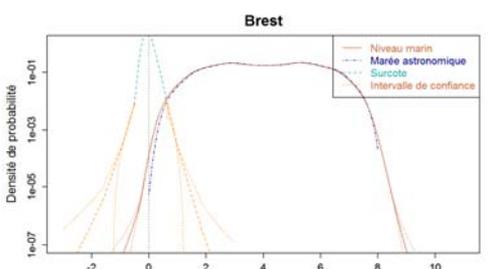


Figure 5 Distributions des valeurs horaires de marée, surcotes, niveaux

LISTE DES NOTATIONS

- S, T, Z : surcote, marée astronomique, niveau marin
- u_p, u_s : seuil physique, seuil statistique
- P^S, P^Z : pic de surcote, pic de niveau marin
- n : nombre total de données régulières dans la série temporelle
- $n_S(u_S)$: nombre de surcotes régulières observées au-dessus de u_s
- d_S, d_Z : nombre moyen de données régulières par événement
- N^S, N^Z : nombre d'événements de surcotes / niveaux (pics)
- F_S, F_Z : distribution des surcotes / niveaux marins
- G_S, G_Z : distribution conditionnelle des surcotes / niveaux marins extrêmes au-dessus d'un seuil
- G_{PZ}, G_{PZ} : distribution conditionnelle des pics de surcotes / niveaux
- λ^2 : nombre moyen d'événements de niveaux par an
- ZH: Zéro Hydrographique

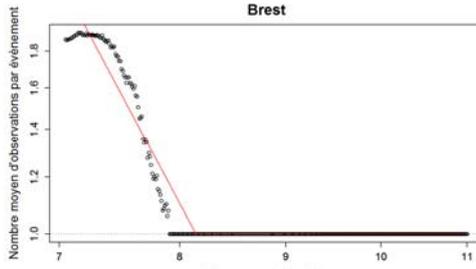


Figure 6 Nombre moyen de niveaux horaires par événement : modèle (rouge), observations (points)

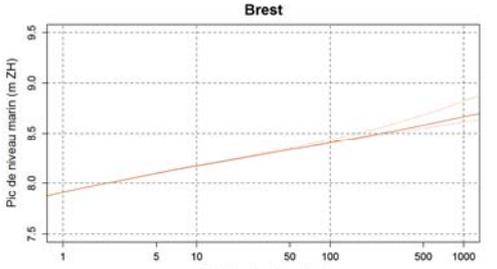


Figure 7 Périodes de retour pour les événements de niveaux marins

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS

- L'incorporation de l'approche par dépassement de seuil (méthode POT pour la sélection des données extrêmes et modèle Poisson-GPD pour l'extrapolation statistique) devrait améliorer la **précision** et la **fiabilité** des estimations de niveaux marins extrêmes
- Intérêt : distinction claire entre **observation régulière** et **événement** (généralement défini par le pic)

- Possibilité d'appliquer cette méthodologie aux **surcotes** et **niveaux de pleine mer**
- Méthode nécessitant des **données de haute qualité sur une longue période** (idéalement un saros : 18,6 ans), disponibles pour peu de sites seulement

PERSPECTIVES

- Application aux sorties de **modélisation numérique** pour travailler sur des séries temporelles continues sur une longue période pour tout site voulu
- Nécessité de prendre en compte la **dépendance** entre surcote et niveau de marée astronomique

References :

- Pugh, D.T., Vassie, J. M., 1979. Extreme sea levels from tide and surge probability. *Proc. 16th Coast. Engng Conf.*, 1978, Hamburg. A. S. of Civil Engineers, Ed., 1, New York, pp. 911-930.
- Tawn, J. A., Vassie, J. M., 1989. Extreme sea levels: the joint probabilities method revisited and revised. *Proc. Instn Civ. Engrs*, Part 2, **87**, pp. 429-442.