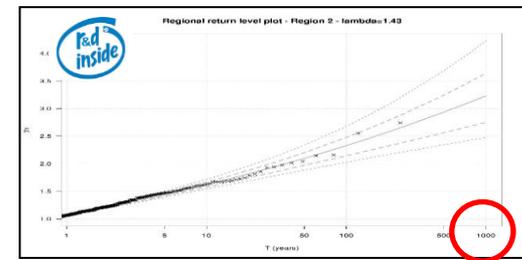
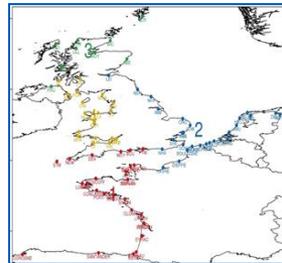
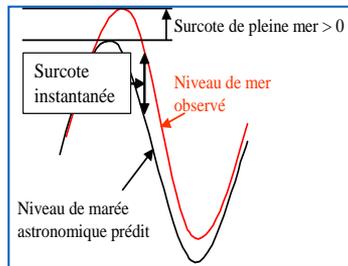


L'ajout des informations historiques dans une analyse régionale des extrêmes de surcotes de pleine mer : la méthode FAB-R&D-LNHE



Workshop GT tempête Mars 2023

Marc Andreevsky, EDF-R&D

Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE)

Plan de la présentation

➤ Introduction à l'analyse régionale

➤ Les données utilisées

➤ Déroulement d'une analyse régionale

Introduction à l'analyse régionale

Les données utilisées dans la méthode régionale FAB

Principes de l'analyse régionale

Tests statistiques pour vérifier l'homogénéité d'une région

Tests physiques pour vérifier l'homogénéité d'une région

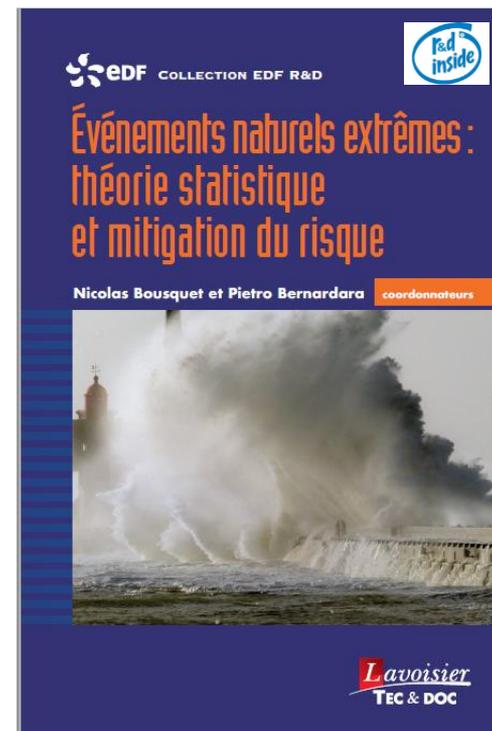
Prise en compte de la dépendance pour le calcul de la durée d'observation

L'ajout des évènements historiques de surcote de pleine mer

Vue d'ensemble d'une analyse régionale FAB

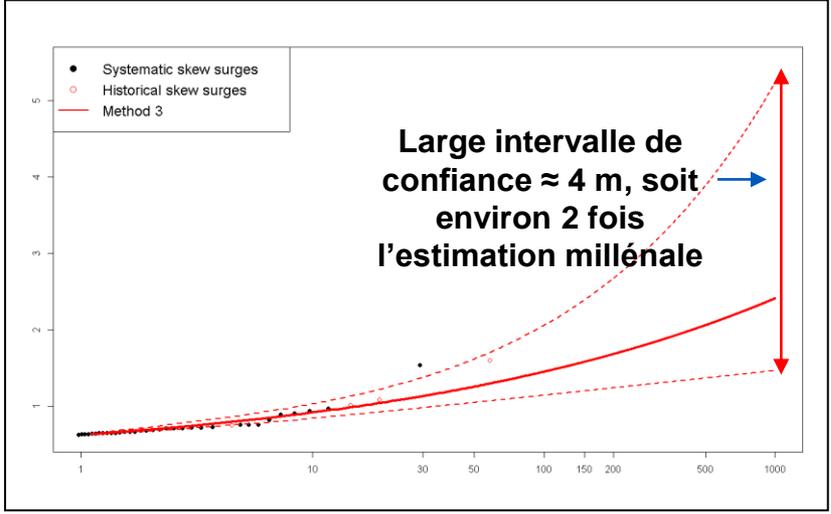
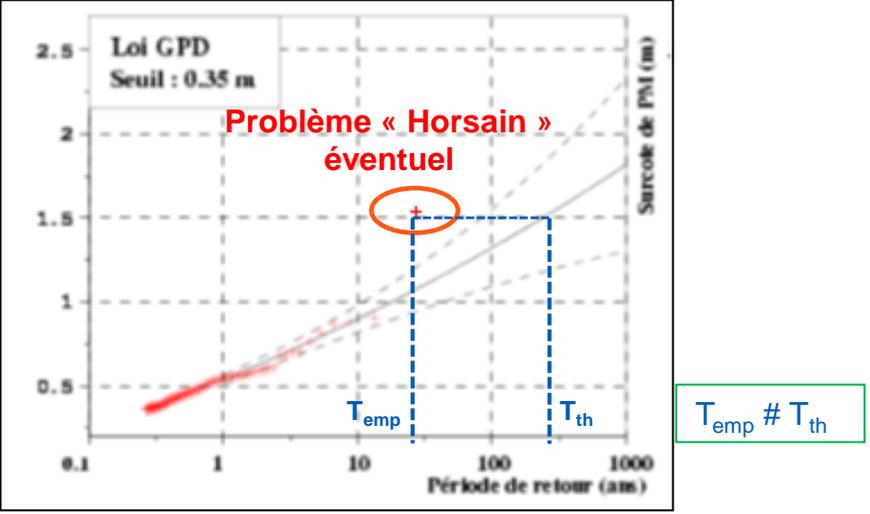
Zoom sur l'ajustement et l'optimisation du seuil

➤ Conclusion



Introduction à l'analyse régionale

Les limites d'une analyse statistique locale (1 seul lieu de mesures) pour la caractérisation des aléas extrêmes



Durée moyenne d'observation pour les surcotes marines par marégraphes ≈ 40 ans et on cherche des Q1000 ...

Introduction à l'analyse régionale

Historique au LNHE du travail sur l'analyse régionale :

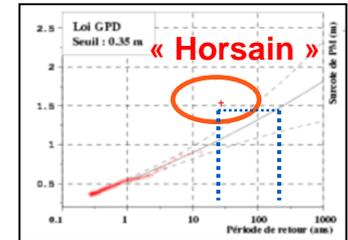
◆ Méthode régionale développée au LNHE depuis 2010 pour trouver la valeur de la surcote millénale SANS horsain avec, entre autre, 2 thèses :

- J.Weiss, 2014 : (travail sur la délimitation de régions homogènes, prise en compte de la dépendance des séries de surcotes extrêmes entre les sites voisins pour le calcul de la période équivalente d'observation, ...)

- R.Frau, 2018 : (ajout et prise en compte de surcotes venant d'archives historiques, définition de 13+2 critères pour le choix du seuil) => **FAB**

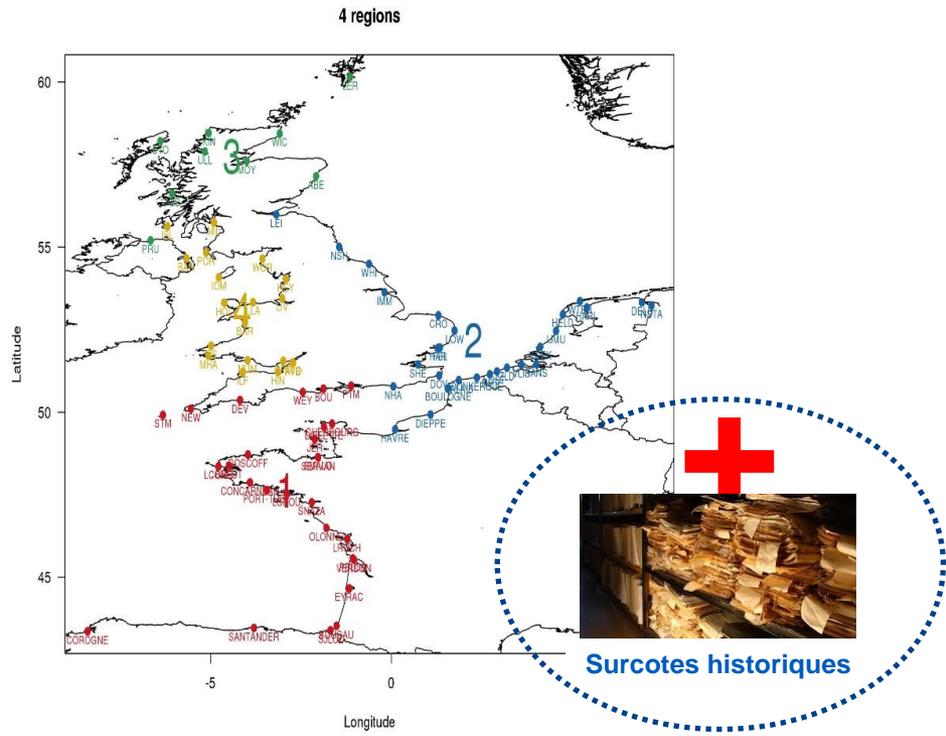
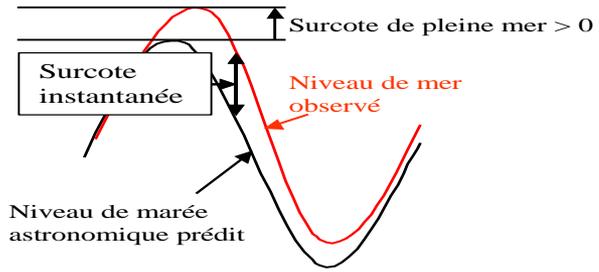
- Et une liste de publications :

- Andreewsky, M., Y. Hamdi, S. Griole, P. Bernardara, R. Frau (2018), Homogenous regions based on a spatial extremogram for regional frequency analysis of extreme skew storm surges, NHESS
- Bernardara, P., M. Andreewsky, and M. Benoit (2011), Application of the Regional Frequency Analysis to the estimation of extreme storm surges, JGR
- Frau Roberto, Marc Andreewsky, Pietro Bernardara (2018), The use of historical information for regional frequency analysis of extreme skew surge, NHESS
- Weiss J., P. Bernardara, and M. Benoit (2014). Modelling intersite dependence for regional frequency analysis of extreme marine events, Water Resources Research
- Weiss J., P. Bernardara, and M. Benoit (2014). Formation of homogeneous regions for regional frequency analysis of extreme significant wave heights, JGR Oceans
- Weiss J. and P. Bernardara (2013). Comparison of local indices for regional frequency analysis with an application to extreme skew surges, Water Resources Research

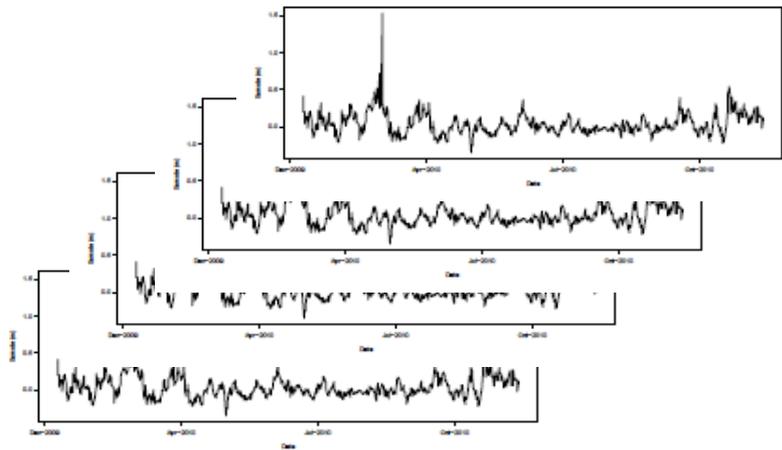


Les données utilisées dans la méthode régionale FAB R&D

D'où sont extraites les surcotes de pleine mer pour la méthode FAB R&D ?



Séries de surcotes de pleine mer extraites de chaque site à partir des mesures marégraphiques, des rétro-prédictions théoriques de marée et de l'eustatisme.



Principes de l'analyse régionale

1) Récolter plus de données à partir d'une région dite « homogène », c'est-à-dire où la distribution de probabilité des surcotes extrêmes est identique en chaque site marégraphique de la région (et ceci lorsque l'on normalise par un indice local les surcotes observés pour chaque site).

2) Pas de trajectoire préférentielle dans une région : chaque extrême observé aurait pu arriver n'importe où dans la région. Les expériences d'extrêmes en 1 site sont utiles pour tous les sites d'une région homogène.

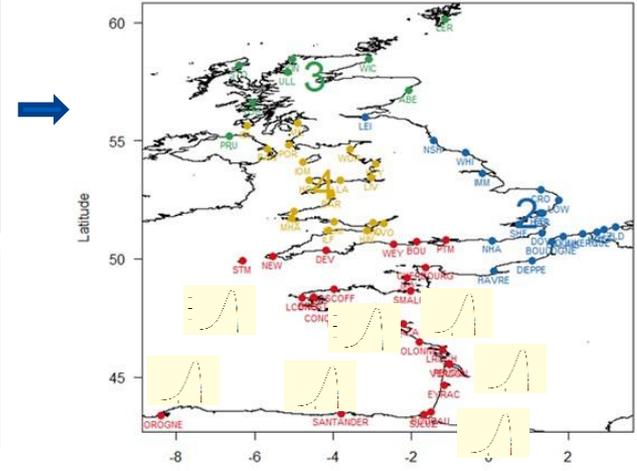


Illustration d'une région homogène en rouge : Les densités de probabilité des surcotes de PM normalisées sont identiques en chaque site marégraphique.



Bretagne ou Grande Bretagne ?

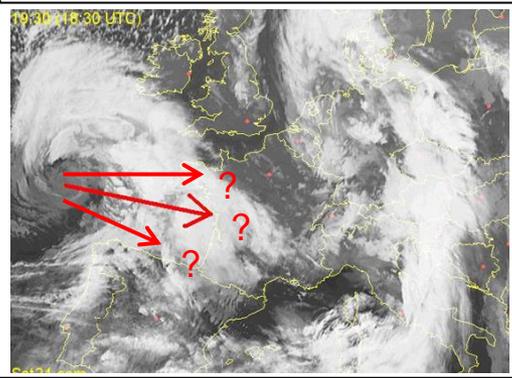
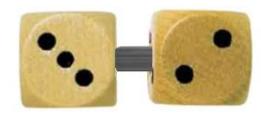


Image satellite de Klaus (2009) avec des trajectoires hypothétiques mais crédibles dans une région.



10 fois un dé ou 1 fois dix dés ?
(Indépendance ?!)

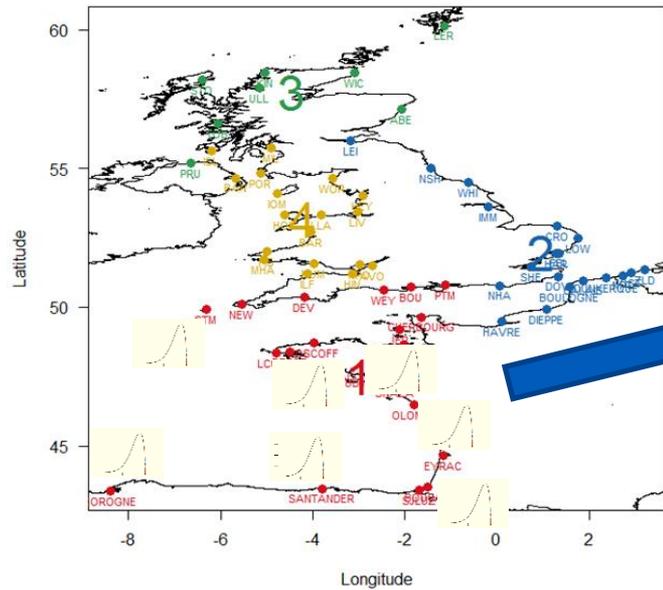
OU



Rem : 1 fois 10 dés : moins d'attente et durée d'observation = 10 fois celle d'1 dé mais attention à la dépendance. On ne cumule pas exactement des « tirages » d'extrêmes indépendant en chaque port.

Tests statistiques pour vérifier l'homogénéité d'une région

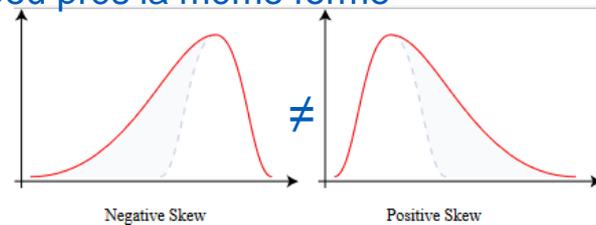
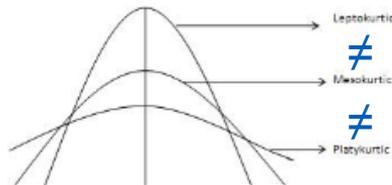
Délimiter des régions homogènes, mais comment ? **L'approche statistique.**



2 tests statistiques utilisés pour vérifier que : \approx \approx

1 : Homogénéité (Hosking and Wallis, 1993) : peu de différence dans la dispersion entre les L-moments des lois locales / L-moments construits à partir d'une loi théorique issue d'une région homogène fictive (construite à partir des données)

2 : Non-discordance (Hosking and Wallis, 1993) : les lois des sites d'une région ont des aplatissements, des dissymétries similaires, bref, à peu près la même forme



Tests physiques pour vérifier l'homogénéité d'une région

Délimiter les régions homogènes à partir en fait d'abord d'une approche physique :

Dans un 1^{er} temps (avant les tests stats) on rassemble dans une même région les sites pour lesquels les extrêmes sont générés par des processus physiques similaires. Les régions sont délimitées grâce une distance entre 2 sites i et j définies par :

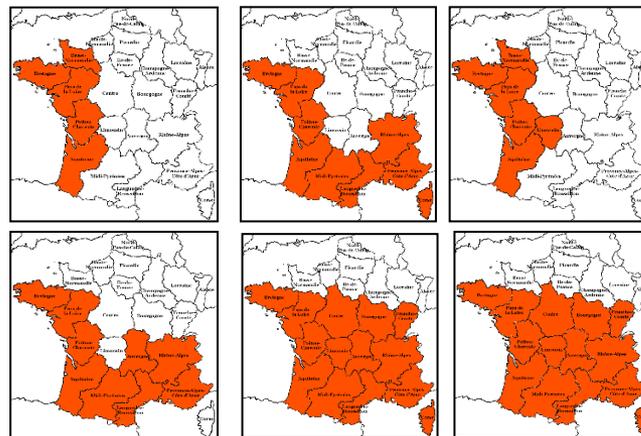
$$d_{ij} = 1 - \text{proba}(i \text{ ET } j \text{ impactés par une tempête}) \text{ Si } (i \text{ OU } j \text{ est impacté par cette tempête}) \quad (\text{Weiss, 2013})$$

d_{ij} chiffre la tendance des sites i et j à réagir de manière similaire aux impacts de tempêtes.

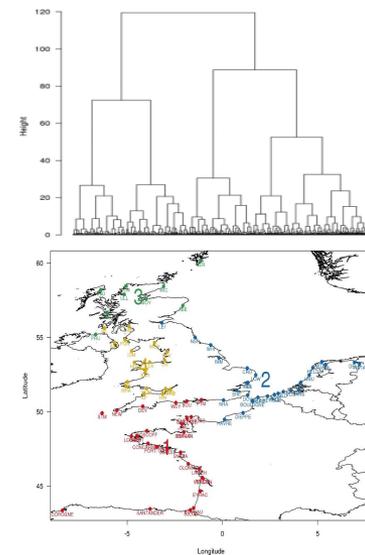
Un classement et regroupement optimal est réalisé avec $d_{ij} \Rightarrow$ une région : un ensemble de sites dont les distances d_{ij} sont petites, c'est ce qu'on peut appeler une empreinte typique des tempêtes. Un évènement extrême a tendance à impacter tous les sites d'une région et a tendance à rester cloisonné dans cette région (tendance = pas toujours = plus ou moins).



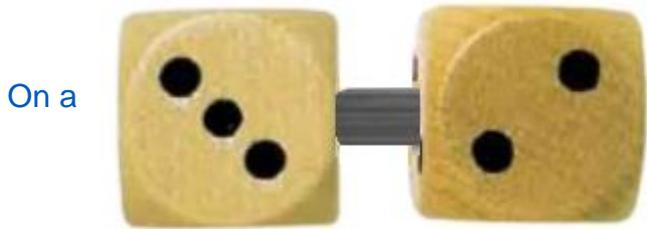
Régions délimitées par l'analyse de l'impact des tempêtes historiques (après étude d'archives historiques), réalisé par I.Haigh, Univ de Southampton.



Impact des tempêtes du 8 au 9 janvier 1924, du 4 octobre 1984, du 12 et 13 septembre 1993, du 7 et 8 février 1996, du 27 et 28 décembre 1999, du 6 et 7 Mars 2017 (site météo France).

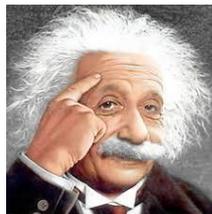


Prise en compte de la dépendance pour le calcul de la durée d'observation



On a

et le lien n'est pas forcément valable systématiquement pour toutes les tempêtes

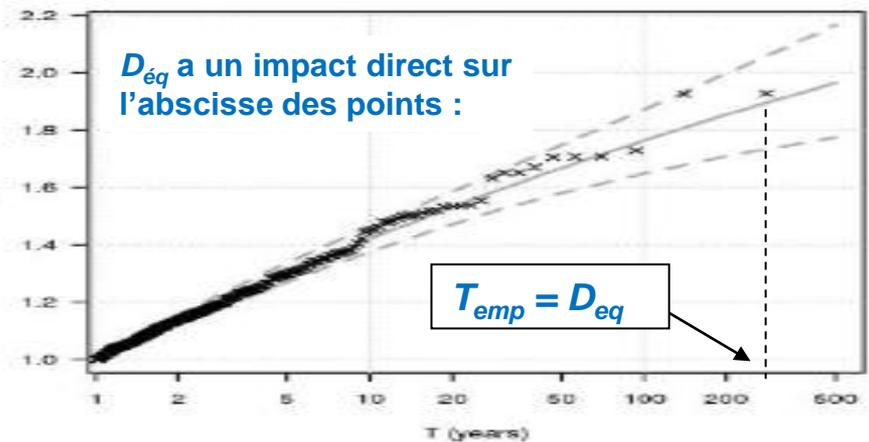


On montre que si β = nombre moyen de sites impactés par chaque tempête de la région alors la durée équivalente d'observation des extrêmes D_{eq}

se calcule par : $D_{eq} = (\sum_{i=1}^N D_i) / \beta$, (Weiss, 2014)

N étant le nombre de site de la région, D_i la durée d'observation d'un site i

Region 3



- Durée d'observation par région avec des données considérées comme homogènes :
- Région des CNPE de Gravelines et Dieppe : un peu moins de 500 ans de durée d'observations homogènes.
 - Région des CNPE de Flamanville et Verdon : un peu plus de 500 ans de durée d'observations homogènes.

L'ajout des évènements historiques de surcote de pleine mer



Météo France et le rapport ONERC 2018 qui citent l'AR5 nous indiquent : **pas de tendance significative** observée en France sur le régime de tempête (ni en fréquence ni en intensité) , voir ici: <http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article197> et ici : [ONERC Rapport 2018 Evenements meteorologiques extremes et CC WEB.pdf \(ecologie.gouv.fr\)](https://www.ecologie.gouv.fr/ONERC-Rapport-2018-Evenements-meteorologiques-extremes-et-CC-WEB.pdf) (p77, Cyclones et tempêtes)

AR6 “11.7.2.1 Observed trends” (ETC, Extra Tropical Cyclone), p1592 (https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf) : « Chapter 2 (Section 2.3.1.4.3) concluded that there is overall **low confidence in recent changes in the total number of ETCs over both hemispheres** and that there is *medium confidence* in a poleward shift of the storm tracks over both hemispheres since the 1980s. **Overall, there is also low confidence in past-century trends in the number and intensity of the strongest ETCs** due to the large interannual and decadal variability (Feser et al., 2015; Reboita et al., 2015; Wang et al., 2016; Varino et al., 2018) and due to temporal and spatial heterogeneities in the number and type of assimilated data in reanalyses, particularly before the satellite era (Krueger et al., 2013; Tilina et al., 2013; Befort et al., 2016; Chang and Yau, 2016; Wang et al., 2016).”



Météo France et ONERC 2018 qui cite l'AR5 pour le futur : « Les projections ne montrent en effet **aucune tendance significative** de long terme sur la fréquence et l'intensité des tempêtes que ce soit à l'horizon 2050 ou 2100»

AR6, “4.5.1.6.3 Storm tracks”, p606: “As stated in AR5, **the number of extratropical cyclones (ETC) composing the storm tracks is projected to weakly decline in future projections**, but by no more than a few percent change.”

Et p607 : “In conclusion, there is only **medium confidence in the projected decrease** in the frequency of intense NH ETCs”

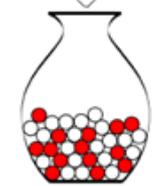
On se sert des remarques ci-dessus pour dire que : le nombre des surcotes extrêmes par an de la période systématique λ_{syst} est égal au nombre d'événements des surcotes historiques par an λ_{hist} :

$\lambda_{\text{syst}} = \lambda_{\text{hist}} = \lambda$ et la durée crédible d'observation se calcule par : $D_{cr} = D_{\text{syst}} + D_{\text{hist}} = \frac{nb_{\text{syst}}}{\lambda_{\text{syst}}} + \frac{nb_{\text{hist}}}{\lambda_{\text{hist}}} = \frac{nb_{\text{syst}} + nb_{\text{hist}}}{\lambda} = \frac{nb_r}{\lambda}$ (Frau, 2018)

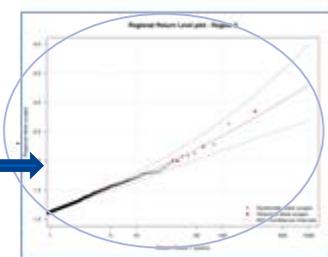
Vue d'ensemble d'une analyse régionale FAB

Tempête 1 Tempête k

$$M_{s1} = \max_i(\text{surge}_i(s1)/\mu_i) \dots M_{sk} = \max_i(\text{surge}_i(sk)/\mu_i)$$



Regional sample of normalized max et indépendents



Calcul des niveaux de retours (T=1000 ans) locaux pour chaque site (par dé-normalisation)

$$Q_{local}(1000) = \text{Indice}_{local} \times Q_{regional}(1000)$$

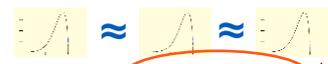
8) Ajustement des maxima normalisés après optimisation du seuil par 13 + 2 critères (Frau, 2018).

- 1) Récolte de données (régulières et historiques), définies parfois par un intervalle.
- 2) Vérification des données les plus extrêmes. Traitement des données (eustatisme).
- 3) Critères physiques, tests stats pour la formation d'une région homogène constituée de N sites.

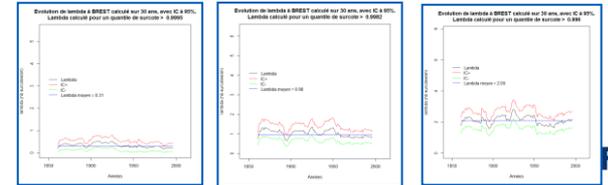
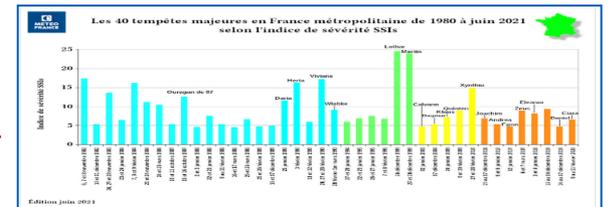


Une région = sites pour lesquels d_{ij} sont petites. C'est l'empreinte typique des tempêtes (Weiss, 2014).

- 4) Extraire le maximum des surcotes normalisées (indice local = seuil), (Weiss, 2014).
- 5) Test KS de verification que F~Fi.



- 6) Vérification de la stationnarité
- 7) Définition d'une durée équivalente d'observation crédible D_{eq} qui prend en compte la dépendance intersites et l'ajout des événements historiques (Frau, 2018).

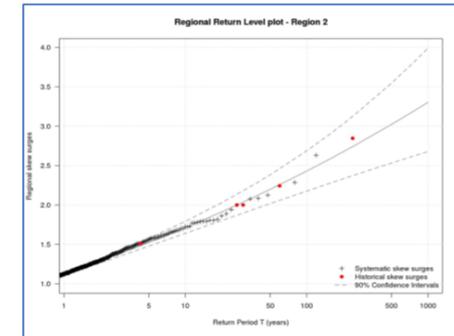


Zoom sur l'ajustement et l'optimisation du seuil

Comment le seuil = $f(\lambda)$ est optimisé ? λ , le nombre de surcote/an au-dessus du seuil est identique pour chaque site de la région.



Même λ en chaque site d'une région. Le seuil en 1 site est fonction du λ régional.



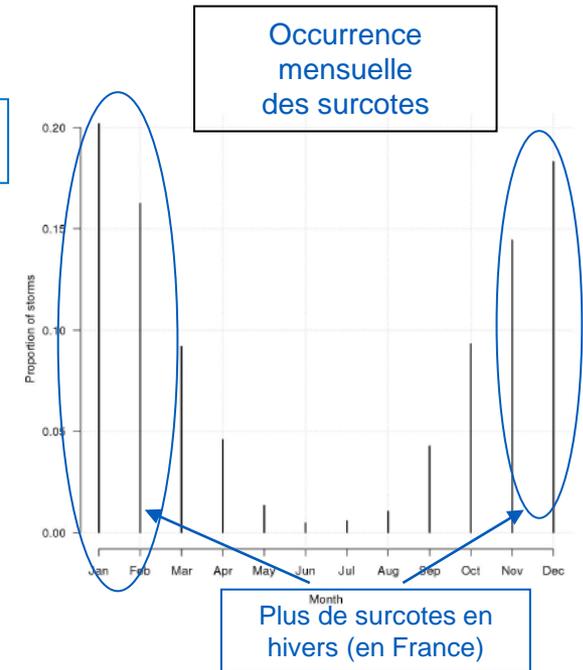
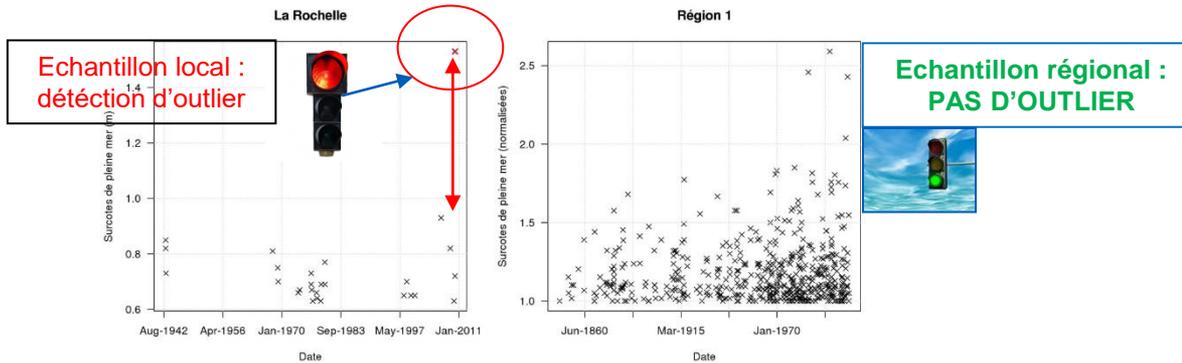
Optimisation du seuil par les 13 critères de (Frau, 2018) + 2 de sureté.

- Test d'homogénéité statistique.
- Test du Khi-deux
- **Test statistique de détection des horsains : pour le λ choisit, l'échantillon régional ne doit pas contenir de horsain.**
- Stabilité du paramètre de forme k de la loi GPD autour de λ .
- Stabilité des niveaux de retours locaux autour de λ .
- Valeur du quantile millennal régionale : plus cette valeur est grande et plus la valeur de λ est pertinente. **Ce critère fait partie des critères dit « de sureté ».**
- Stabilité de la durée régionale crédible autour de λ .
- Allure visuelle de l'ajustement : la valeur la plus haute doit se rapprocher le plus de la loi régionale. Les horsains visuels ont alors tendance à être éliminé (mais c'est le test statistique de horsanité qui est le plus important). **Ce critère fait partie des critères dit « de sureté ».**
- Nombre de donnée de l'échantillon assez grand.
- Test de stationnarité.
- Stabilité du degré de dépendance des données régionales autour de λ .
- Stabilité des niveaux de retours locaux dans les intervalles de confiance associés à λ .
- Stabilité des durées régionales crédibles dans les intervalles de confiance associés à λ .
- Stabilité du degré de dépendance dans les intervalles de confiance associés à λ .
- Stabilité du paramètre de forme k de la loi GPD dans les intervalles de confiance associés à λ .

Conclusion 1/2

L'analyse régionale FAB permet :

- Augmentation de la taille de l'échantillon homogène et de la durée équivalente d'observations homogènes => Robustesse, IC plus petits.
- Meilleure prise en compte des horsains (Weiss, 2014) (Frau, 2018).

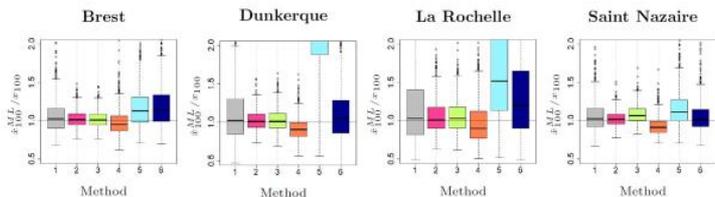


- Possibilité de prendre en compte les effets saisonniers (Weiss, 2014), les directions, ..
- Possibilité d'ajouter des événements historiques extrêmes, avec un surplus de durée d'observation « crédible » (durée petite) (Frau, 2018).
- Les surcotes historiques peuvent être définies par une valeur ponctuelle, un intervalle ou une borne inférieure (Frau, 2018).



Conclusion 2/2 : notre méthode a été citée par (Saint-Criq, 2022), mais ...

Précision du quantile centennal estimé avec le maximum de vraisemblance



- La méthode naïve (4) sous-estime systématiquement x_{100} car sous-échantillonnage des surcotes de PM historiques
- La méthode FAB (5) sur-estime systématiquement x_{100}
- La méthode FAB modifiée (6) ne permet pas totalement de corriger le biais de la méthode (5)
- La méthode proposée se rapproche de la méthode idéale !

(Saint-Criq, 2022)

IRSN

Laurie Saint-Criq - 28/03/2022 9

Slide de présentation de Laurie Saint-Criq au GT indiquant que la méthode PARTIELLE-FAB-LSC (notée FAB ici) « surestime systématiquement » le quantile centennal (x_{100}). La méthode PARTIELLE-FAB-LSC est donc conservative.

Différences entre les méthodes

	Caractéristiques	FAB-R&D-LNHE	Partielle-FAB-LSC
1	Méthode	Régionale fréquentielle	Locale bayésienne
2	Durée d'observation	Plusieurs siècles	Très inférieure à FAB = à celle d'une analyse locale
3	Intervalle de confiance	Petit	Grand
4	Seuil	13 critères	1 critère
5	Critère de sureté sur le seuil	2 critères	0
6	Horsain	Aucun horsain	Question pas évoquée. Présence de horsains dans (Saint-Criq, 2022)

Seul point commun

Petite durée d'observation supplémentaire associée aux évènements historiques : $d_{hist} = nb_{hist} / \lambda$

Références

Andreewsky, M., Y. Hamdi, S. Griolet, P. Bernardara, R. Frau (2018), Homogenous regions based on a spatial extremogram for regional frequency analysis of extreme skew storm surges, JCR (NHESS).



Bernardara, P., M. Andreewsky, and M. Benoit (2011), Application of the Regional Frequency Analysis to the estimation of extreme storm surges, Journal of Geophysical Research, 116, C02008.



Frau Roberto, Marc Andreewsky, Pietro Bernardara (2018), The use of historical information for regional frequency analysis of extreme skew surge, NHESS.



Frau R. (2018), thèse, « Utilisation des données historiques dans l'analyse régionale des aléas maritimes extrêmes : la méthode FAB »



Weiss J. (2014), thèse, « Analyse régionale des aléas maritimes extrêmes ».



Weiss J., P. Bernardara, and M. Benoit (2014). Modelling intersite dependence for regional frequency analysis of extreme marine events, Water Resources Research, 50



Weiss J., P. Bernardara, and M. Benoit (2014). Formation of homogeneous regions for regional frequency analysis of extreme significant wave heights, Journal of Geophysical Research Oceans, 119, 2906-2922



Weiss J. and P. Bernardara (2013). Comparison of local indices for regional frequency analysis with an application to extreme skew surges, Water Resources Research, 49, 1-12



Merci !

