



# Etude EDF R&D des risques inondation des centrales de bord de mer.

Focus sur le calcul des surcotes de période de retour 1000 ans par l'analyse régionale

Marc Andreevsky

Département EDF-R&D-LNHE

(Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement)

COLLOQUE BRGM, 13-15 novembre 2023 : approches statistiques pour les problématiques en zones côtières





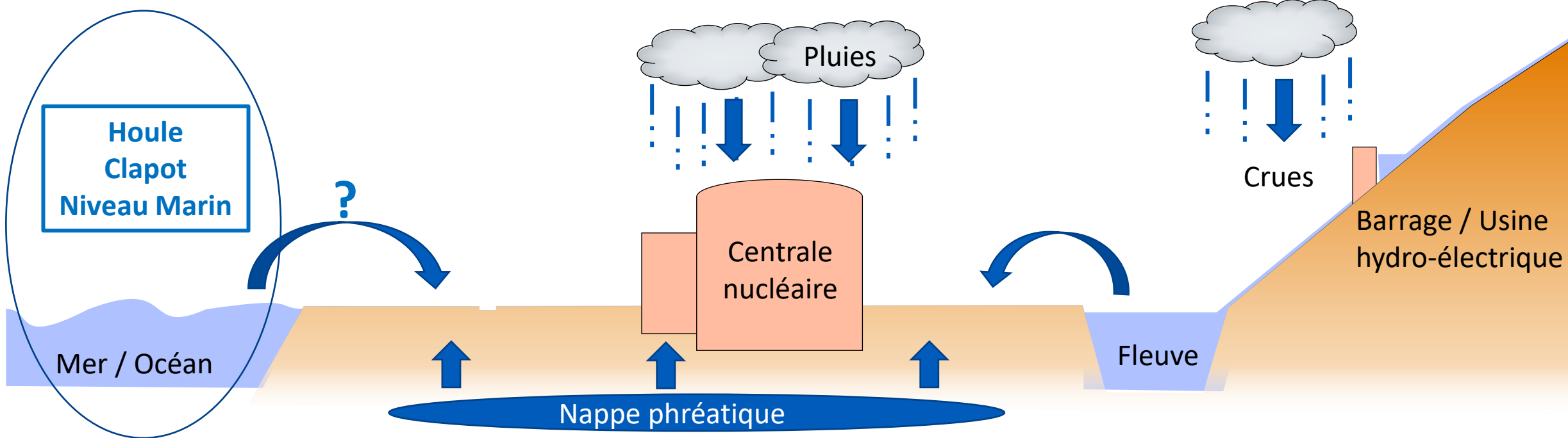
# SOMMAIRE

- 1.** Les situations à risque
- 2.** Les phénomènes étudiés et/ou pris en compte
- 3.** Caractéristiques de la tempête de dimensionnement selon le guide ASN 13
- 4.** La marge pour les études EPR2
- 5.** Simulations des tempêtes dimensionnantes
- 6.** Focus sur le calcul des surcotes de pleine mer de période de retour 1000 ans par l'analyse statistique régionale (méthode FAB)
- 7.** Historique, données, principes, homogénéité, dépendance, ajout des surcotes historiques, seuil
- 8.** Conclusion

*Etude EDF R&D des risques inondation des centrales de bord de mer.*

*Focus sur le calcul des surcotes de période de retour 1000 ans par l'analyse régionale*

# Les situations à risque

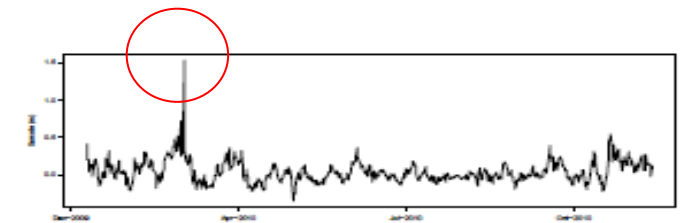
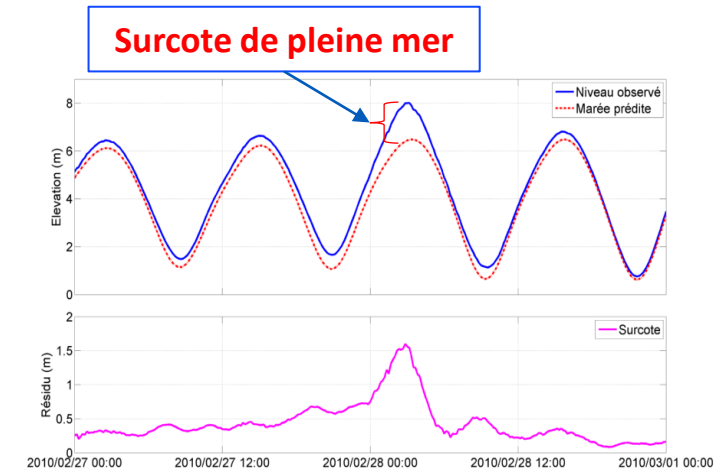


# Les phénomènes étudiés et/ou pris en compte pour les inondations

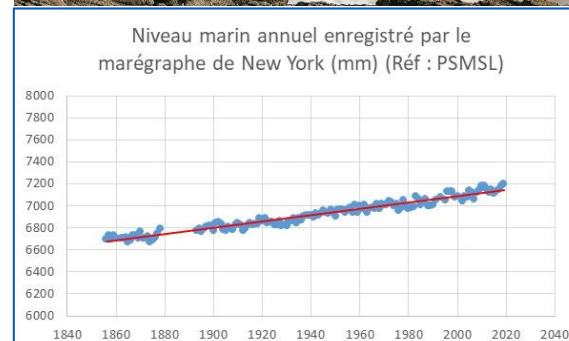
- **Surcotes marines de pleine mer** : borne supérieure à 70% de l'intervalle de confiance du quantile de période de retour 1000 ans.
- **Vitesse du vent** : borne supérieure à 70% du vent centennal (ou bicentennal). => engendre éventuellement un clapot.
- **Hauteur de houle** : borne supérieure à 70% de la hauteur significative de la houle centennale.

Autres :

- Evolution du niveau moyen de la mer.
- Tsunami ? Pas pour la France.



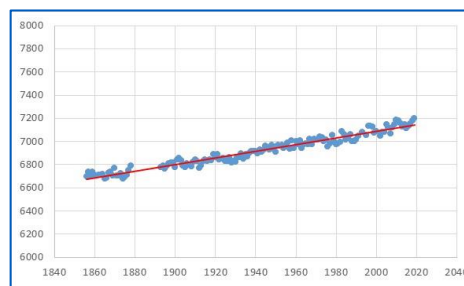
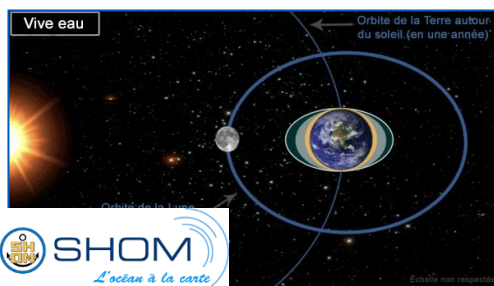
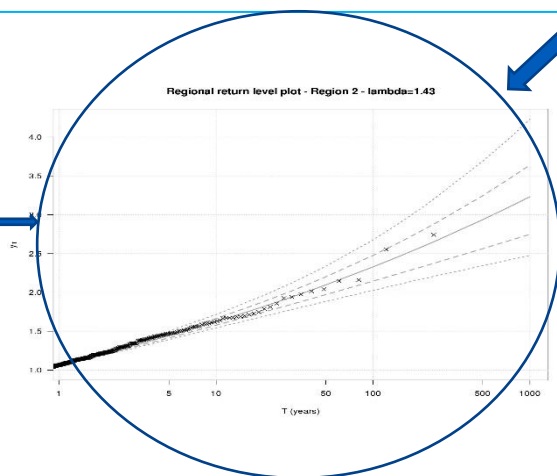
Surcote à la Rochelle, Tempête Xynthia, Mars 2010



# Caractéristiques de la tempête de dimensionnement selon le guide ASN 13

Niveau de pleine mer de dimensionnement =  $BS_{70\%}(Q1000) + PHMA + \text{Marge}$  = f( évolution du niveau moyen de la mer sur 10 ans (entre 2 réexamens) )

Partie aléatoire du niveau de dimensionnement : focus sur ce point dans 4 slides !



+  
Borne sup à 70% du **vent** centennal (ou bi-centennal) pour le clapot



+  
Borne sup à 70% de la **houle** significative centennale au large

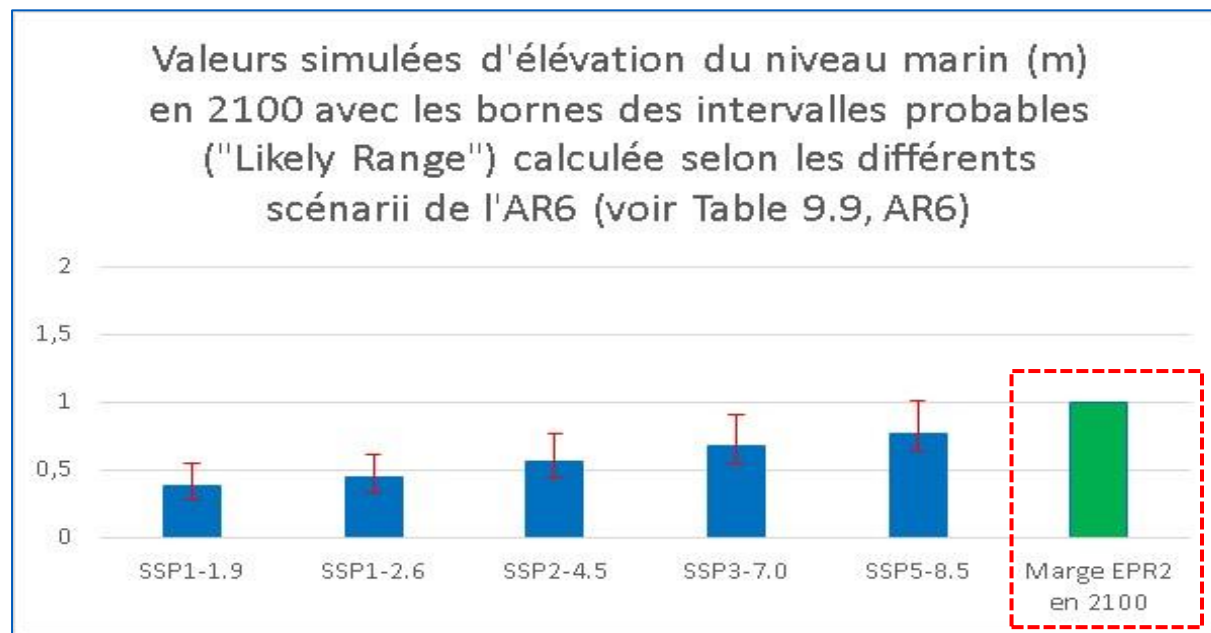


+  
**Durée** de la tempête : 6h en suivant le limnigramme autour de la pleine mer (surcote constante) ou 2h à niveau de mer constant (durée + hypothèse de niveau marin conservative).

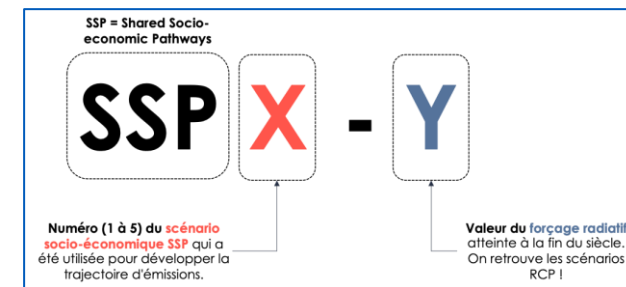


# La marge pour les études EPR2 (1/2)

Cette **marge** « EPR2 » sur l'évolution du niveau marin en 2100 est différente que celle prise en compte entre 2 réexamens :



Projection en 2100 du niveau marin global (par rapport à la réf de 1995 à 2014) selon différents scénarii et selon la [section 9.6.3.3](#); [table 9.9](#), p1302 de l'AR6.



# La marge pour les études EPR2 (2/2) : est-elle conservatrice ?

1.6.1.4 « The Likelihood of Reference Scenarios, Scenario Uncertainty and Storylines », p238 de l'AR6 WG1, nous indique (extrait traduit) concernant le scénario défavorable RCP8.5 que : « la vraisemblance de scénarii d'émissions élevées tels que RCP8.5 ou SSP5-8.5 est considérée comme faible » à la lumière des récents développements dans le secteur de l'énergie (Hausfather et Peters, 2020a, 2020b). Les études qui envisagent les tendances futures des émissions possibles en l'absence de politiques climatiques supplémentaires, telles que le récent World Energy Outlook de l'AIE 2020 « stated policy » (Agence internationale de l'énergie, 2020), projettent des émissions de CO2 fossiles et industrielles à peu près constantes jusqu'en 2070, approximativement en accord avec les scénarios moyens RCP4.5, RCP6.0 et SSP2-4.5 (Hausfather et Peters, 2020b) ... ».

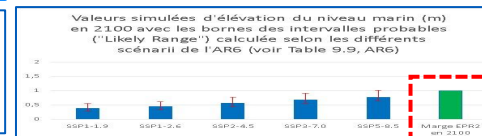
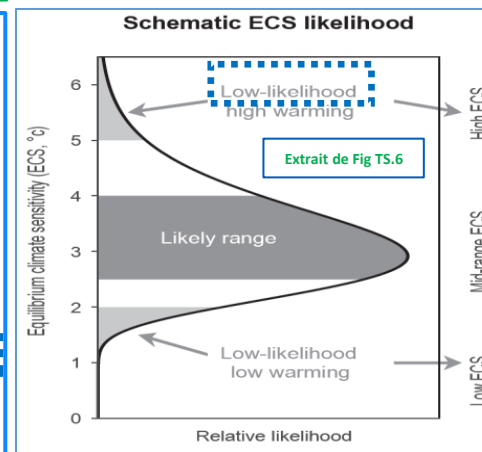
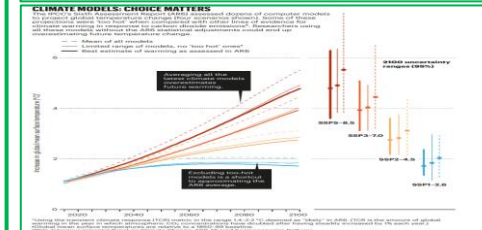
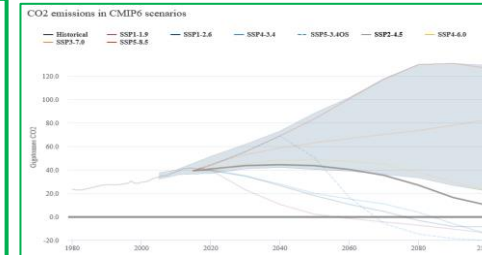
Section 4.2.1 « Models, Model Intercomparison Projects, and Ensemble Methodologies », p562 de l'AR6 (WG1) (extrait traduit) : « L'occurrence des scénarii à haute émission RCP8.5 ou SSP5-8.5 a récemment été jugé peu plausible » par exemple, Hausfather et Peters, 2020 ; voir le chapitre 3 de l'AR6 WGIII). ».

« Box 3.3 », p317 de AR6 WG3 : « Il est important de comprendre que les scénarii RCP8.5 ou SSP5-8.5 ne représentent pas un futur du type « business-as-usual » ».

Section TS.3.2.1 « Equilibrium Climate Sensitivity, Transient Climate Response, and Transient Climate Response to Cumulative Carbon-dioxide Emissions », p93 de l'AR6, nous indique (l'extrait est traduit) : « en moyenne, les modèles CMIP6 ont des valeurs ECS et TCR moyennes plus élevées que la génération de modèles CMIP5. Ils ont également des valeurs moyennes plus élevées et des écarts plus larges que les meilleures estimations évaluées [et indiqué dans l'AR6] et ainsi que les fourchettes très probables indiquées dans l'AR6 ... Les plages ECS et TCR plus larges des modèles CMIP6 conduisent également les modèles à projeter une plage de réchauffement futur plus large que la plage de réchauffement évaluée dans l'AR6 qui est basée sur plusieurs sources de données [et donc plus probable]. ».

En accord avec (Hausfather et al., Nature 2022) : « Climate simulations: recognize the 'hot model' problem ». Extrait traduit : « De nombreuses études ont montré que ces modèles à haute sensibilité [ECS et TCR élevés] reproduisent mal les températures historiques au fil du temps ainsi que les climats passés lointains. » => Ces modèles projettent en 2100 des températures hautes (cf AR6 section 7.5.6) avec des conséquences sur les niveaux marins peu vraisemblables. Cela concerne environ 25% des modèles.

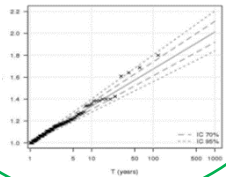
La marge EPR2 semble conservatrice et de toute façon, on se tient au courant des progrès sur les connaissances concernant l'évolution du niveau marin moyen.



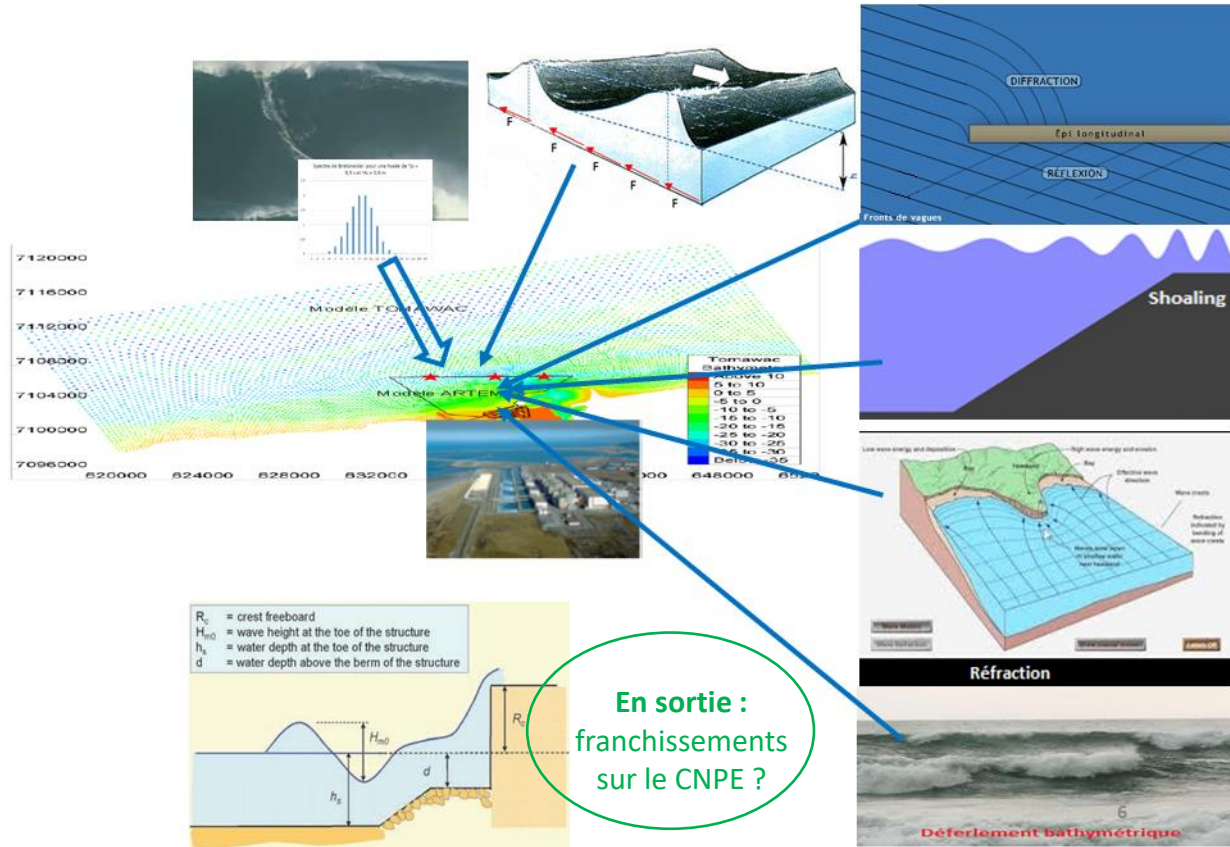
# Simulations des tempêtes dimensionnantes

## • Simulations numériques

En entrée :  
données venant  
des statistiques



## • Simulations avec un modèle réduit



En sortie :  
franchissements  
sur le CNPE ?

Différents phénomènes  
physiques à modéliser

## • Plusieurs tests effectués :

Plusieurs **directions de vague** ou **clapot** testées et **plusieurs directions d'impact** près des protections, interaction houle et clapot ou houle seule, **plusieurs coefficients de frottements** testés, **plusieurs modèles de déferlement** testés (plusieurs formules Eurotop (à l'état de l'art) testées). Parfois la direction de vent prise en compte est très peu plausible mais néanmoins testée.

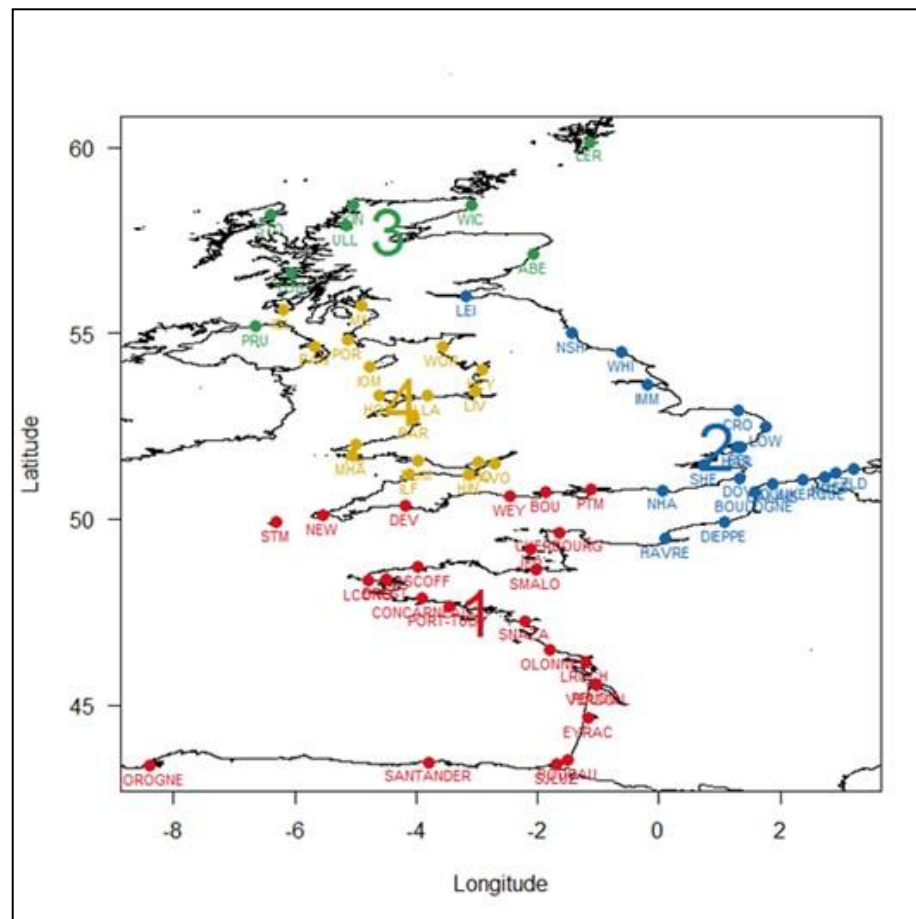
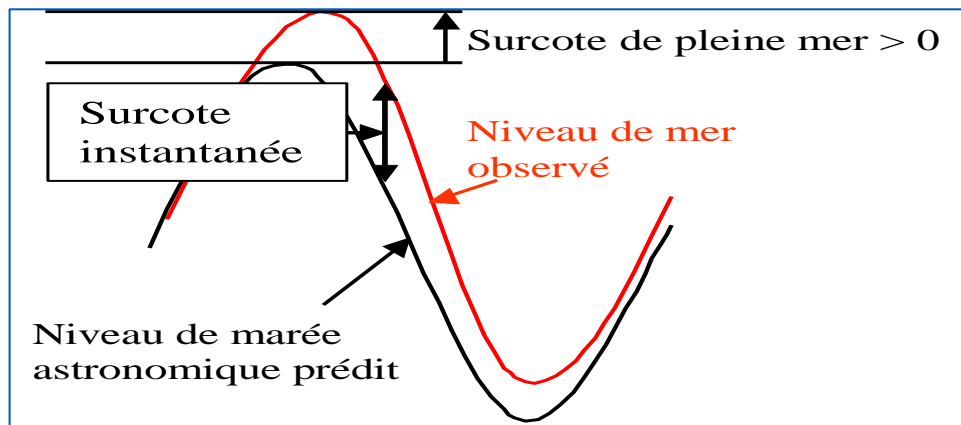
=> Le **max** est systématiquement retenu.

## • Prise en compte du vent dans les franchissements :

**Débits x 2** (valeur enveloppe) pour le dimensionnement.

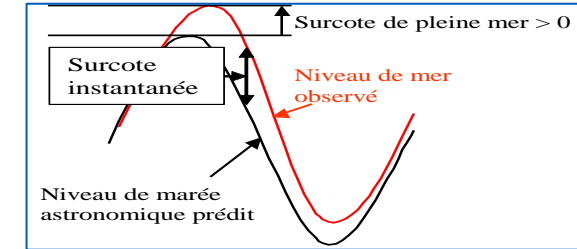


# Focus sur le calcul des surcotes de pleine mer de période de retour 1000 ans par l'analyse statistique régionale (méthode FAB)

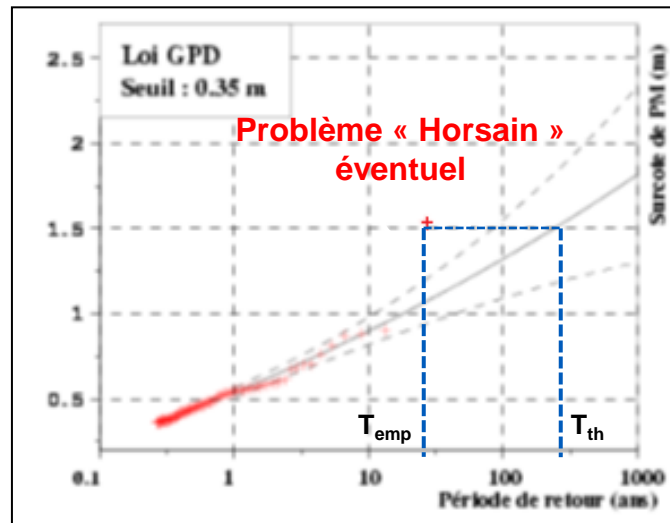


# Focus sur le calcul des surcotes de pleine mer de période de retour 1000 ans par l'analyse statistique régionale (méthode FAB)

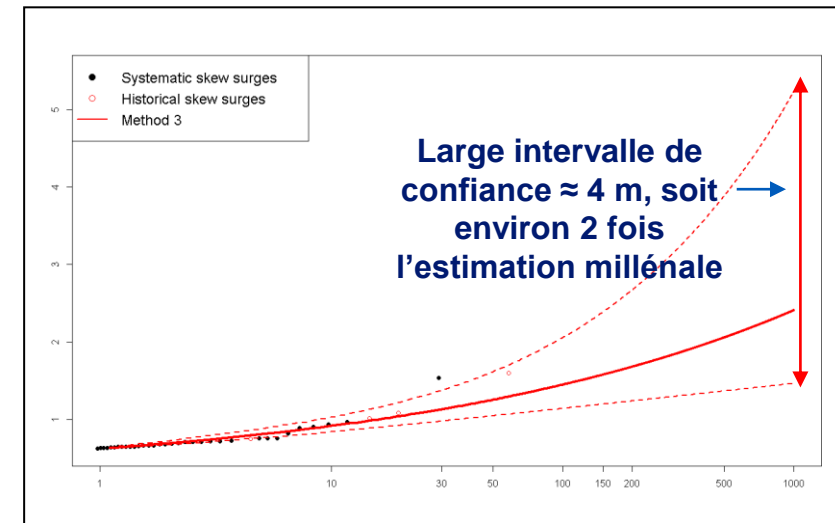
Pourquoi se lancer dans l'analyse régionale des surcotes extrêmes ?



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



$T_{emp} \neq T_{th}$

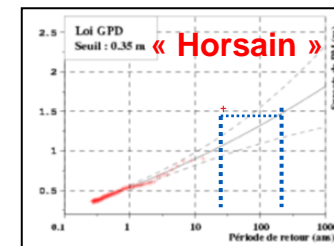


Durée moyenne d'observation pour les surcotes marines par marégraphes  $\approx 40$  ans et on cherche des quantiles 1000 ans ...

# Historique au LNHE du travail sur l'analyse régionale

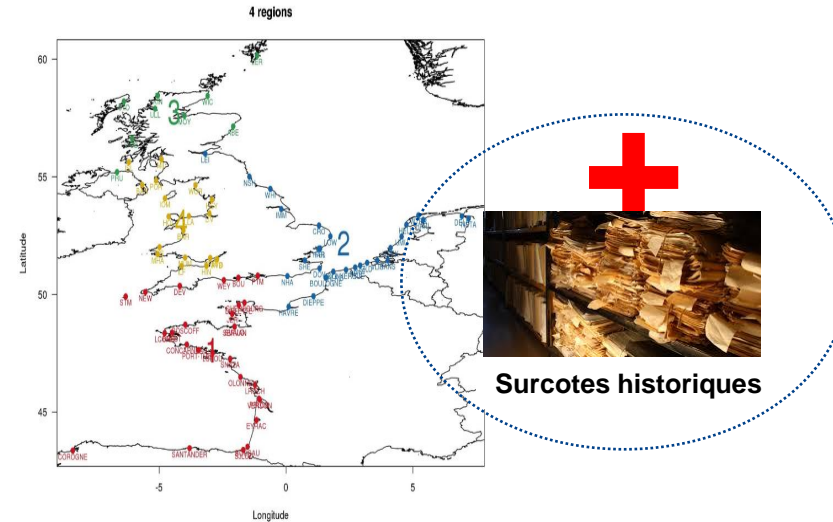
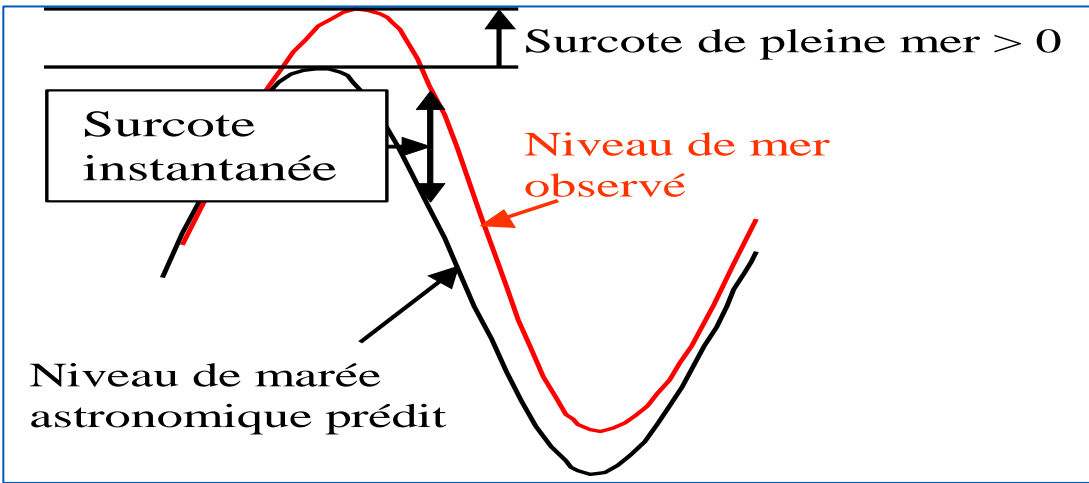
Méthode régionale développée au LNHE depuis 2010 pour trouver la valeur de la surcote millénaire SANS horsain avec, entre autres, 2 thèses :

- 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. Griolet, 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

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



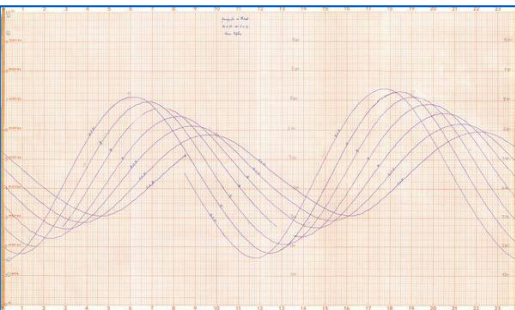
Séries de surcotes de pleines mers extraites de chaque site à partir des mesures marégraphiques, des rétro-prédictions théoriques de marée et de l'eustatisme :

Marégrammes

Rétro-prédictions (mtd SHOM)

Eustatisme (mtd PSMSL)

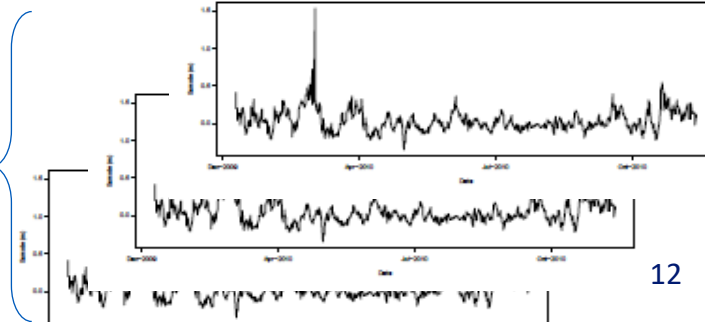
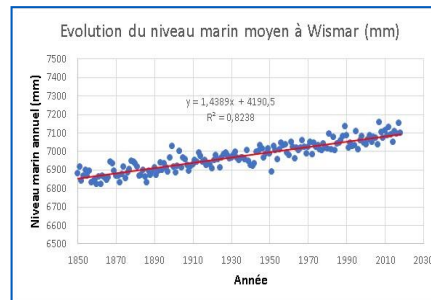
Séries de surcotes de pleine mer



Fourier Transform

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

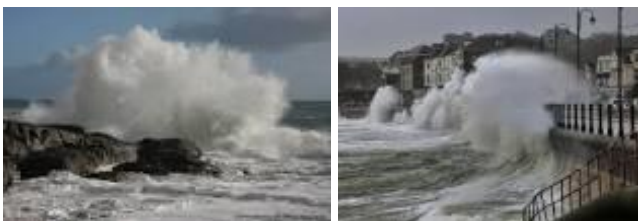
+ sélection des cte harmoniques



# 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.



Bretagne ou Grande Bretagne ?

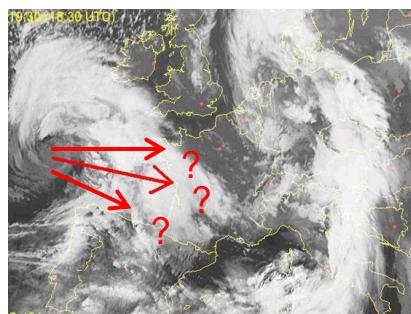
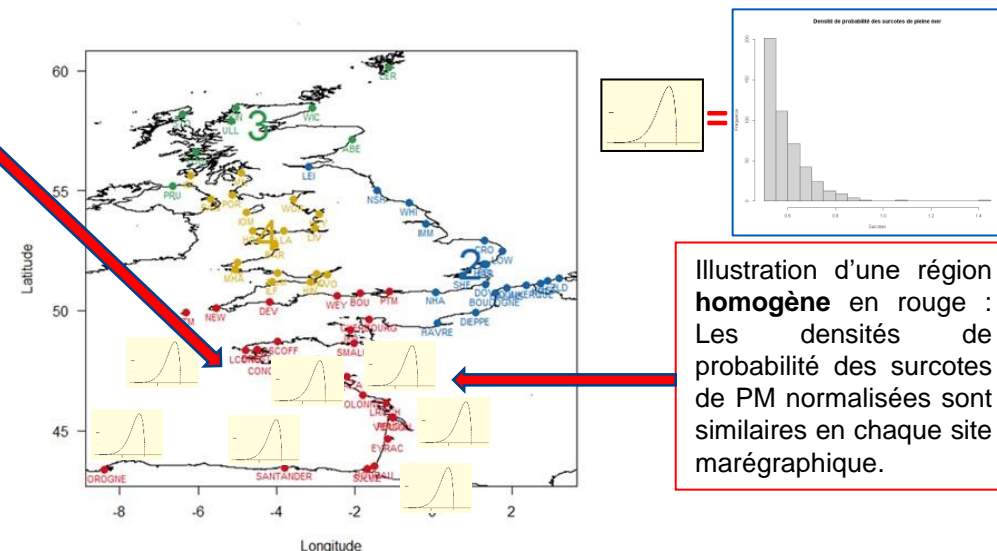


Image satellite de Klaus (2009) avec des trajectoires hypothétiques mais crédibles dans une région.



## Analogie avec des dés

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



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 indépendants en chaque port.

# Délimiter des régions homogènes, mais comment ? 1/2

## D'abord l'approche physique

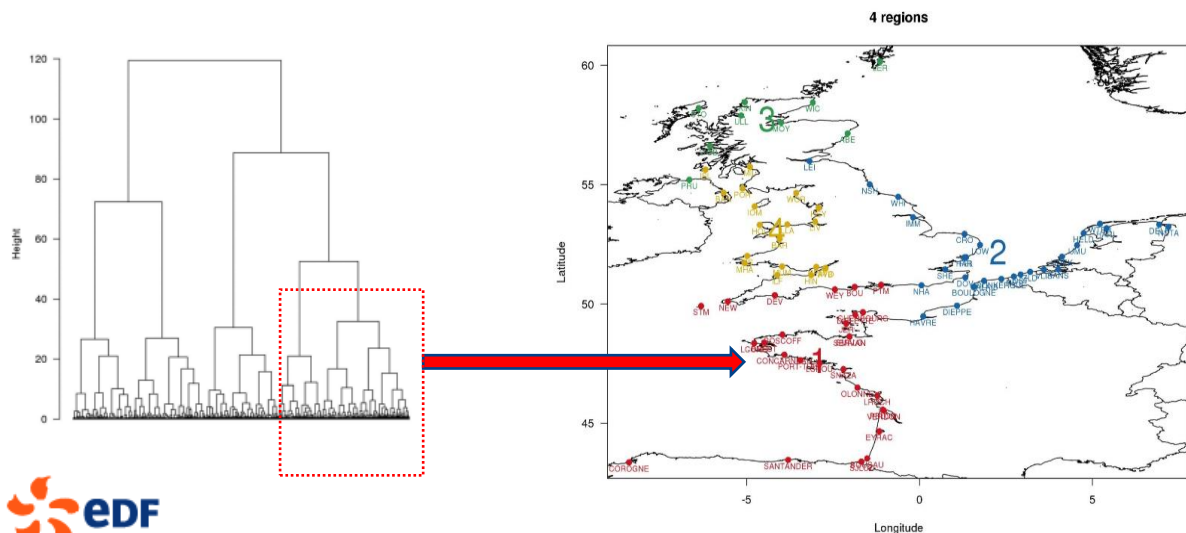
La région est dite **physiquement homogène** si l'on peut considérer que les extrêmes sont issus de **processus physiques similaires**.

Dans un 1<sup>er</sup> temps 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 :

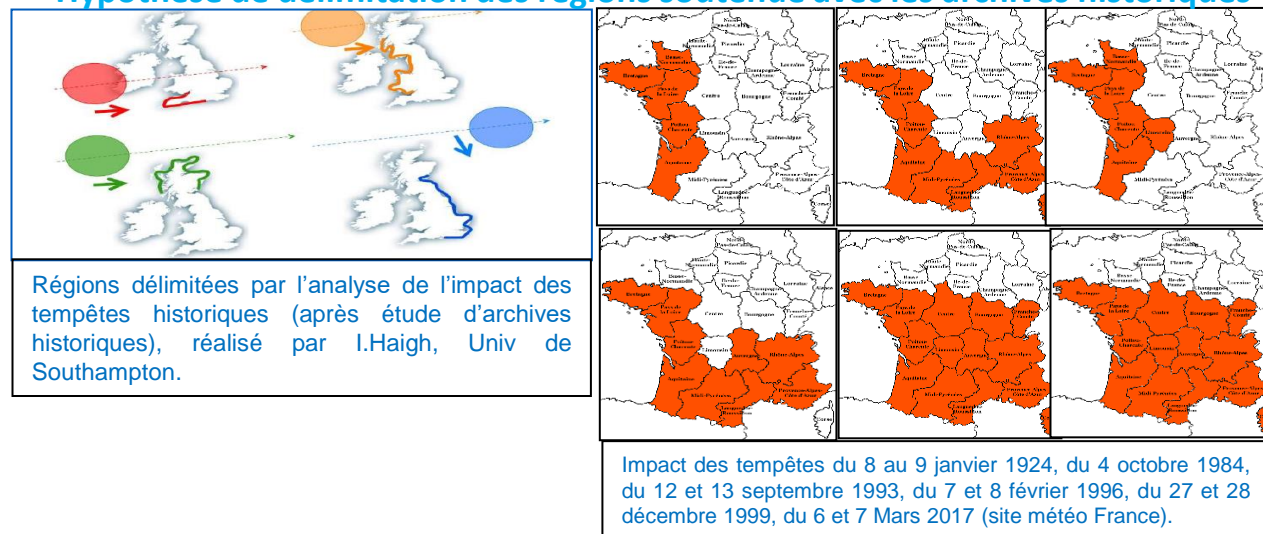
$$d_{ij} = 1 - \text{proba} [ (\text{Site}_i \text{ ET } \text{Site}_j \text{ impactés par une tempête}) \text{ si } (\text{Site}_i \text{ OU } \text{Site}_j \text{ est impacté par cette tempête}) ] \quad (\text{Weiss, 2013})$$

$d_{ij}$  chiffre la tendance des sites  $i$  et  $j$  à réagir de manière similaire aux impacts de tempêtes (impacté = 1 surcote extrême est enregistrée au site  $i$ ).

Un classement et regroupement optimal est réalisé avec  $d_{ij}$  : **une région = un ensemble de sites dont les distances  $d_{ij}$  sont petites**, c'est ce qu'on peut appeler l'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).

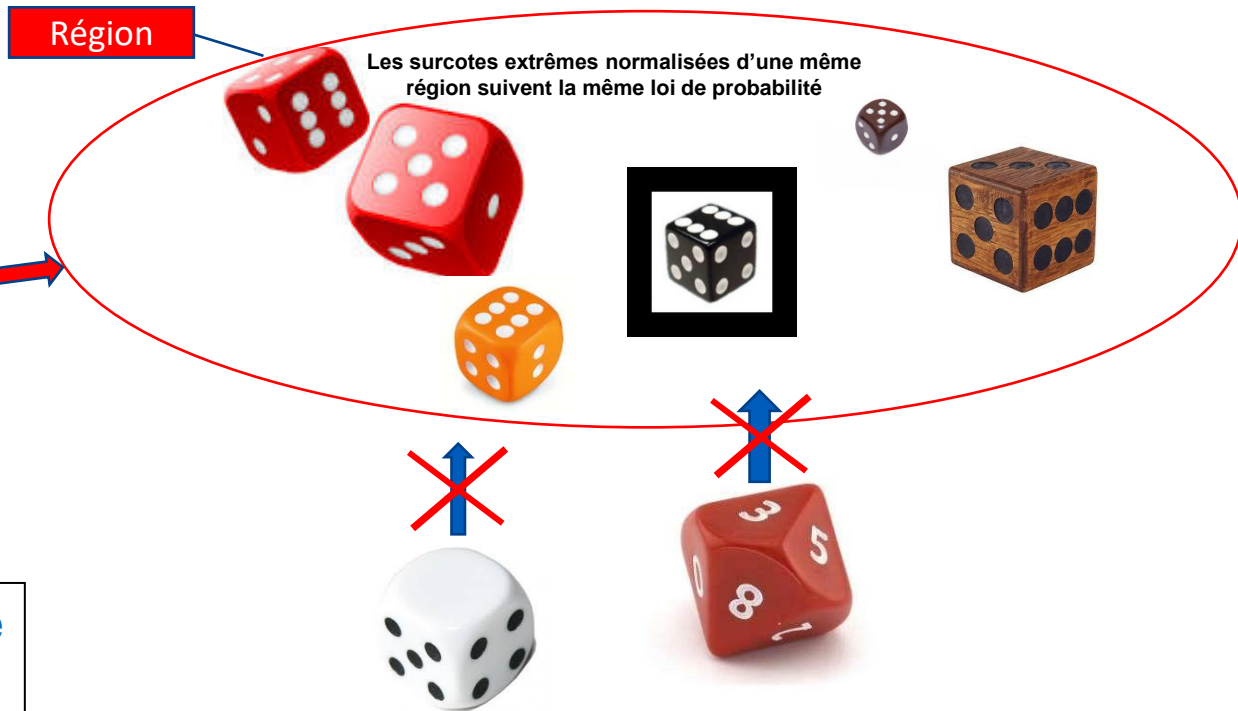
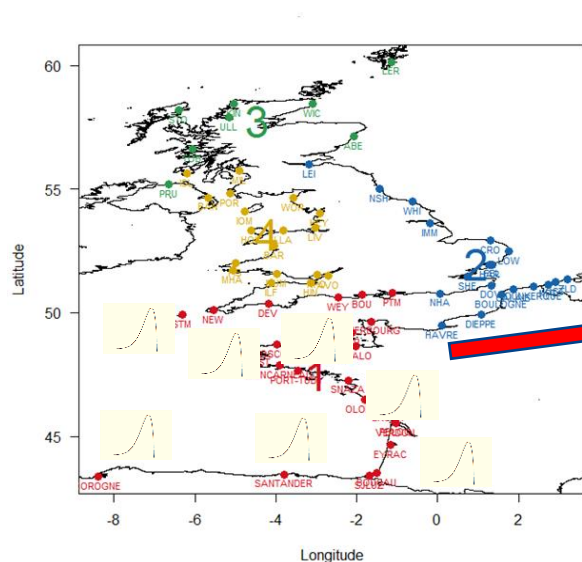


### Hypothèse de délimitation des régions soutenue avec les archives historiques



# Délimiter des régions homogènes, mais comment ? 2/2

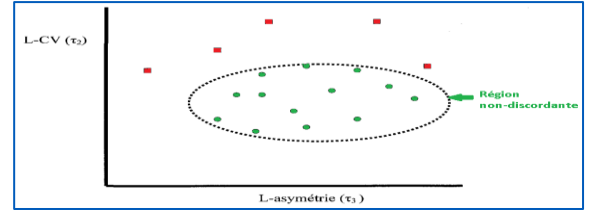
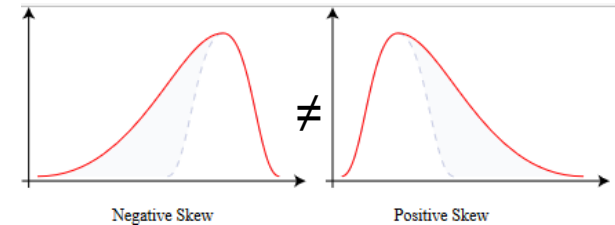
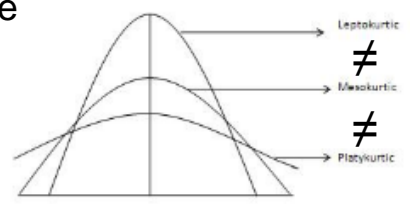
## Puis l'approche statistique



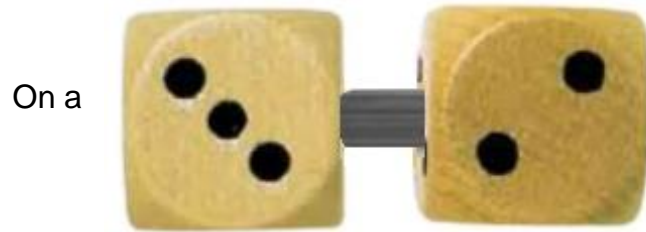
2 tests statistiques utilisés pour vérifier sur les surcotes de pleines mers normalisées que :

**1 : Homogénéité** (Hosking and Wallis, 1993) : peu de différence dans la dispersion entre les L-moments ratio des lois locales / L-moments ratio 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, des dispersions similaires, bref, à peu près la même forme

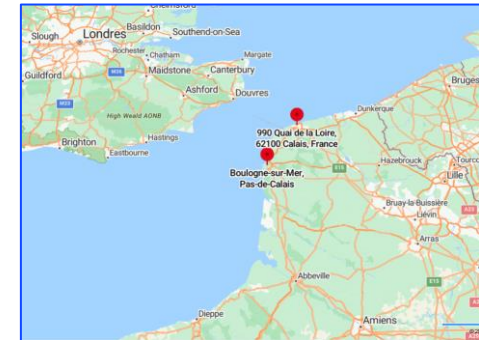


# Prise en compte de la dépendance entre sites pour le calcul de la durée d'observation



On a

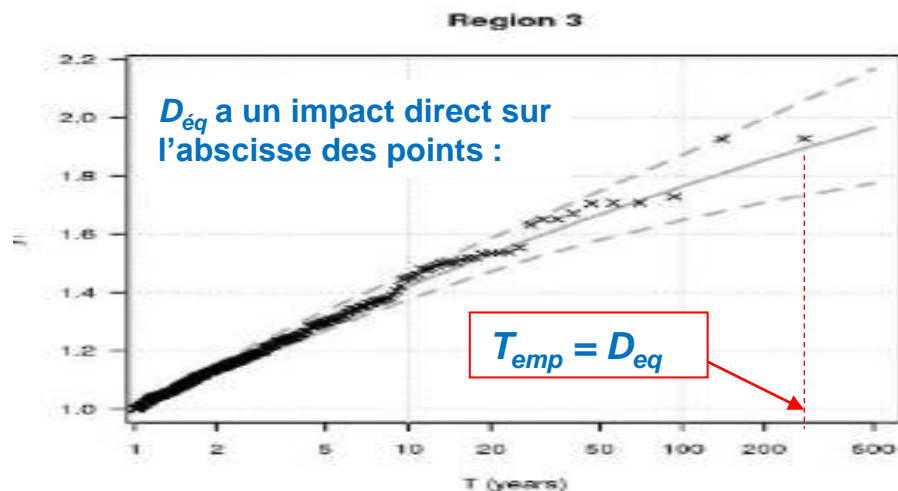
et le lien n'est pas forcément valable systématiquement pour toutes les tempêtes



On montre que si  $\beta$  = nombre moyen de sites impactés par tempête dans la région alors **la durée équivalente d'observation des extrêmes  $D_{eq}$  se calcule par (Weiss, 2014) :**



$D_{eq} = \sum_{i=1}^N D_i / \beta$  où N est le nombre de site de la région homogène et  $D_i$  la durée d'observation du site i



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.

Et le calcul de  $D_i$  ?



# Durée d'observation associée aux 2 périodes : la période systématique et la période historique

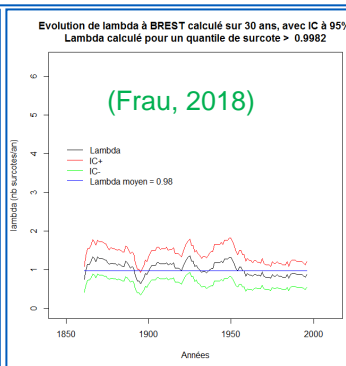
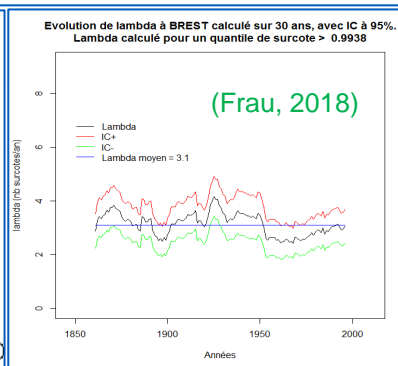
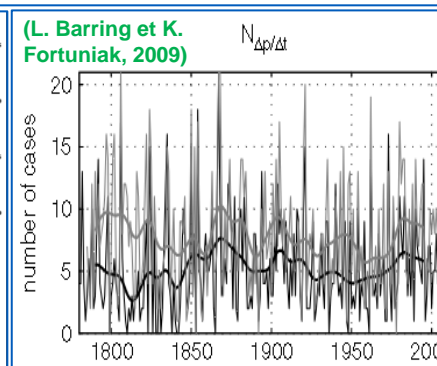
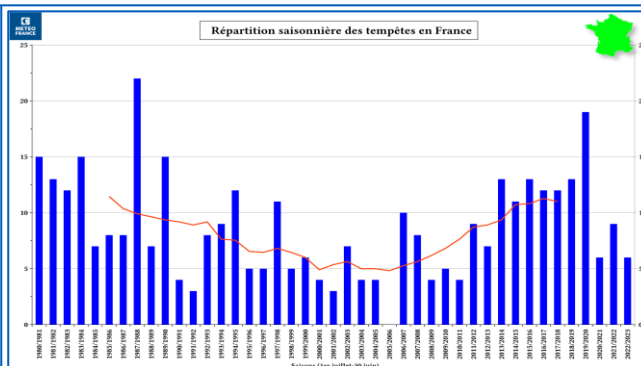
Pour la période systématique : si  $\lambda_{syst}$  est le nombre moyen de tempête par an (fonction du seuil), la durée  $D_{i,syst}$  associée aux enregistrements réguliers est pour le site i :

$$D_{i,syst} = nb_{i,syst} / \lambda_{syst} \quad \text{Et pour la période historique ..?}$$

Section « 11.7.2.1 Observed trends », p1592 de l'AR6 (ETC, Extra Tropical Cyclone) : « 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; Tilinina et al., 2013; Befort et al., 2016; Chang and Yau, 2016; Wang et al., 2016). ».

Section « 9.6.4.1 Past Changes », p1309 de l'AR6 : « The AR5 (Church et al., 2013b) concluded that changes in extreme still water levels (ESWL), combining RSL, tide and surge as observed by tide gauges (Box 9.1) are very likely to be caused by observed increases in RSL ». Et : « As in AR5 and SROCC, **tide gauge observations show that RSL rise (Section 9.6.1.3) is the primary driver of changes in ESWL at most locations** ».

Météo France et le rapport ONERC 2018 qui citent l'AR5 nous indiquent : **pas d'évolution 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 : [ecologie.gouv.fr](http://ecologie.gouv.fr) (p77) : **ONERC Rapport 2018 Evenements meteorologiques extremes et CC WEB.pdf**

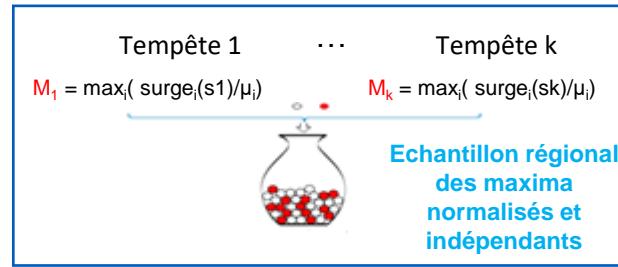
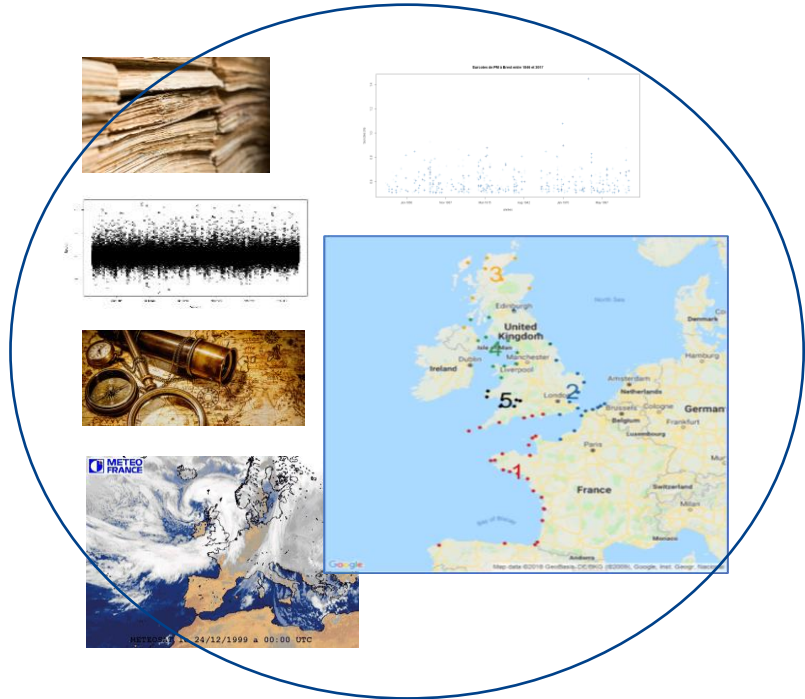


On se sert des remarques ci-dessus pour dire que : le nombre des surcotes extrêmes par an de la période systématique  $\lambda_{syst}$  est égal au nombre des surcotes extrêmes par an de la période historiques  $\lambda_{hist}$  :  $\lambda_{syst} = \lambda_{hist} = \lambda$  et la durée crédible d'observation se calcule par :

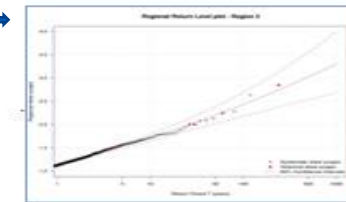
$$D_i = D_{i,syst} + D_{i,hist} = nb_{i,syst} / \lambda + nb_{i,hist} / \lambda = (nb_{i,syst} + nb_{i,hist}) / \lambda \quad \text{(Frau, 2018) (méthode FAB)}$$



# Récapitulatif des étapes



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



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

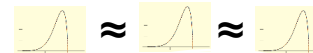
$$Q_{local}(1000) = \text{Indexe}_{local} \times Q_{régional}(1000)$$

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

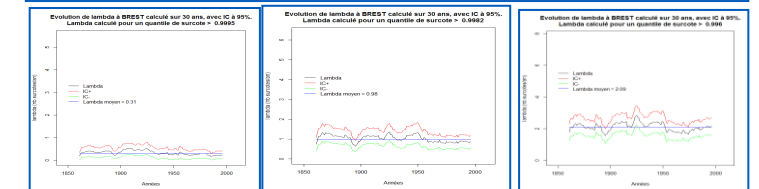
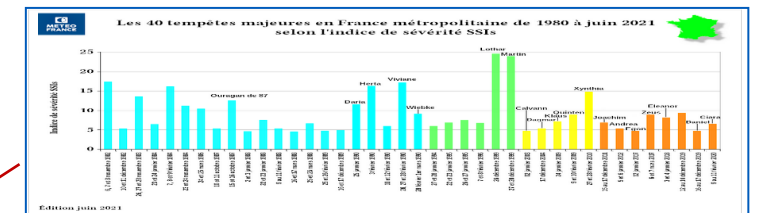


Une région = sites pour lesquels les distances  $d_{ij}$  sont petites (Weiss, 2014).

- 4) Extraire le maximum des surcotes normalisées pour chaque tempête (indice local = seuil), (Weiss, 2014).
- 5) Test KS de vérification que  $F \sim \tilde{F}_i$ .



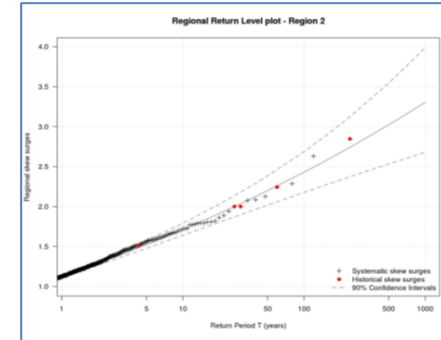
- 6) Vérification stationnarité en intensité.
- 7) Définition d'une durée équivalente d'observation crédible qui prend en compte la dépendance intersites et l'ajout des évènements historiques (Frau, 2018).



# Choix du seuil



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



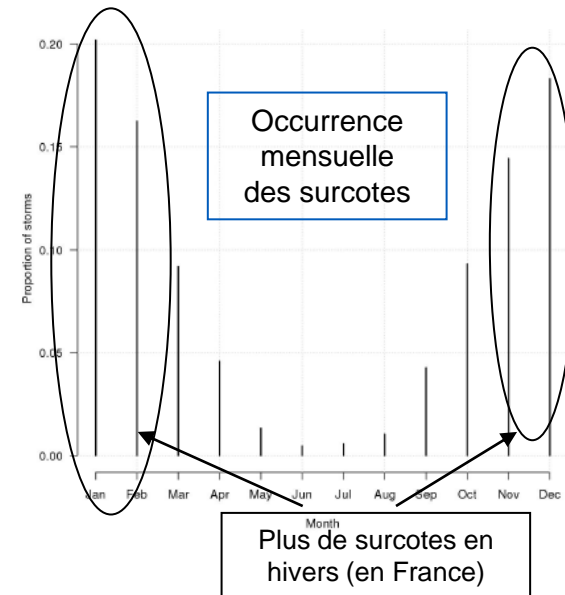
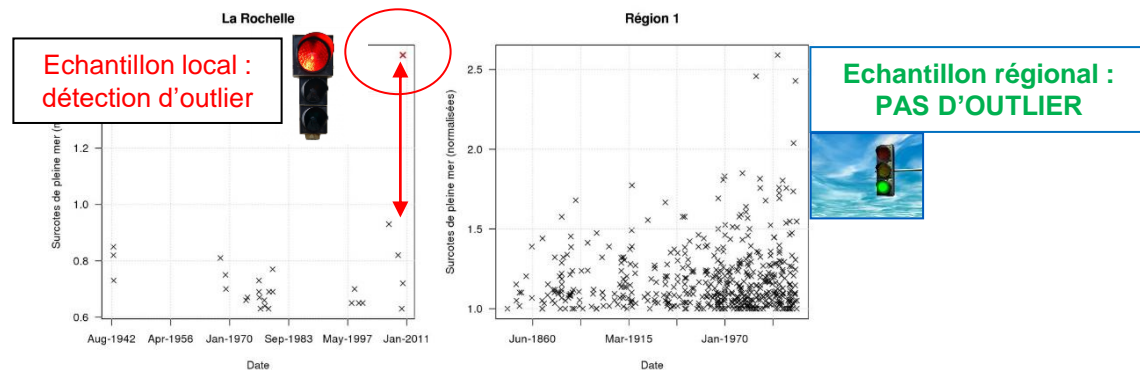
Optimisation du seuil par les **13 critères (Frau, 2018) + 2 de sureté.**

- **Valeur du quantile millennal régionale : plus cette valeur est grande et plus la valeur de  $\lambda$  est pertinente. Ce critère fait partie des critères dit « de sureté ».**
- **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 ».**
- **Test statistique de détection des horsains : pour le  $\lambda$  choisit, l'échantillon régional ne doit pas contenir de horsain.**
- Test d'homogénéité statistique.
- Test du Khi-deux
- Stabilité du paramètre de forme  $k$  de la loi GPD autour de  $\lambda$ .
- Stabilité des niveaux de retours locaux autour de  $\lambda$ .
- Stabilité de la durée régionale crédible autour de  $\lambda$ .
- Nombre de donnée de l'échantillon assez grand.
- Test de stationnarité.
- Stabilité du degré de dépendance des données régionales autour de  $\lambda$ .
- Stabilité des niveaux de retours locaux dans les intervalles de confiance associés à  $\lambda$ .
- Stabilité des durées régionales crédibles dans les intervalles de confiance associés à  $\lambda$ .
- Stabilité du degré de dépendance dans les intervalles de confiance associés à  $\lambda$ .
- Stabilité du paramètre de forme  $k$  de la loi GPD dans les intervalles de confiance associés à  $\lambda$ .

# 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).

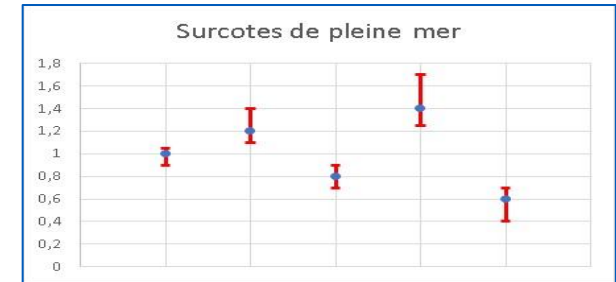


- Possibilité de prendre en compte les **effets saisonniers** (Weiss, 2014), les directions, ..
- Possibilité d'ajouter des **événements historiques extrêmes**, avec un surplus de durée d'observation « crédible » (durée petite) (Frau, 2018). Les surcotes historiques peuvent être définies par une valeur ponctuelle, un intervalle ou une borne inférieure (Frau, 2018).
- Utilisation de 13 + 2 critères pour l'**optimisation du seuil** (Frau, 2018).



## Quelques perspectives (2/2)

- Prendre en compte les **incertitudes** sur les valeurs des surcotes dans l'analyse régionale (mesures, rétro-prédictions, ...)
- Utiliser plusieurs approches pour estimer le surplus de **durée d'observation** apportée par les surcotes historiques dans l'analyse régionale
- **Vérifier** certaines surcotes historiques (interprétation des sources, ...)
- **Simulations numériques** de tempêtes historiques avec variantes



# Références R&D sur l'analyse régionale

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

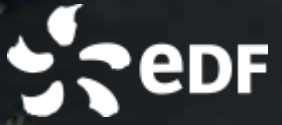


Weiss J., P. Bernardara, and M. Benoit (2014). Formation of homogeneous regions for regional frequency analysis of extreme significant wave heights, Journal of Geophysical Research Oceans, 119, 2906-2922



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

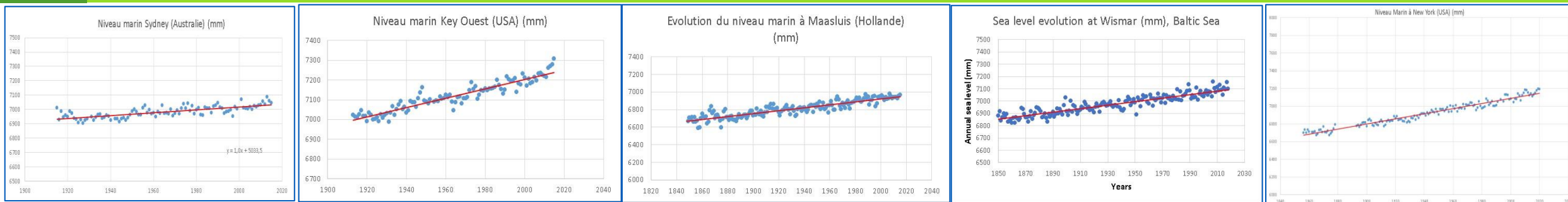




# Questions ?



# L'évolution du niveau marin



Le SROCC (GIEC, 2019) précise pour l'évolution de long terme (plus de 100 ans) que l'accélération est comprise entre  $[-0,002 ; 0,019]$   $\text{mm}/\text{an}^2$  sur la période 1902–2010 (table cb9.1), soit une accélération (très faible) moyenne de  $8,5 \mu\text{m}/\text{an}^2$ .

Le chapitre 4 du SROCC (GIEC, 2019) nous indique (extrait traduit) les vitesses suivantes calculées sur des périodes de temps différentes (et sans la vitesse de la période 1920-1950) :

« Le niveau moyen mondial de la mer calculé par les données marégraphiques et les observations altimétriques est passée de  $1,4 \text{ mm an}^{-1}$  sur la période 1901-1990 à  $2,1 \text{ mm an}^{-1}$  sur la période 1970-2015 à  $3,2 \text{ mm an}^{-1}$  sur la période 1993-2015 à  $3,6 \text{ mm an}^{-1}$  sur la période 2006-2015 (degré de confiance élevé). »

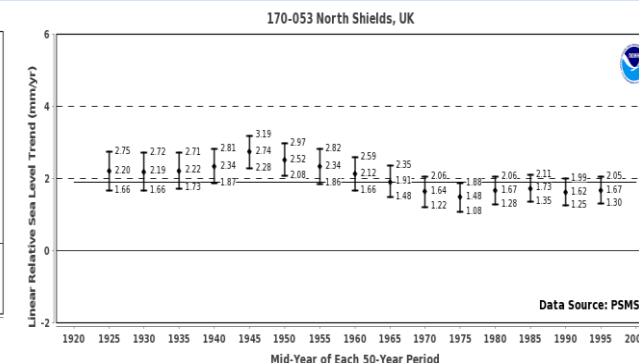
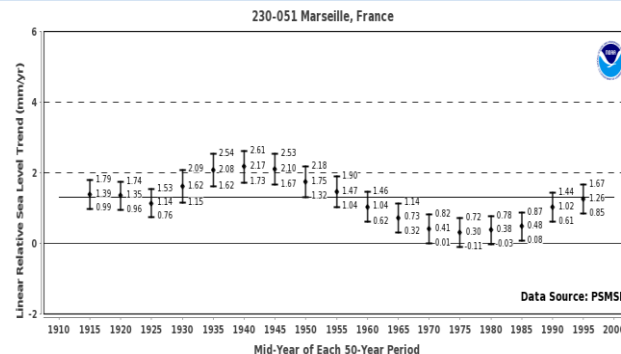
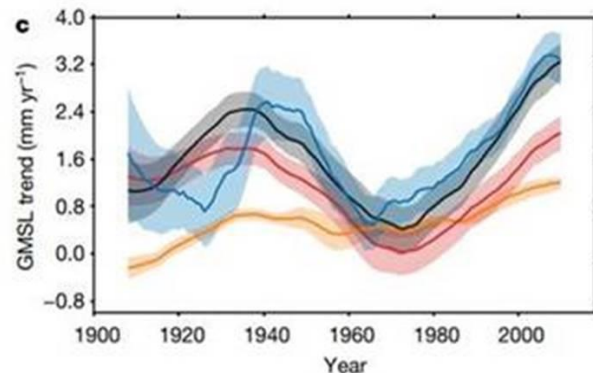
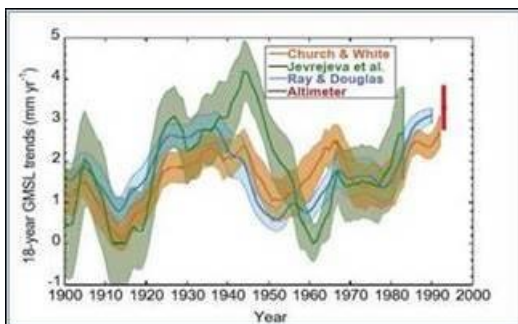


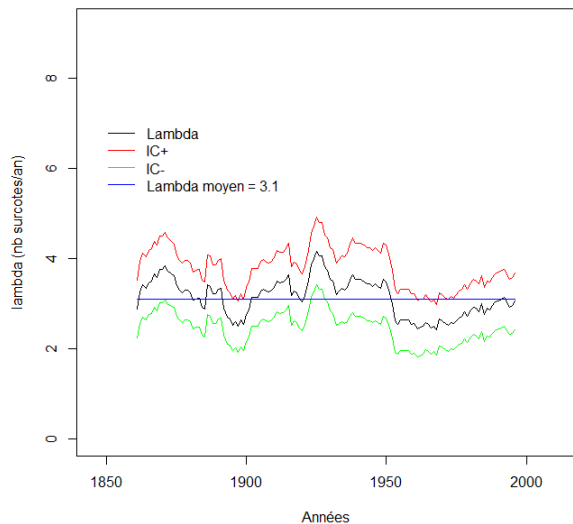
Figure : Graphe d'évolution de la vitesse du niveau marin : Fig. 3.14, AR5 à gauche, estimation sur 18 ans. (Frederikse et al. 2020) à droite, estimation sur 30 ans.

Figure : Evolution de la vitesse du niveau marin à Marseille et Nord Shield (source : NOAA), estimation sur 50 ans.

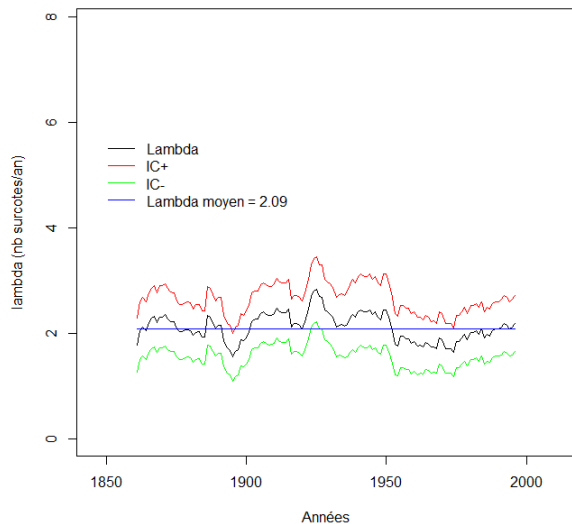


# Evolution de la fréquence des tempêtes à Brest pour différents seuils de sélection des tempêtes

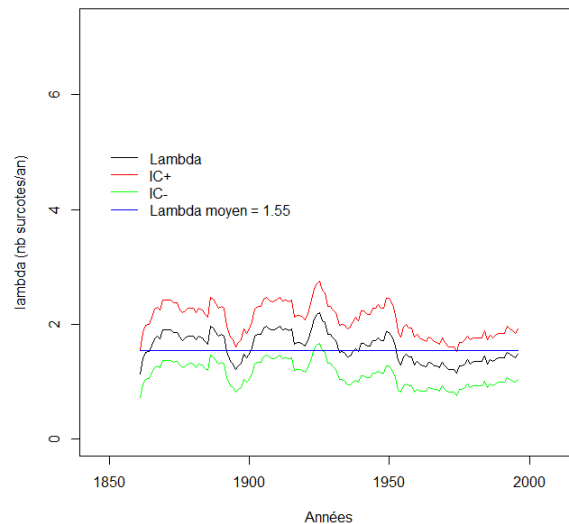
Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.9938



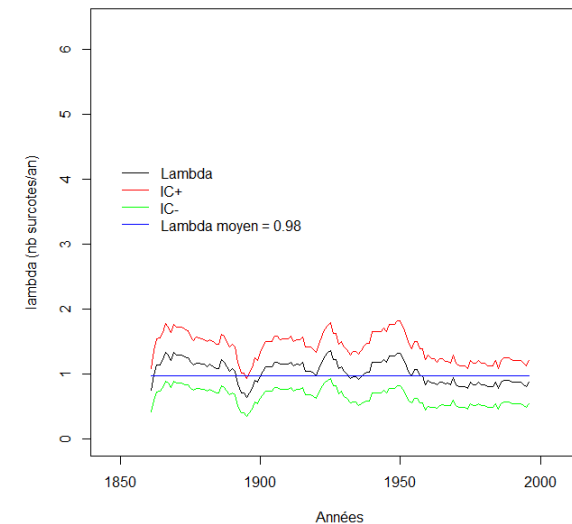
Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.996



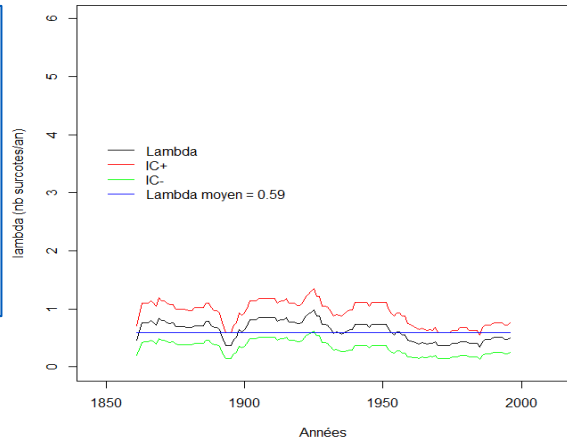
Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.997



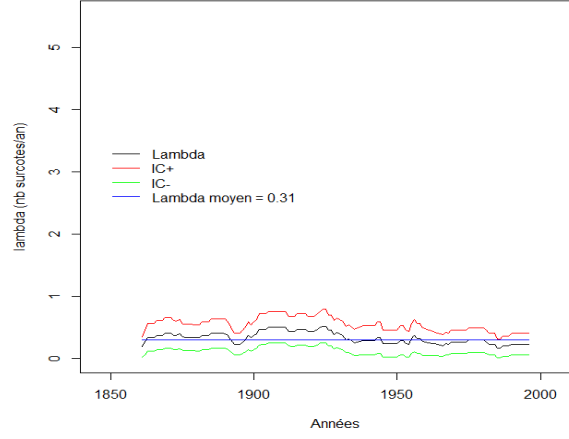
Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.9982



Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.999

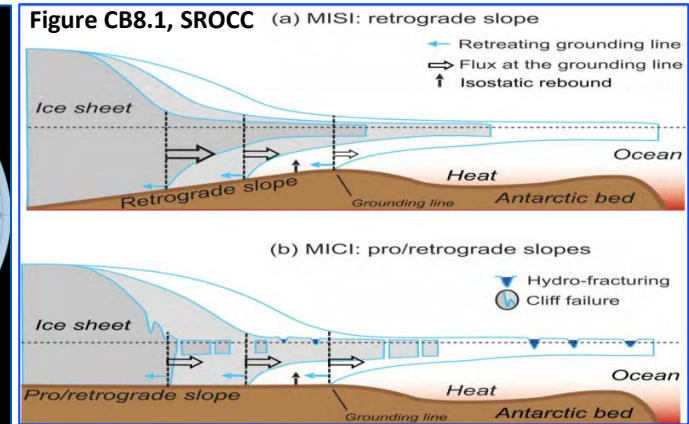
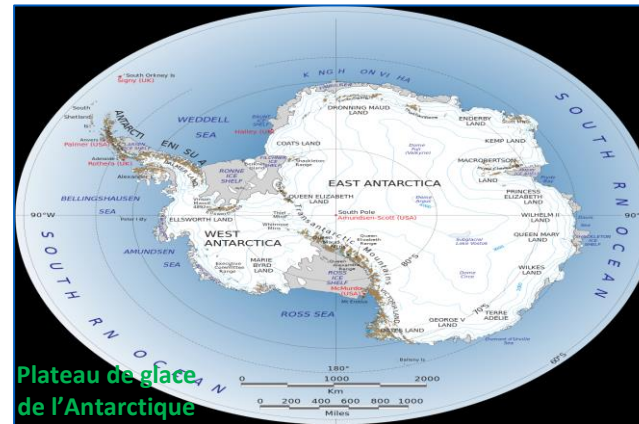


Evolution de lambda à BREST calculé sur 30 ans, avec IC à 95%.  
Lambda calculé pour un quantile de surcote > 0.9995



Le nombre de tempête/an est moyenné sur 30 ans. En bleu, l'estimation sur toute la période pour un seuil donné.

# L'antarctique, quelques remarques sur les MICI 1/2

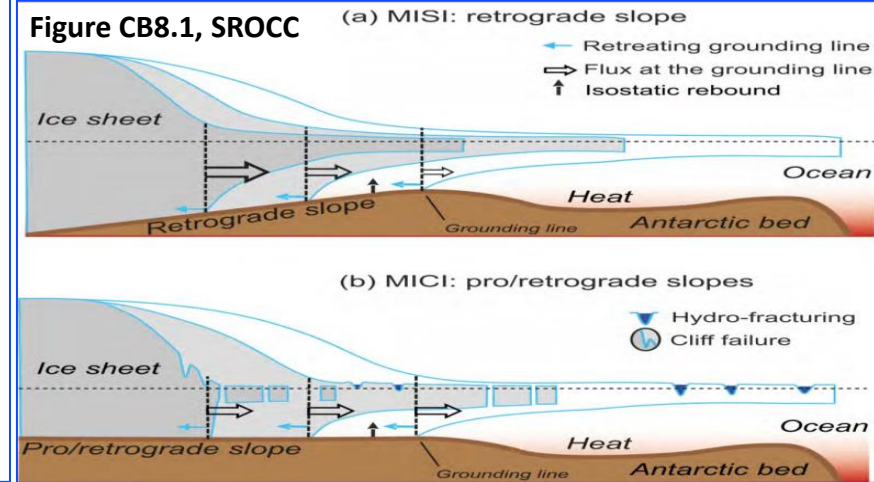


## Les « marine ice-cliff instability » (MICI) en Antarctique :

- Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise, R.DeConto, Nature (2016) : « Here we use a model coupling ice sheet and climate dynamics—including previously underappreciated processes linking atmospheric warming with hydrofracturing of buttressing ice shelves and structural collapse of marine-terminating ice cliffs—that is calibrated against Pliocene and Last Interglacial sea-level estimates and applied to future greenhouse gas emission scenarios. Antarctica has the potential to contribute more than a metre of sea-level rise by 2100 and more than 15 metres by 2500 ».
- « Revisiting Antarctic ice loss due to marine ice-cliff instability (MICI) », Tamsin Edwards et al., Nature (2019 (<https://www.Nature.Com/articles/s41586-019-0901-4>)), qui concerne l'étude de la stabilité des falaises de glaces (MICI) et dont l'extrait suivant est intéressant: « **but MICI has not been observed in the modern era and it remains unclear whether it is required to reproduce sea-level variations in the geological past.** Here we quantify ice-sheet modelling uncertainties for the original MICI study and show that the probability distributions are skewed towards lower values ». « Without MICI, the most likely contribution from Antarctica is **15 cm by 2100 under RCP8.5.** And with MICI, under **very high greenhouse gas concentrations,** the most likely value is **45 centimetres** ».

# L'antarctique, quelques remarques sur les MICI 2/2

**SROCC section 3.3.3.4 (Cross-Chapter Box 8: “Future Sea Level Changes and Marine Ice Sheet Instability”)** : « Overall, there is *low agreement* on the exact MICI mechanism and *limited evidence* of its occurrence in the present or the past. Thus, the potential of MICI to impact the future sea level remains very uncertain (Edwards et al., Nature 2019). ». Puis : « The climate forcing used by DeConto and Pollard (2016) simulates the appearance of extensive surface meltwater several decades earlier than indicated by other CMIP5 climate simulations (Trusel et al., 2015). Because their model physics are sensitive to melt water through hydrofracturing, this makes the timing and magnitude of their simulated ice loss **too uncertain to include in SROCC sea-level projections** ».



Indications du site de la NASA à propos des MICI : [What are the scenarios from the Sea Level Rise Interagency Task Force and how do they compare to the projections from the IPCC AR6? – NASA Sea Level Change Portal](#)

There are several reasons the contributions from these processes were only included in this *low confidence* range. These are as follows:

- There is **limited agreement** among models regarding the **low confidence processes**. This includes whether these processes will happen in the future.
- There is limited evidence available to constrain these **low confidence** processes within models.
- It is **unknown** exactly how much warming may be needed to trigger the relevant physical processes.
- It is **unknown** how quickly ice sheets will respond if they are triggered.
- There are possible **negative feedbacks** that would affect or even **limit the ice mass loss** and resultant sea level rise if these processes are triggered.

# Ce qui a changé depuis l'incident (niveau 2/7) de Blayais de 1999

## Ce qui a changé à la centrale du Blayais depuis 1999

Depuis l'inondation en 1999, une série de moyens ont été mis en place pour accroître la robustesse des installations. Ils ont été complétés après l'accident de Fukushima en 2011 pour faire face à des situations extrêmes : séisme, inondation et tornades.

### AU MOMENT DE L'INONDATION

**1. Pertes électriques.** L'inondation en 1999 a entraîné des pertes électriques externes. Des groupes électrogènes de secours ont dû être utilisés.

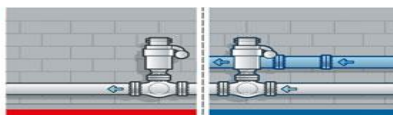
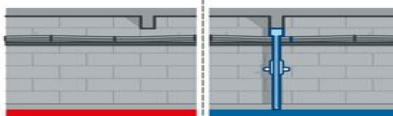
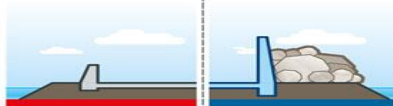
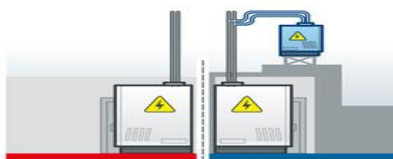
**2. Une digue de protection insuffisante.** En 1999, la digue qui "ceinture" la centrale s'élevait à 5,2 m côté Gironde pour une hauteur d'eau évaluée en 1983 à 5,02 m.

**3. Galeries techniques noyées.** L'eau a envahi plusieurs locaux contenant des matériels importants pour la sûreté.

**4. Station de pompage noyée.** Deux des quatre pompes du circuit SEC (eau brute de sauvegarde) du réacteur numéro 1 ont été noyées. Le niveau de sûreté a été dégradé sans affecter le refroidissement du cœur.

**5. Système d'alerte non pris en compte.** Une alarme de niveau haut de la Gironde est apparue le 27 décembre 1999 vers 22 h. Les équipes de conduite ne l'ont pas traitée comme telle.

**6. Les équipes de crise sont intervenues.** Une cinquantaine d'agents EDF d'astreinte ont été appelés pour renforcer les équipes présentes.



### DEPUIS L'INONDATION

**1. Groupes électrogènes rajoutés.** Des groupes – un par réacteur – ont été mis sur les toits des bâtiments des auxiliaires nucléaires pour parer une défaillance des groupes électrogènes de secours.

**2. Renforcement des systèmes de protection.** Les digues ont été réhaussées à 6,20 m en front de la Gironde. Elles ont été renforcées par un enrochement de blocs de 1,5 à 2,5 t. Un mur pare-houle de 8,50 m de haut complète le dispositif. La digue arrière a été réhaussée à 5,75 m.

**3. Protection volumétrique.** Les locaux contenant des équipements importants pour la sûreté ont été rendus étanches par obturation des ouvertures jusqu'à une hauteur de 20 cm au-dessus du sol.

**4. Mise en place d'appoints en eau supplémentaire.** Ils sont ou seront créés pour refroidir le réacteur.

**5. Alerte météo plus efficace.** Il utilise des valeurs météorologiques différentes (vitesse du vent) pour mieux anticiper le risque d'inondation. Les premières actions de vigilance sont réalisées 36 h avant le risque.

**6. Mise en place de la FARN.** La Force d'action rapide du nucléaire est déployée progressivement depuis 2012, à la suite de Fukushima. Elle doit intervenir sous 24 heures en cas d'urgence sur n'importe quel réacteur en France.

**7. Création d'un centre de crise local (CCL) pour gérer des événements extrêmes.** L'installation pourra accueillir sur plusieurs jours les agents FARN et des experts qui travailleront avec EDF et les pouvoirs publics.

Article Dagan/Spec/Equipe/RSI - Source : IRESI

# Chap 12, Table 12.12 de l'AR6 (WG1) p1856 (vue globale)

## Chapter 12

## Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment

**Table 12.12 | Emergence of CIDs in different time periods, as assessed in this section.** The colour corresponds to the confidence of the region with the highest confidence: white cells indicate where evidence is lacking or the signal is not present, leading to overall low confidence of an emerging signal.

Climatic Impact-driver Type	Climatic Impact-driver Category	Already Emerged in Historical Period	Emerging by 2050 at Least for RCP8.5/SSP5-8.5	Emerging Between 2050 and 2100 for at Least RCP8.5/SSP5-8.5
Heat and Cold	Mean air temperature	1		
	Extreme heat	2	3	
	Cold spell	4	5	
	Frost			
Wet and Dry	Mean precipitation		6	7
	River flood			
	Heavy precipitation and pluvial flood			8
	Landslide			
	Aridity			
	Hydrological drought			
	Agricultural and ecological drought			
Wind	Fire weather			
	Mean wind speed			
	Severe wind storm			
	Tropical cyclone			
Snow and Ice	Sand and dust storm			
	Snow, glacier and ice sheet		9	10
	Permafrost			
	Lake, river and sea ice	11		
	Heavy snowfall and ice storm			
Coastal	Hail			
	Snow avalanche			
	Relative sea level		12	
Open Ocean	Coastal flood			
	Coastal erosion			
	Mean ocean temperature			
	Marine heatwave			
	Ocean acidity			
Other	Ocean salinity	13		
	Dissolved oxygen	14		
Other	Air pollution weather			
	Atmospheric CO <sub>2</sub> at surface			
	Radiation at surface			

1. High confidence except over a few regions (CNA and NWS) where there is low agreement across observation datasets.
2. High confidence in tropical regions where observations allow trend estimation and in most regions in the mid-latitudes, medium confidence elsewhere.
3. High confidence in all land regions.
4. Emergence in Australia, Africa and most of Northern South America where observations allow trend estimation.
5. Emergence in other regions.
6. Increase in most northern mid-latitudes, Siberia, Arctic regions by mid-century, others later in the century.
7. Decrease in the Mediterranean area, Southern Africa, South-west Australia.
8. Northern Europe, Northern Asia and East Asia under RCP8.5 and not in low-end scenarios.
9. Europe, Eastern and Western North America (snow).
10. Arctic (snow).
11. Arctic sea ice only.
12. Everywhere except WAN under RCP8.5.
13. With varying area fraction depending on basin.
14. Pacific and Southern oceans then many other regions by 2050.

High confidence of decrease    Medium confidence of decrease    Low confidence in direction of change    Medium confidence of increase    High confidence of increase

Ce tableau synthétise les évaluations des probabilités que chaque type de temps extrême (ou autres phénomènes) soit dû au changement climatique (i.e : avec présence d'un signal qui serait émergeant : S/N émergeant/variabilité naturelle), selon le chapitre 12 de l'AR6.

Couleur blanche = niveau faible de confiance concernant l'observation d'un signal émergeant.

Les 2 dernières colonnes indiquent les évaluations selon les scénarii faiblement vraisemblables (RCP8.5 ou SSP5-8.5).

AR6 p1853, 12.5.2 "Emergence of Climatic Impact-drivers Across Time and Scenarios" :

For future conditions, there is limited evidence of the emergence of trends in mean wind speeds due to the lack of studies quantifying wind speed changes and their interannual variability. The same limitation also holds for wind extremes (severe storms, tropical cyclones, sand and dust storms).