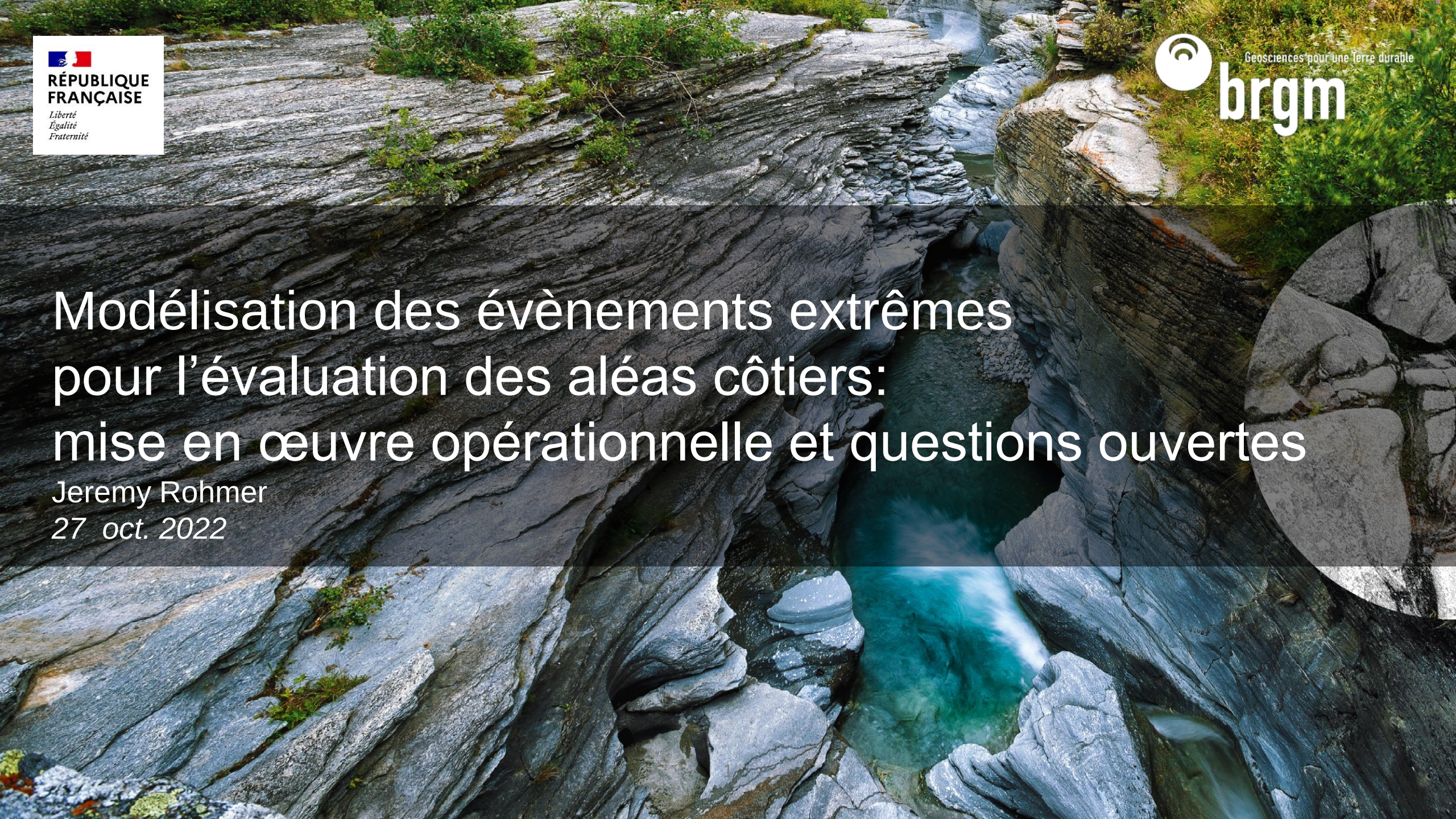


RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Modélisation des évènements extrêmes pour l'évaluation des aléas côtiers: mise en œuvre opérationnelle et questions ouvertes

Jeremy Rohmer

27 oct. 2022

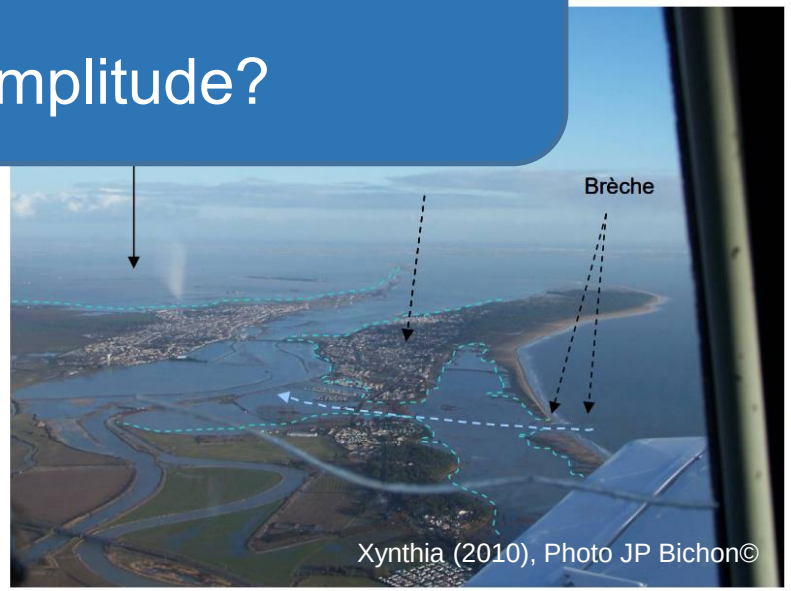
Exemples d'aléas cotiers

Photo M Garcin©

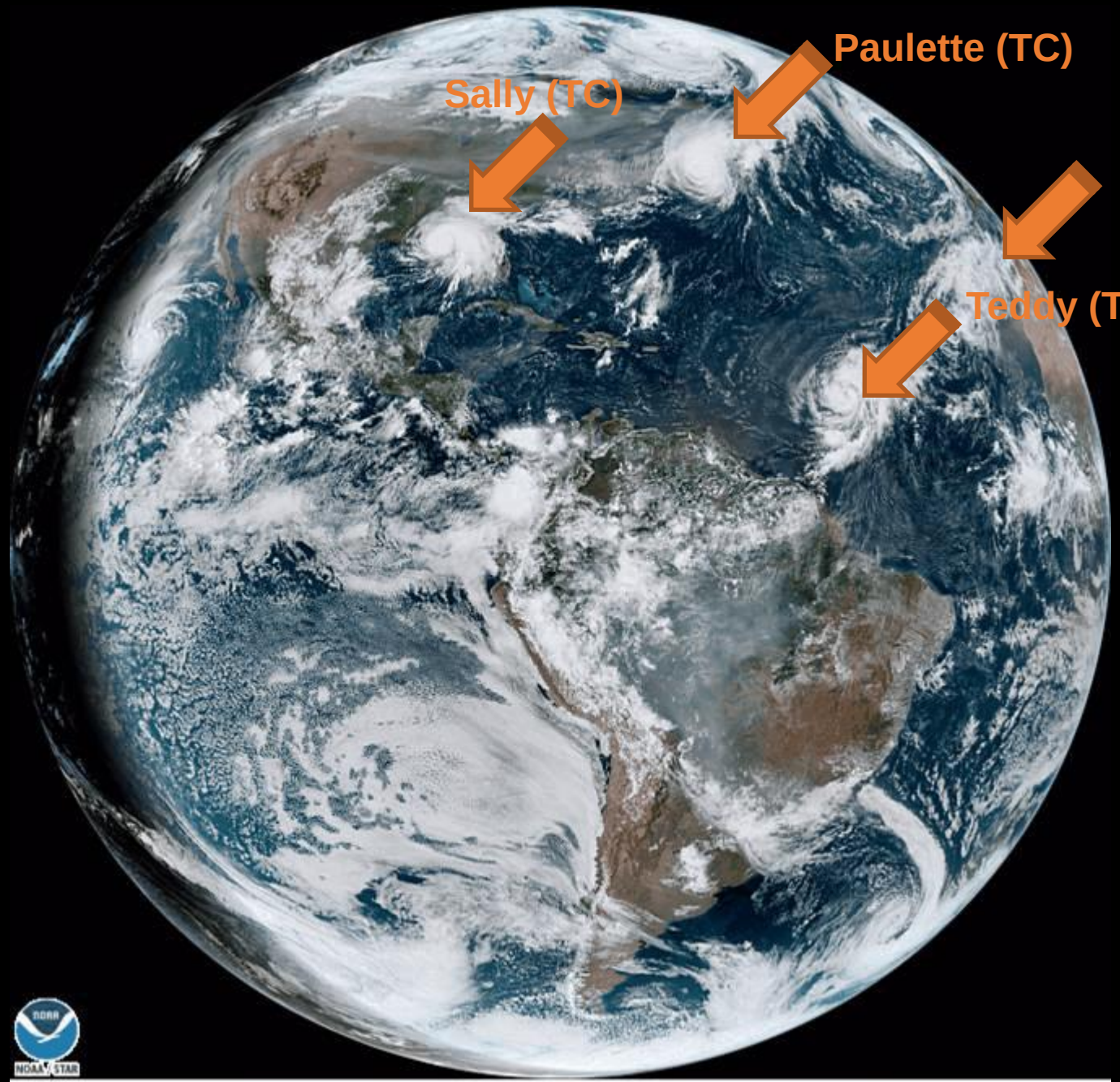
Quelle est la probabilité d'occurrence?

Quelle est l'amplitude?

La Reunion Island, Lecacheux et al., 2016, SPICY http://spicy.brgm.fr/

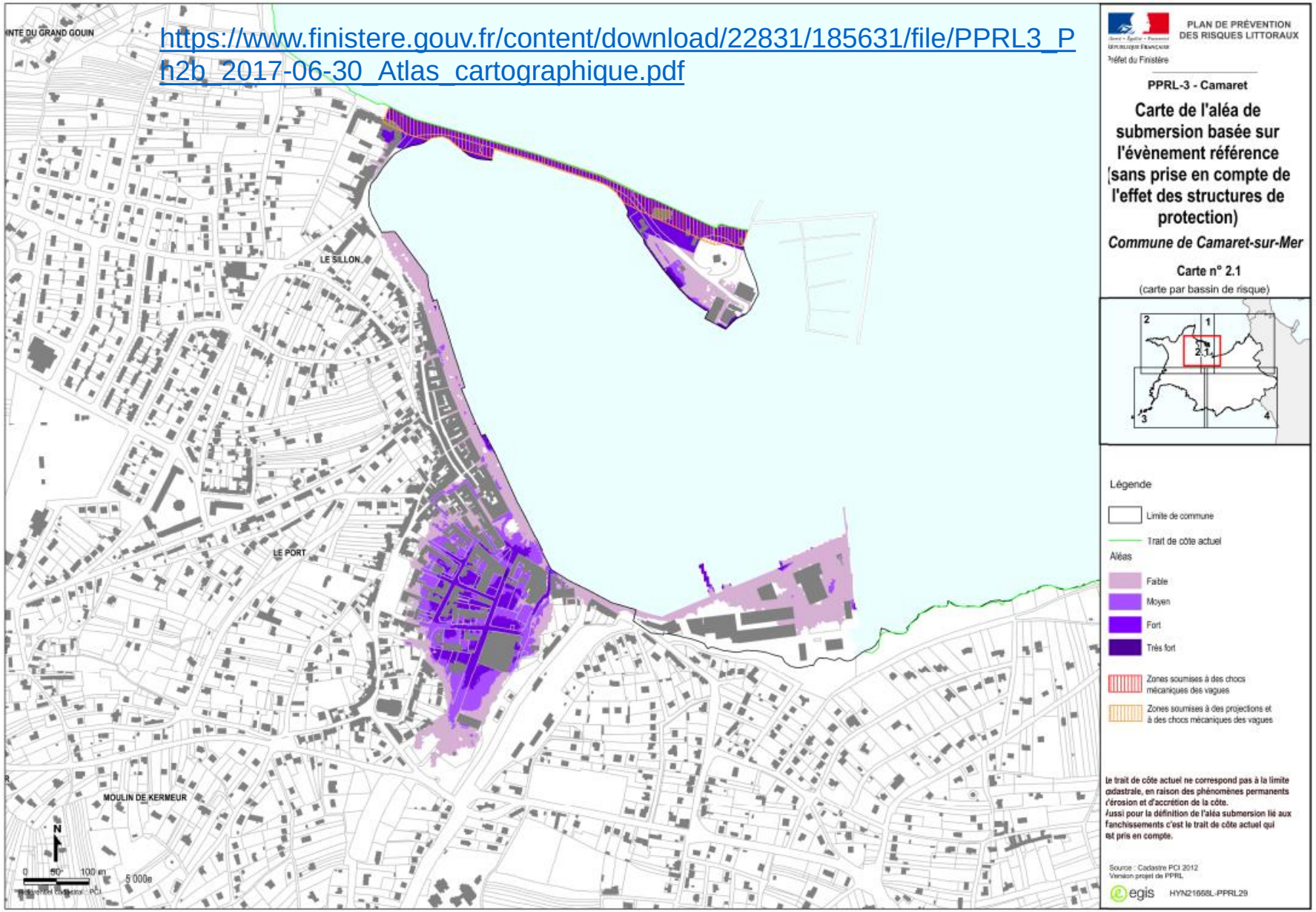


Xynthia (2010), Photo JP Bichon©

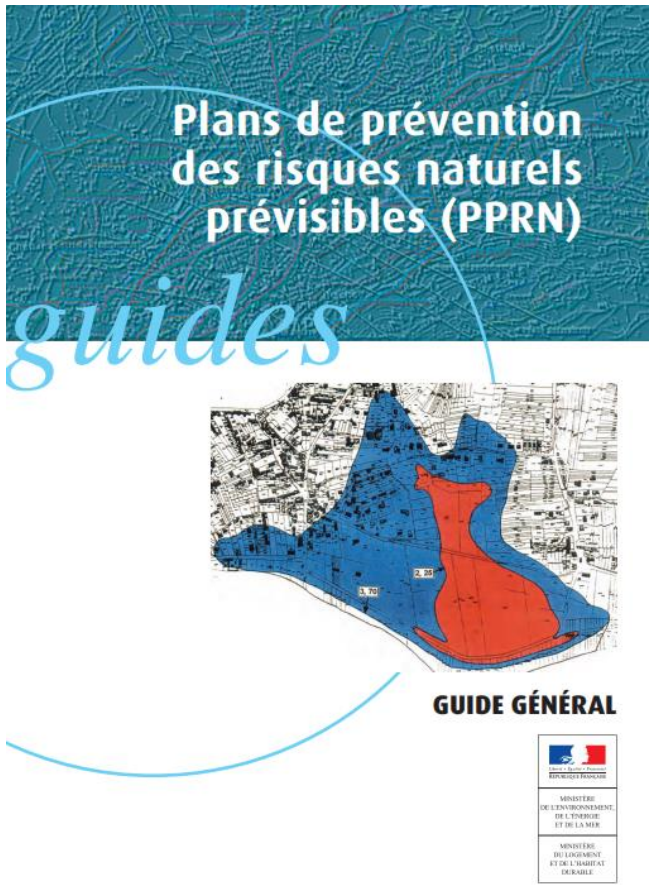

Paulette (TC)
Sally (TC)
Vicky (TS)
Teddy (TS)
15 Sep 2020 15:10Z NESDIS/STAR GOES-East GEOCOLOR

Le point de vue réglementaire – exemple de zonage PPRI

https://www.finistere.gouv.fr/content/download/22831/185631/file/PPRL3_Ph2b_2017-06-30_Atlas_cartographique.pdf



Le point de vue réglementaire



https://www.actu-environnement.com/media/pdf/guide-pprn.pdf

3.2 L'aléa de référence

Définir l'aléa de référence revient à retenir parmi tous les aléas possibles, celui qui sera considéré pour l'élaboration du PPRN. L'aléa de référence peut être défini de différentes façons, selon le type d'aléa ou le territoire. Les modalités de sa définition sont explicitées dans les guides thématiques.

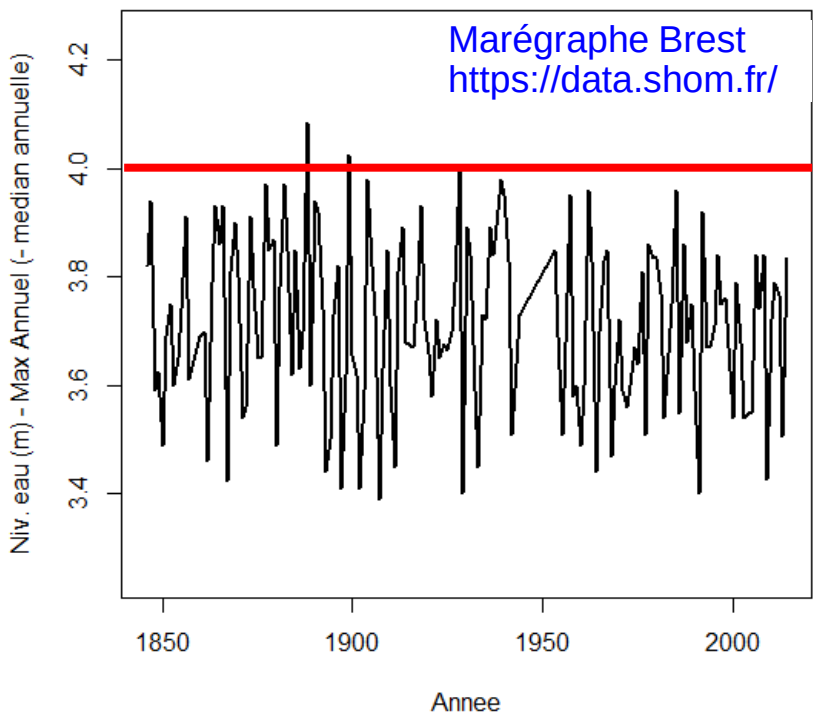
Par exemple :

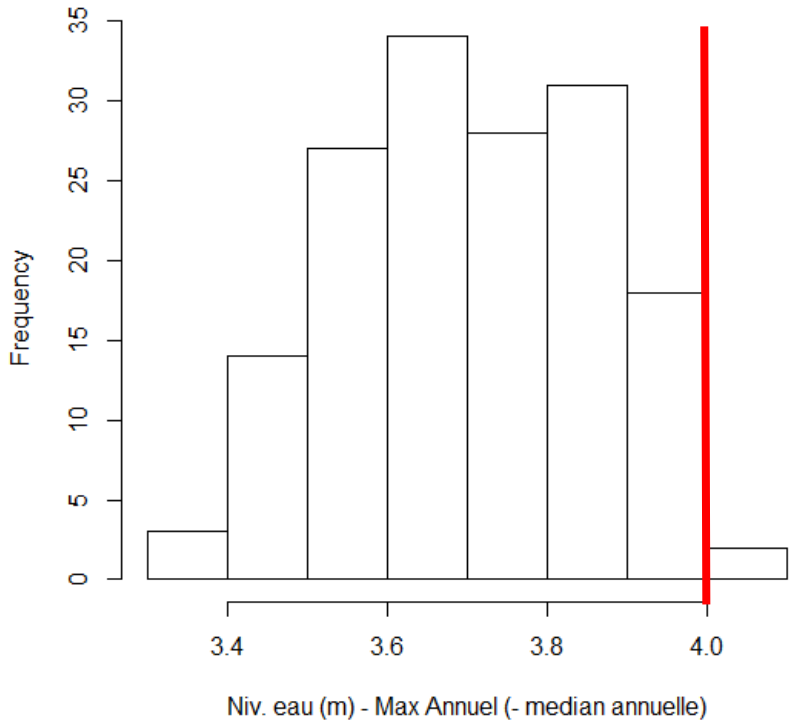
- pour l'aléa inondation, il convient de se référer à la circulaire du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables. La crue de référence est la plus forte crue connue, et dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière ;
- pour les aléas cavité ou glissement de terrain, l'aléa de référence correspond à l'événement historique le plus fort connu, ou à un événement de plus grande ampleur considéré comme vraisemblable à une échéance de cent ans.

L'éventualité de la concomitance d'aléas peut influer sur l'aléa de référence retenu. Avant de le définir, il peut être nécessaire d'étudier différents scénarii d'événements combinant plusieurs phénomènes naturels.

[…]

Pourquoi la modélisation des valeurs extrêmes?



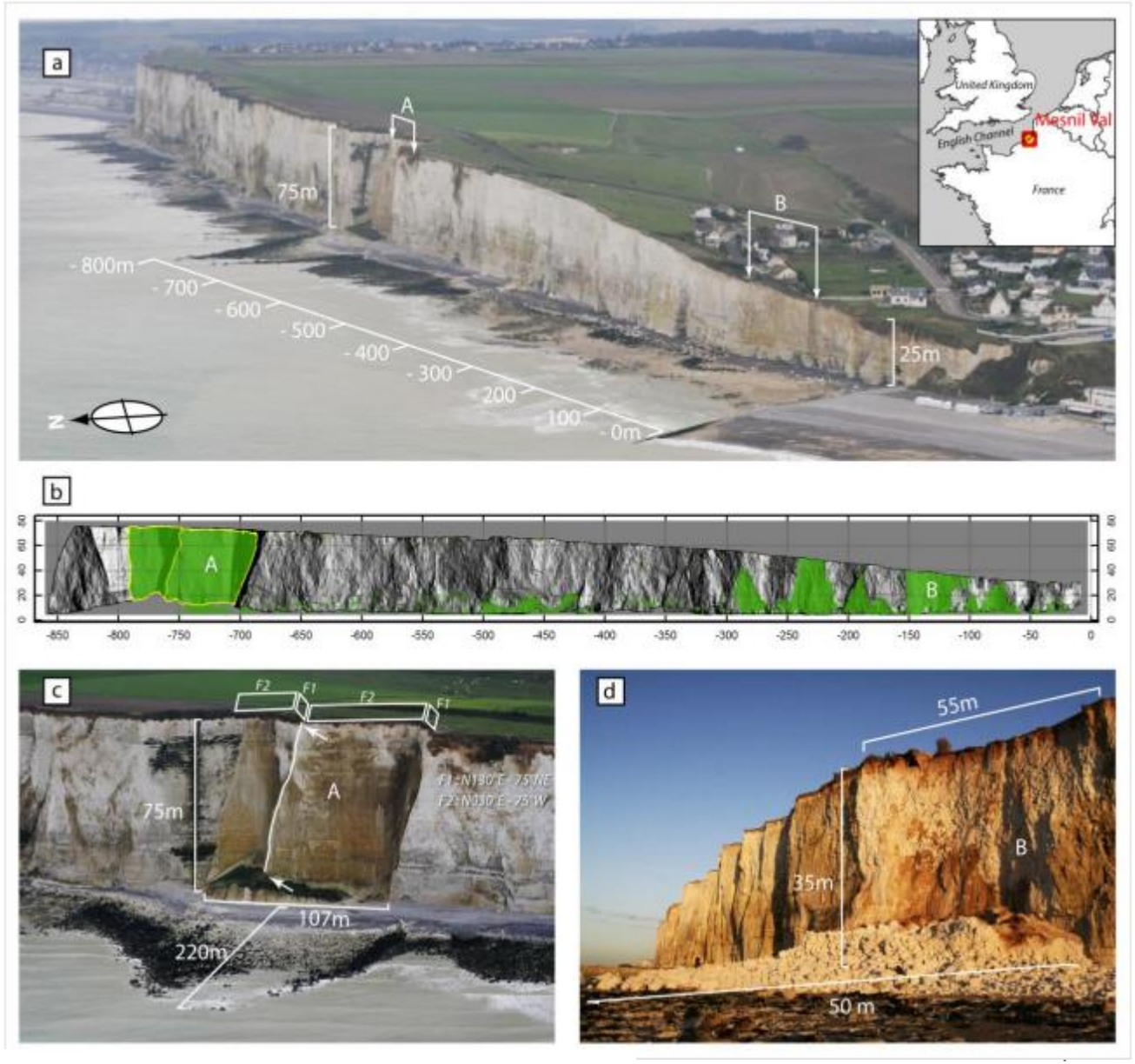


157 ans de données

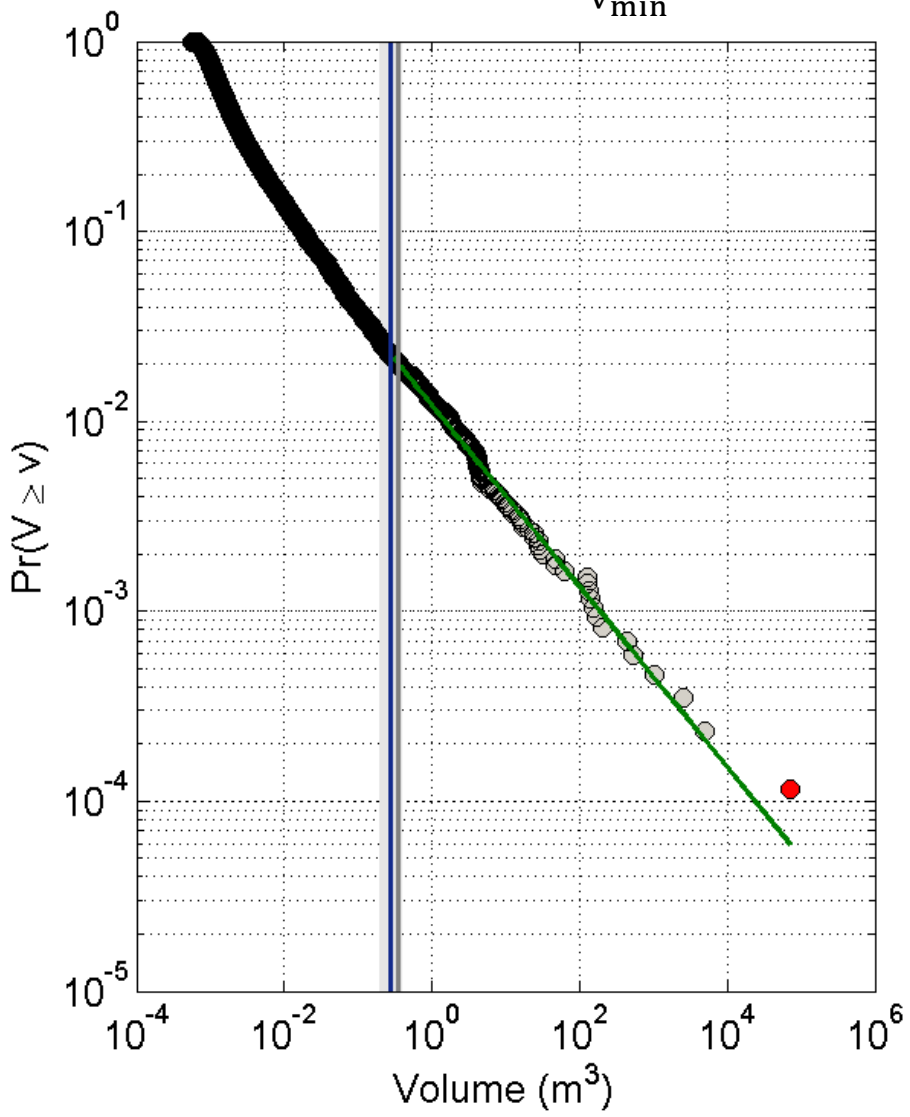
Proba(>4m)=2/157~1.2%

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Un outil souvent utilisé en aléa tellurique: loi puissance (Pareto)



$$\Pr(V \geq v) = 1 - \left(\frac{v}{v_{min}}\right)^{-\theta}$$

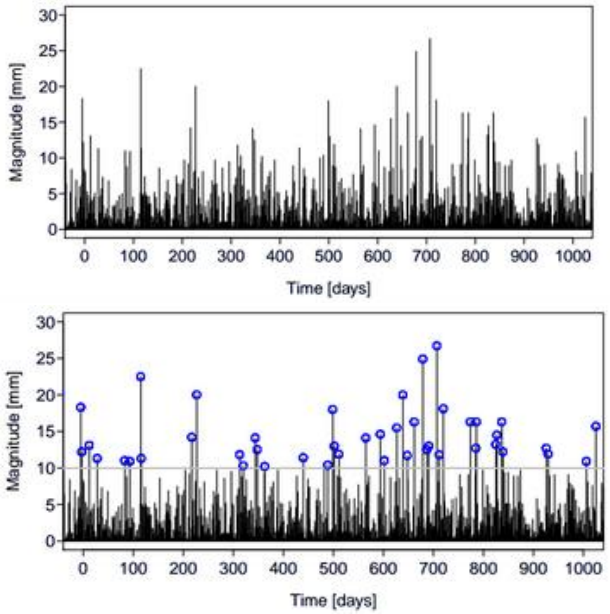


[Rohmer and Dewez (2013)]

pour une Terre durable
brgm

Une approche flexible en pratique: POT-GPD

Plus d'infos [Coles 2001]



Série(s) temporelle(s)

Analyse fréquentielle

Sélection d'un échantillon de valeurs « extrêmes », indépendantes et stationnaires (ici par la méthode **Peaks Over Threshold** (POT))

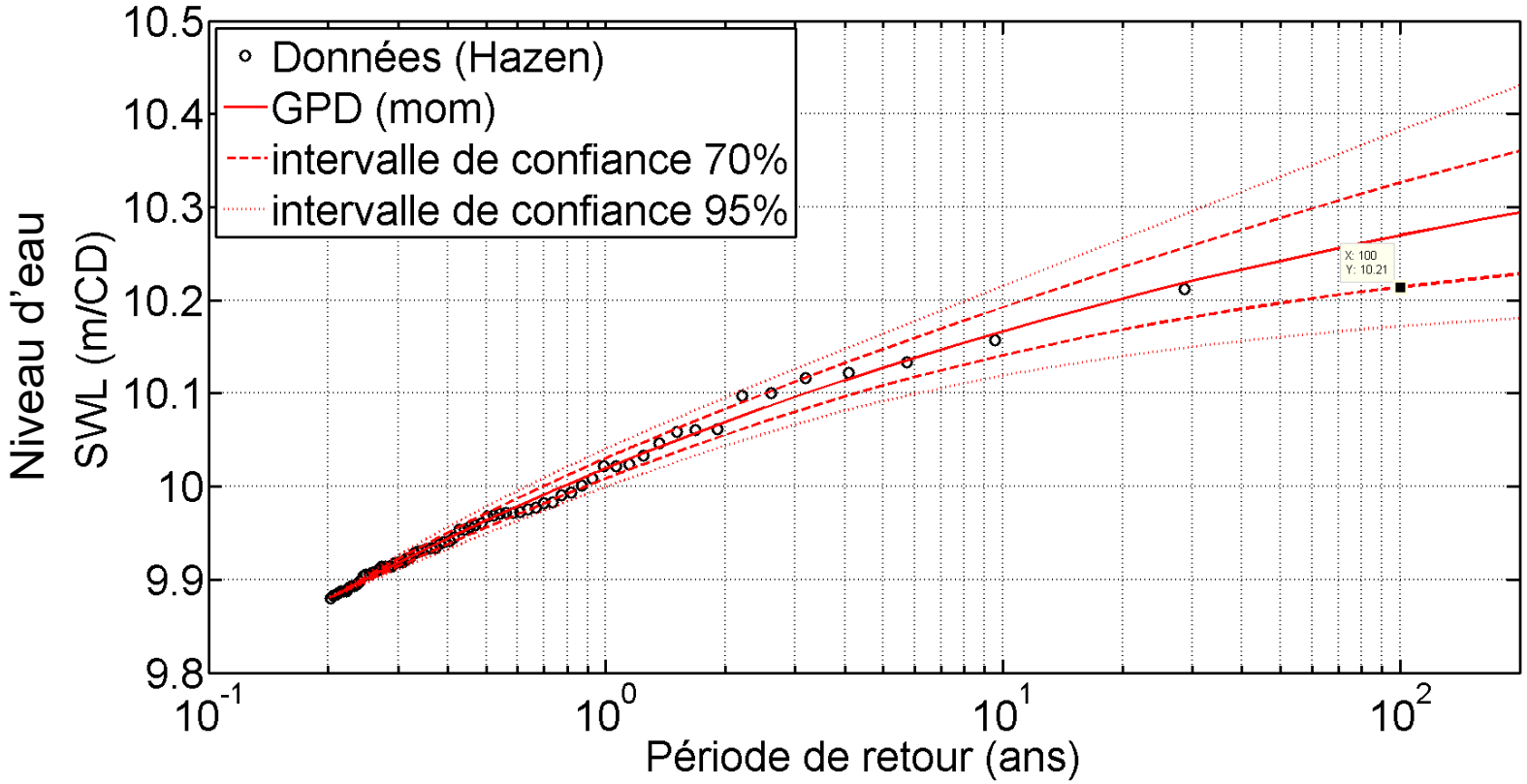
Ajustement d'une distribution de probabilité adaptée

$$P(X \leq x | X > u) = G_\theta(x) = G_{(\xi,\sigma)}(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi(x-u)}{\sigma}\right)_+^{-\frac{1}{\xi}} & \text{if } \xi \neq 0 \\ 1 - exp\left(-\frac{(x-u)}{\sigma}\right) & \text{if } \xi = 0 \end{cases} \quad \text{for } x > u$$

σ: scale
ξ: shape

Ajustement d'une distribution de probabilité à l'échantillon obtenu (ici GPD (**Generalized Pareto Distribution**))
Paramètres de loi estimés par maximum de vraisemblance par ex.

Exemple d'application



PPRl Dieppe (2017) – 20-30 ans de données - Le Roy et al.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

En pratique…

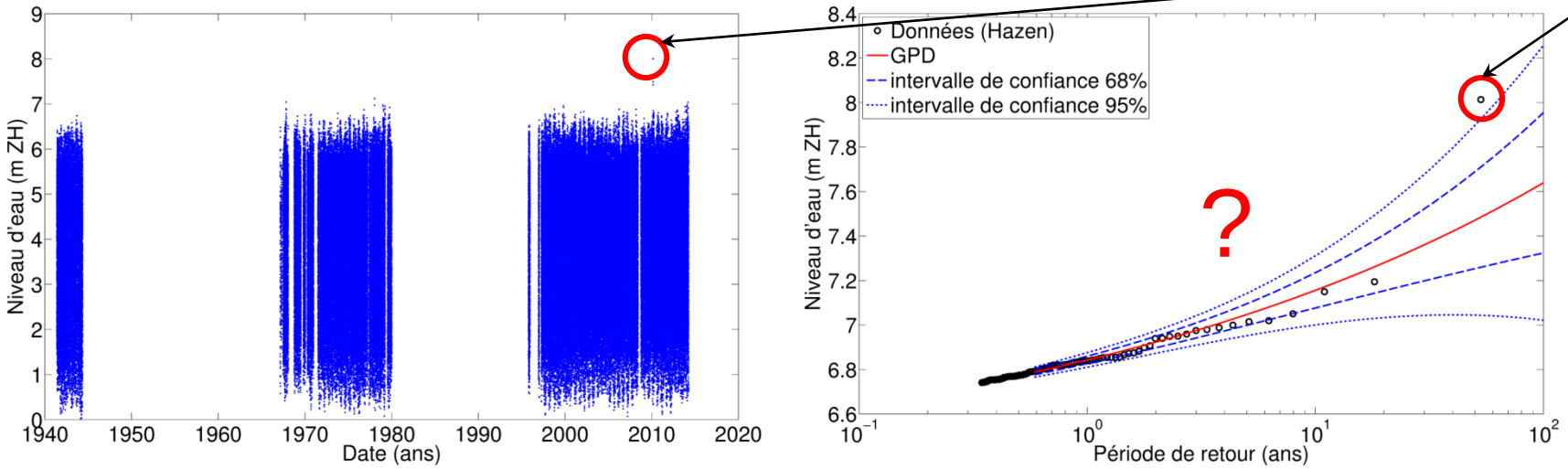
[Bulteau et al., 2015]

Problèmes éventuels (mais courants !)

- Séries temporelles **courtes!**
- Valeurs aberrantes, **horsains**
- Données **manquantes**
- …

Niveaux d'eau à La Rochelle

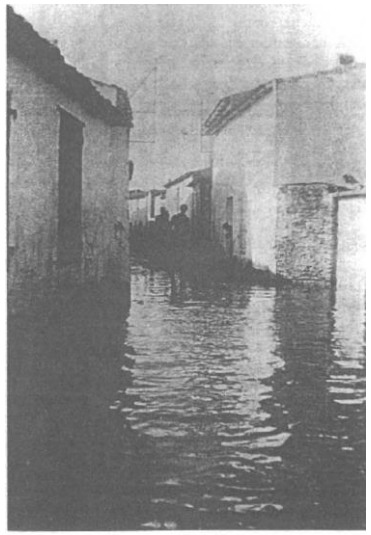
Xynthia
28/02/2010



Une source d'information précieuse: données historiques

>> **augmenter le nombre d'évènements extrêmes dans la série temporelle**

En effet, avant la période de mesures systématiques, de nombreux épisodes violents se sont produits sur les littoraux



Les Portes, 16 février 1941

1941

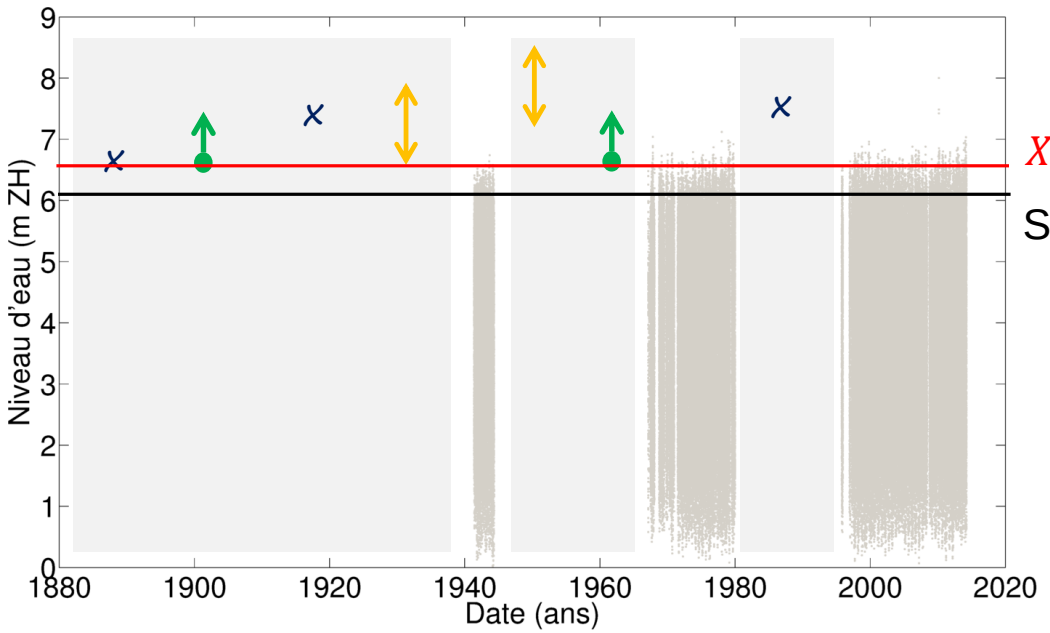
1940

1912

[Lambert et al. (2014)]

Un cadre flexible: cadre Bayésien

[Bulteau et al., 2015]



X: valeurs exactes h_1

: Borne inf h_2

: Intervalle h_3

Formulation de la vraisemblance

$$f(D|\theta) = \underbrace{f(D_{sys}|\theta)}_{\text{systematic likelihood}} \underbrace{f(D_{his}|\theta)}_{\text{historical likelihood}}$$

Données

- s observations marégraphiques systématiques sup. u $(x_1, \dots, x_s)$
- Période historique de n_y années avec h évènements ayant dépassé un seuil de perception X_0 $(X_0 > u)$

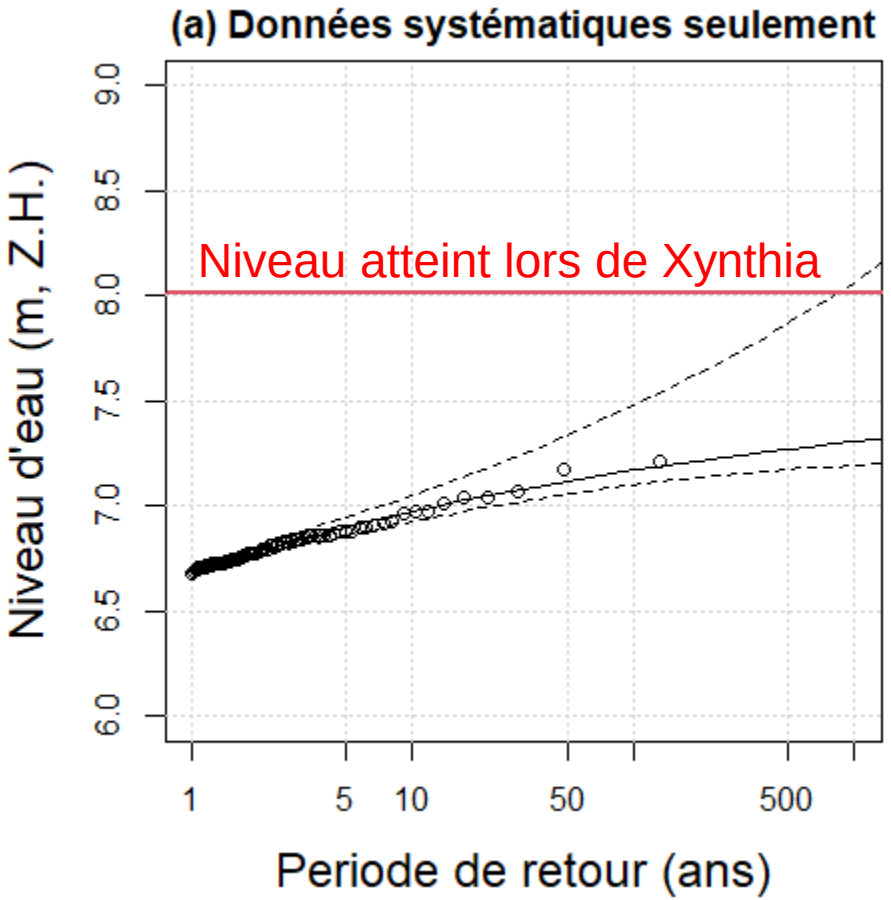
$$f(D_{sys}|\theta) = \prod_{i=1}^{s} g_\theta(x_i)$$

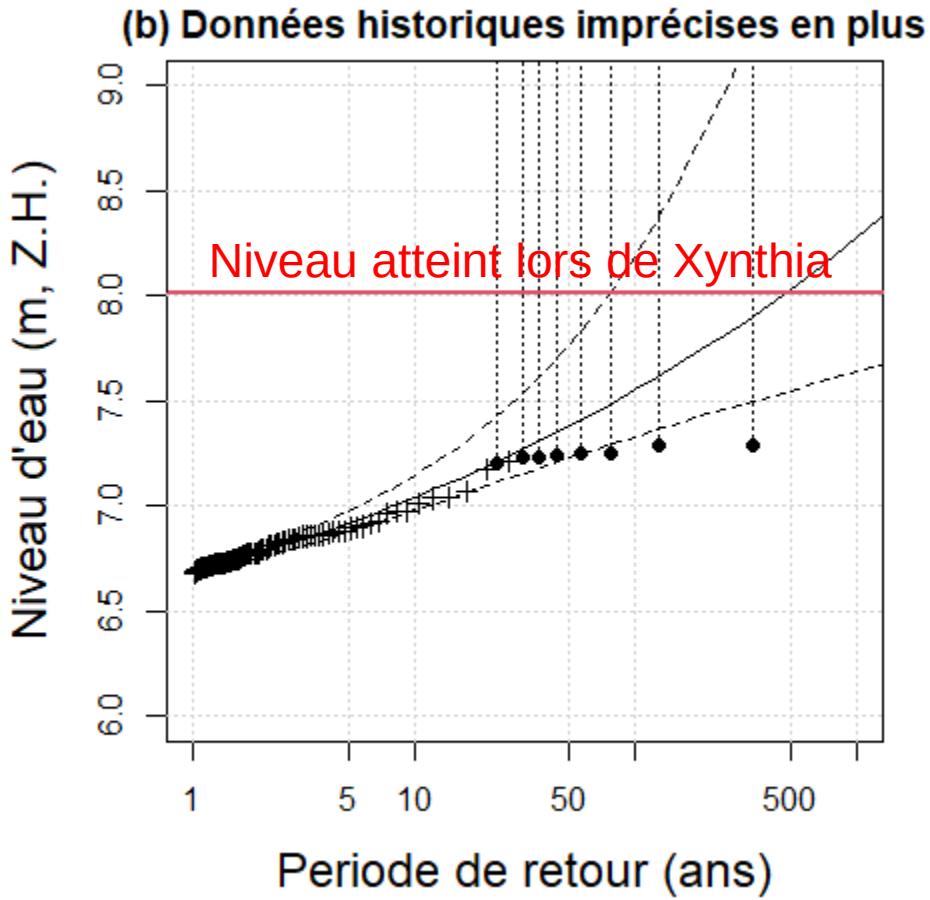
$$f(D_{his}|\theta) = \prod_{j=1}^{h_1} g_\theta(y_j) \left(1 - G_\theta(X_0)\right)^{h_2} \prod_{l=1}^{h_3} \left[G_\theta\left(y_l{}^{ub}\right) - G_\theta\left(y_l{}^{lb}\right)\right] \frac{(\lambda n_y)^h}{h!} exp\left(-\lambda n_y [1 - G_\theta(X_0)]\right)$$

Un cadre flexible: cadre Bayésien

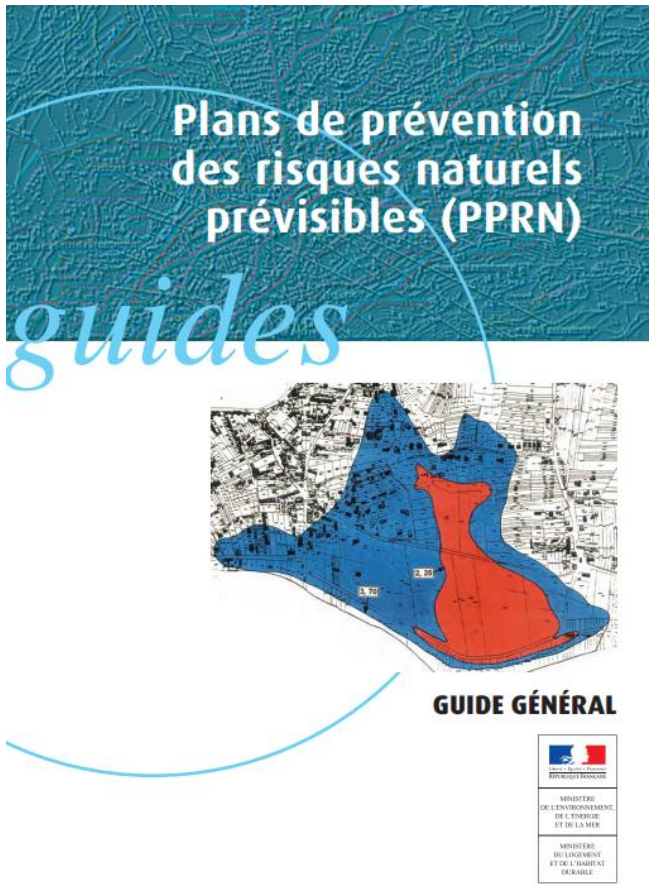
[basé sur Bulteau et al., 2015]

>> Aurait-on pu prédire la probabilité annuelle de dépassement d'un tel niveau d'eau avant 2010 ?





L'aspect multivarié - le point de vue réglementaire



https://www.actu-environnement.com/media/pdf/guide-pprn.pdf

Dans le cas d'un PPR littoral, plusieurs facteurs influencent l'aléa de référence : une marée de fort coefficient, une surcote météorologique lors d'une tempête, un vent violent orienté de la mer vers la côte, la houle, les phénomènes locaux (mascaret).

En complément de l'aléa de référence, le PPR littoral définit un aléa à l'horizon 2100, afin de prendre en compte les effets du changement climatique.

Si l'aléa de référence correspond à un événement historique non répertorié dans la base de données relative à cet aléa, il conviendra d'y ajouter cet événement, accompagné des documents source numérisés.

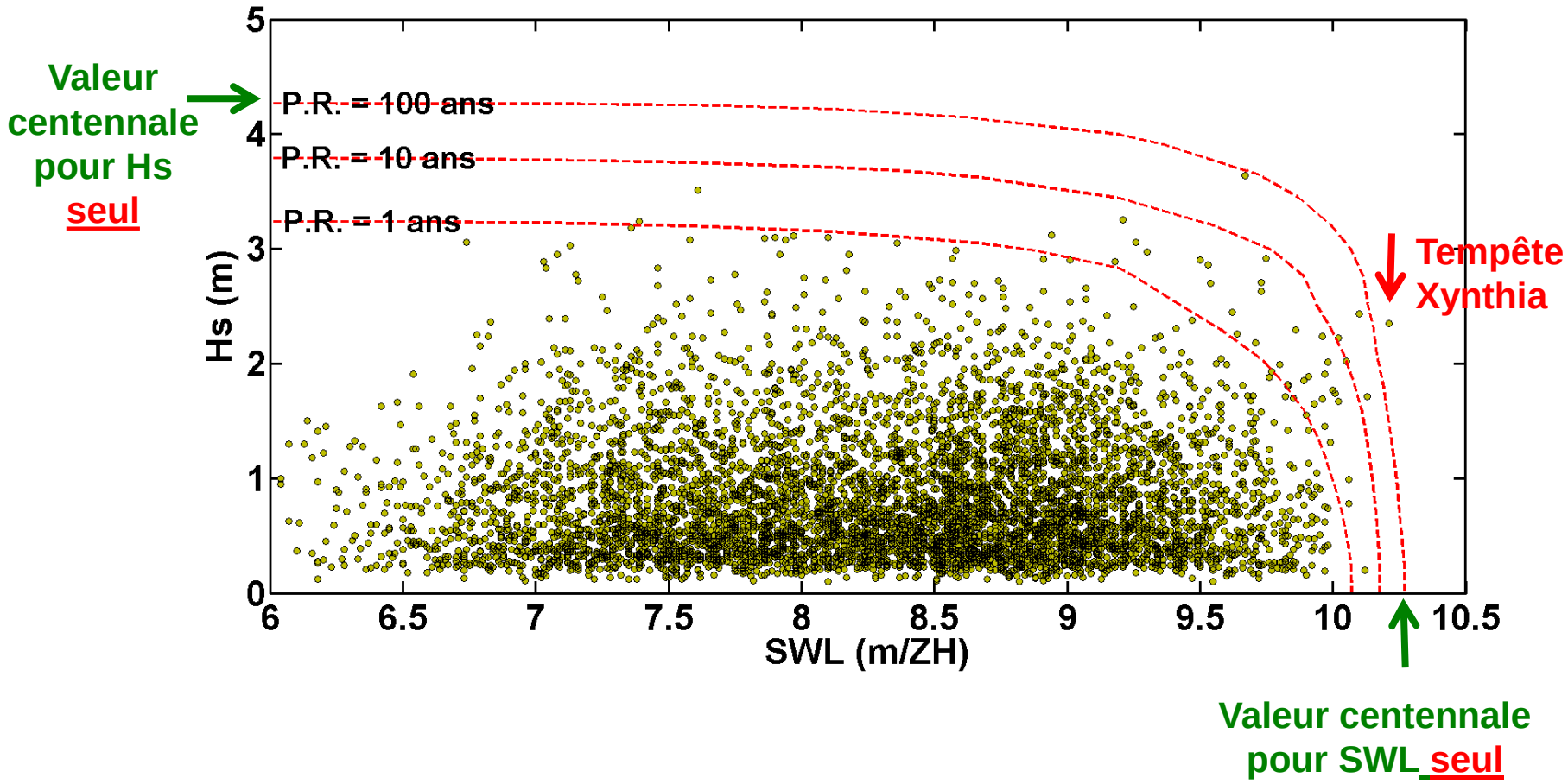
[…]

Photographie 9 **Érosion du littoral à Cayenne (Guyane)**

L'élévation du niveau des mers aggrave le phénomène d'érosion
Source : Gérald Garry

Hauteur significative des vagues Hs versus Niveau d'eau au large SWL

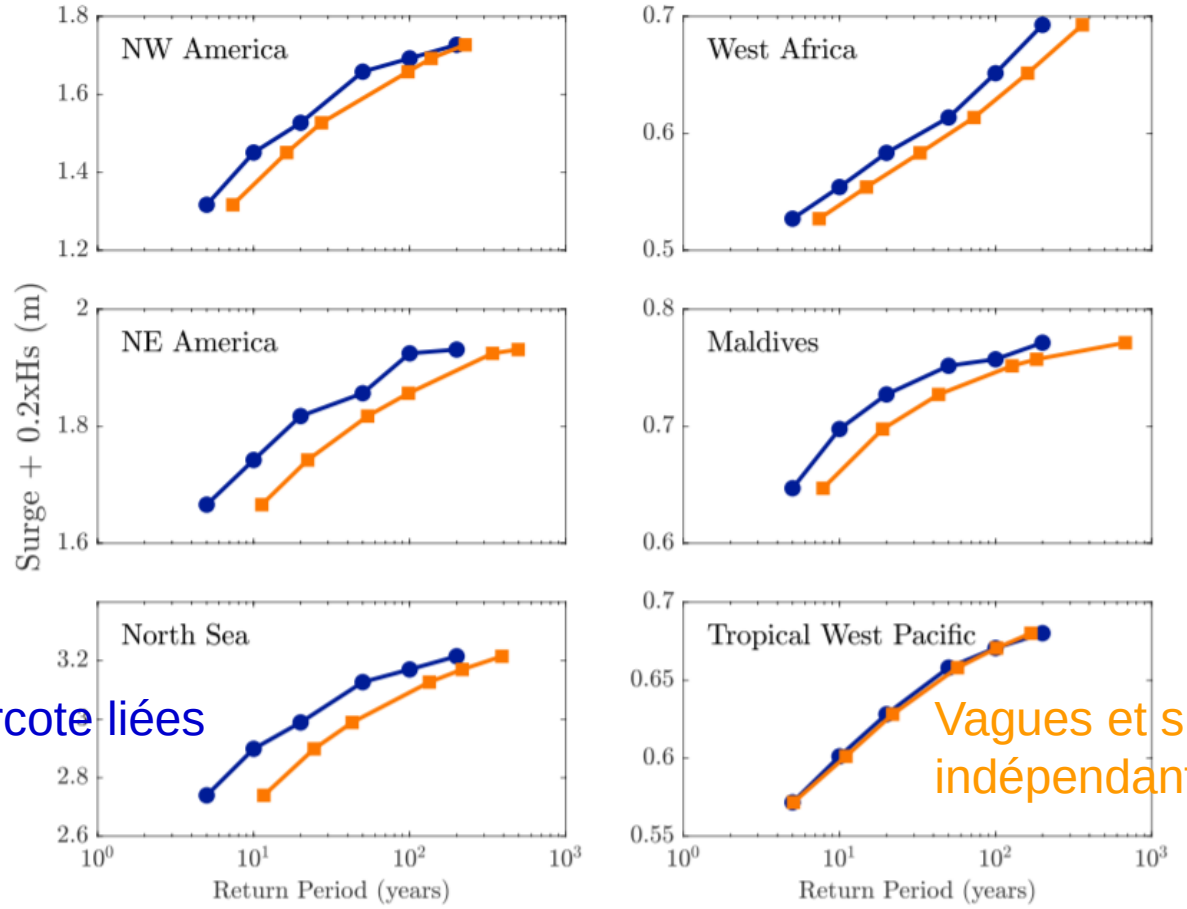
Approche: copule Gaussienne (Hawkes et al., 2002)



PPRl Dieppe (2017) – Le Roy et al.

Hauteur significative des vagues Hs versus Niveau d'eau au large SWL

Approche: sélection de copules (Clayton, Frank, Gumbel, Gaussian, and t-Student)



Vagues et surcote liées

Vagues et surcote indépendantes

Figure 3. Joint (blue) and independent (orange) return levels of water levels resulting from surge and H_s extremes.

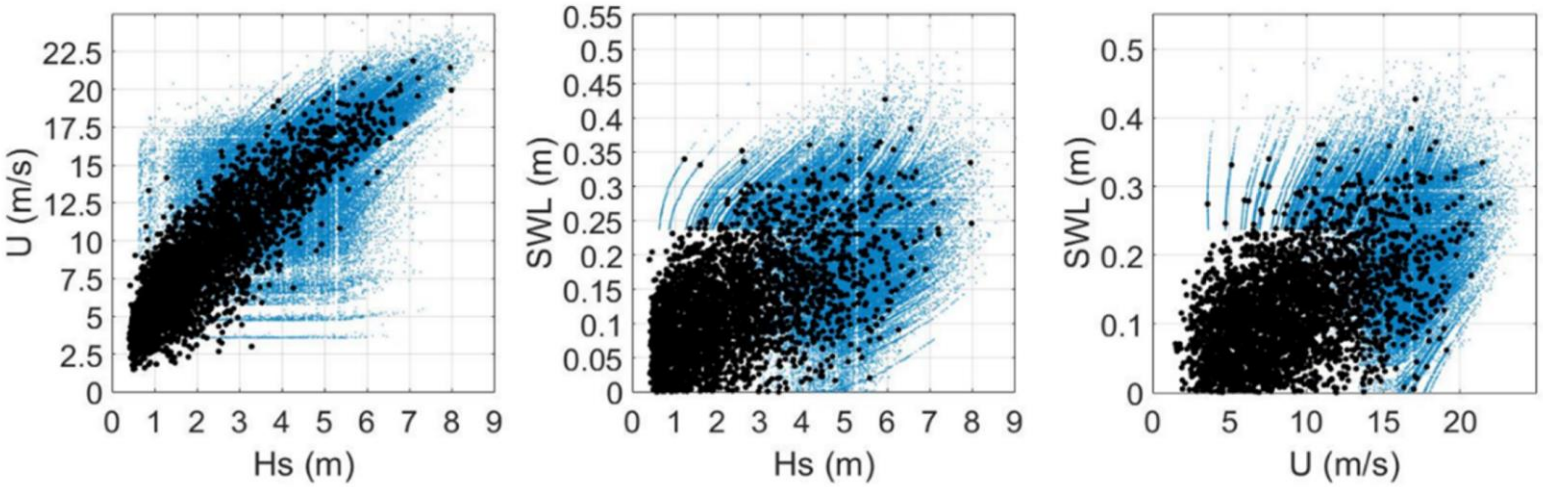
[Marcos et al., GRL, (2019)]

Géosciences pour une Terre durable
brgm

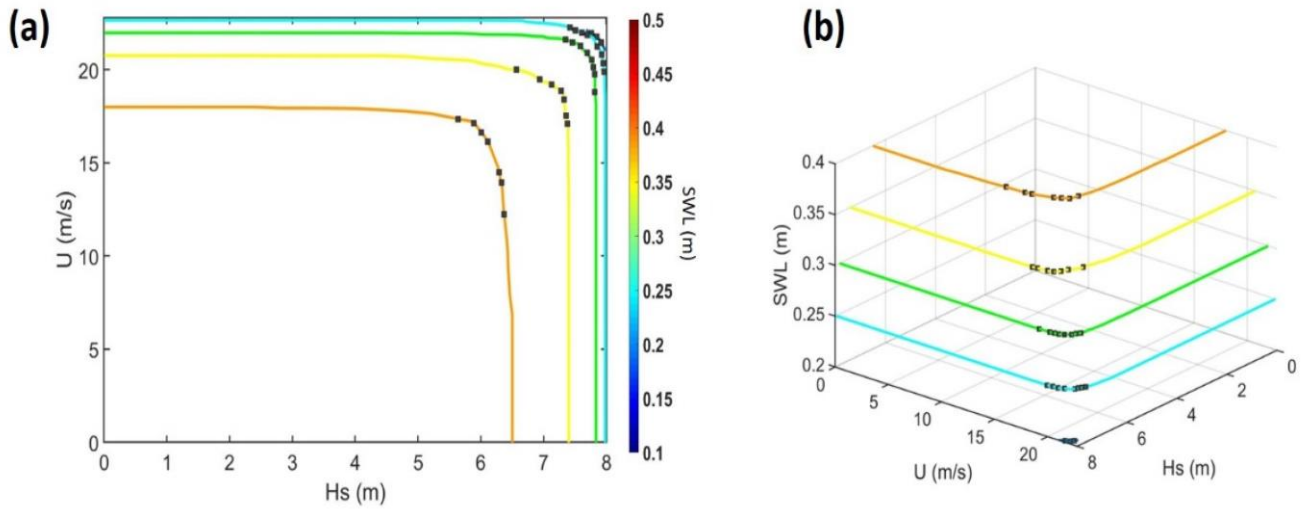
En pratique…

Approche: « non paramétrique » de **[Heffernan & Tawn 2004]**

3 variables extrêmes liées

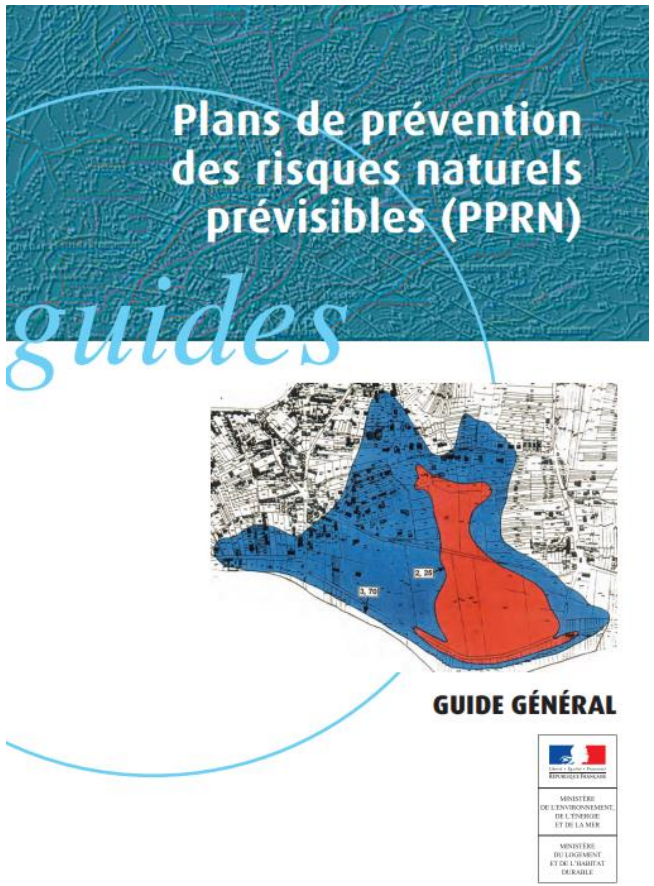


Visualisation et manipulation



[Louisor et al. 2021]

Le changement climatique - le point de vue réglementaire



https://www.actu-environnement.com/media/pdf/guide-pprn.pdf

[…]

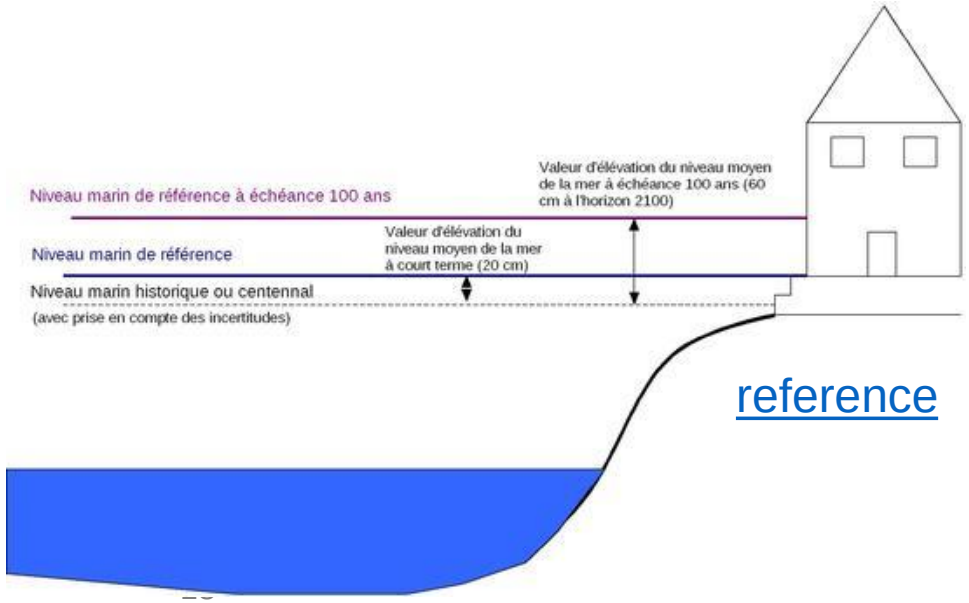
Dans le cas d'un PPR littoral, plusieurs facteurs influencent l'aléa de référence : une marée de fort coefficient, une surcote météorologique lors d'une tempête, un vent violent orienté de la mer vers la côte, la houle, les phénomènes locaux (mascaret).

En complément de l'aléa de référence, le PPR littoral définit un aléa à l'horizon 2100, afin de prendre en compte les effets du changement climatique.

Si l'aléa de référence correspond à un événement historique non répertorié dans la base de données relative à cet aléa, il conviendra d'y ajouter cet événement, accompagné des documents source numérisés.

Photographie 9. **Érosion du littoral à Cayenne (Guyane)**

L'élévation du niveau des mers aggrave le phénomène d'érosion
Source : Gérald Garry



reference

Non-stationnarité des extrêmes

Correlation (Pearson) between NAO and 99th percentile

Marcos & Woodworth (2017)

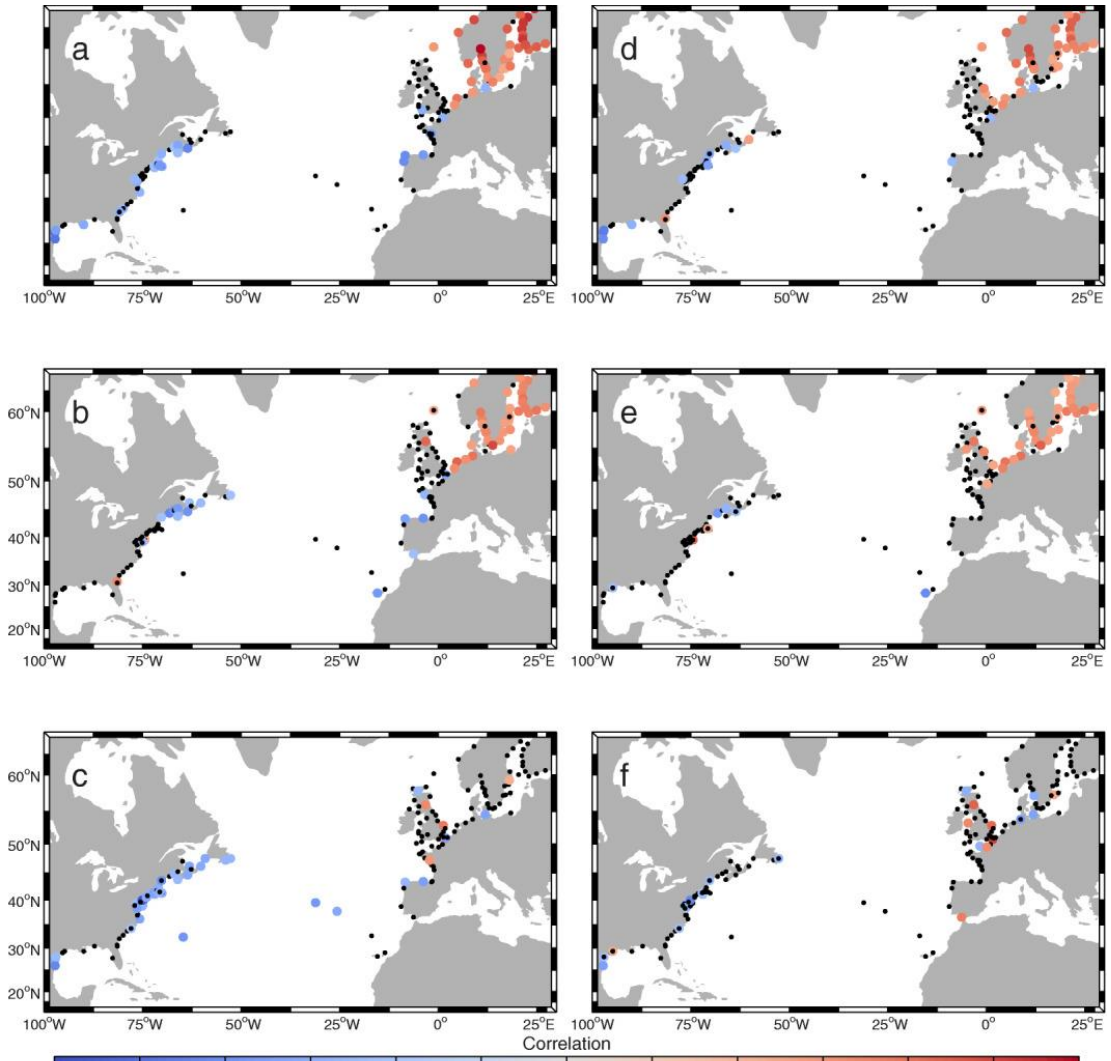
Total water level

After removal of MSL (low passed filter)

All

Winter

Summer

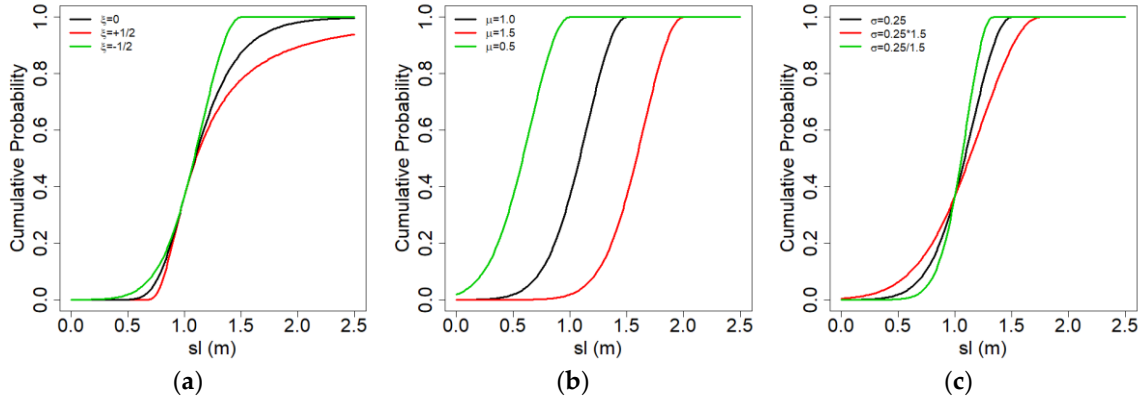


Géosciences pour une Terre durable
brgm

Non-stationnarité dans la distribution 'Generalized Extreme Value'

$$\Pr(SL \le sl) = \exp\left(-\left(1+\left(\frac{sl-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-\xi}\right)$$

ξ shape parameter
μ location
σ scale parameter



Consider GEV(θ) with θ=(μ,σ,ξ)

$$f_\theta(x) = \beta_1 . x + \beta_0$$ → widely-used assumption

$$f_\theta(x) = \sum_k^K \beta_k b_k(x)$$ → Data-driven smooth approach (GAM model)

with

$b_k(.)$ the spline basis function

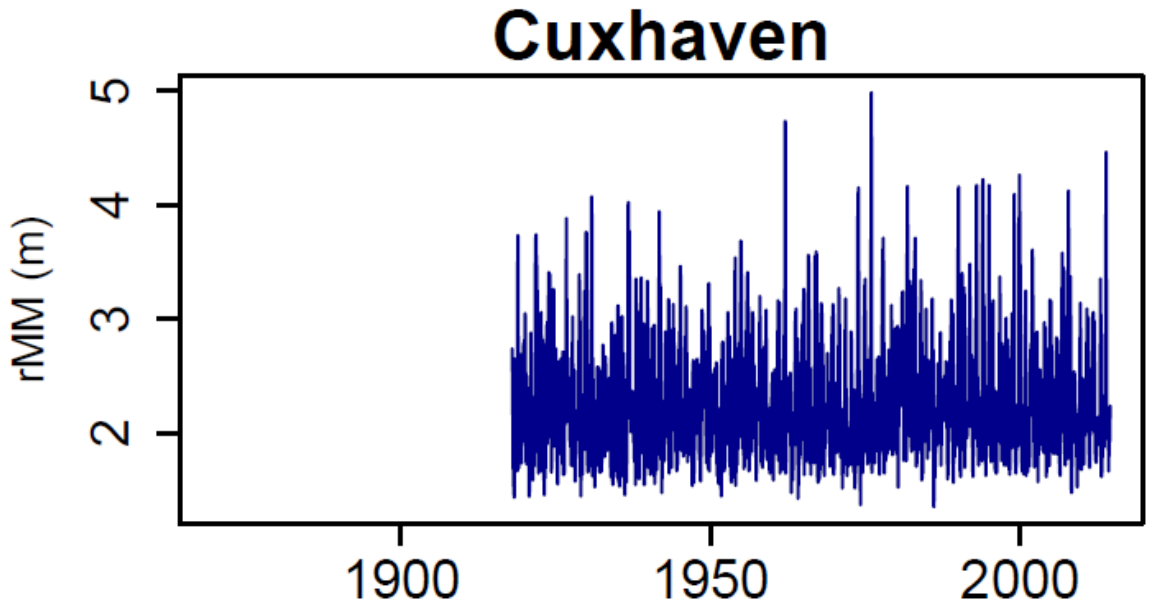
β_k regression coefficients

K the basis size → maximum complexity

Géosciences pour une Terre durable
brgm

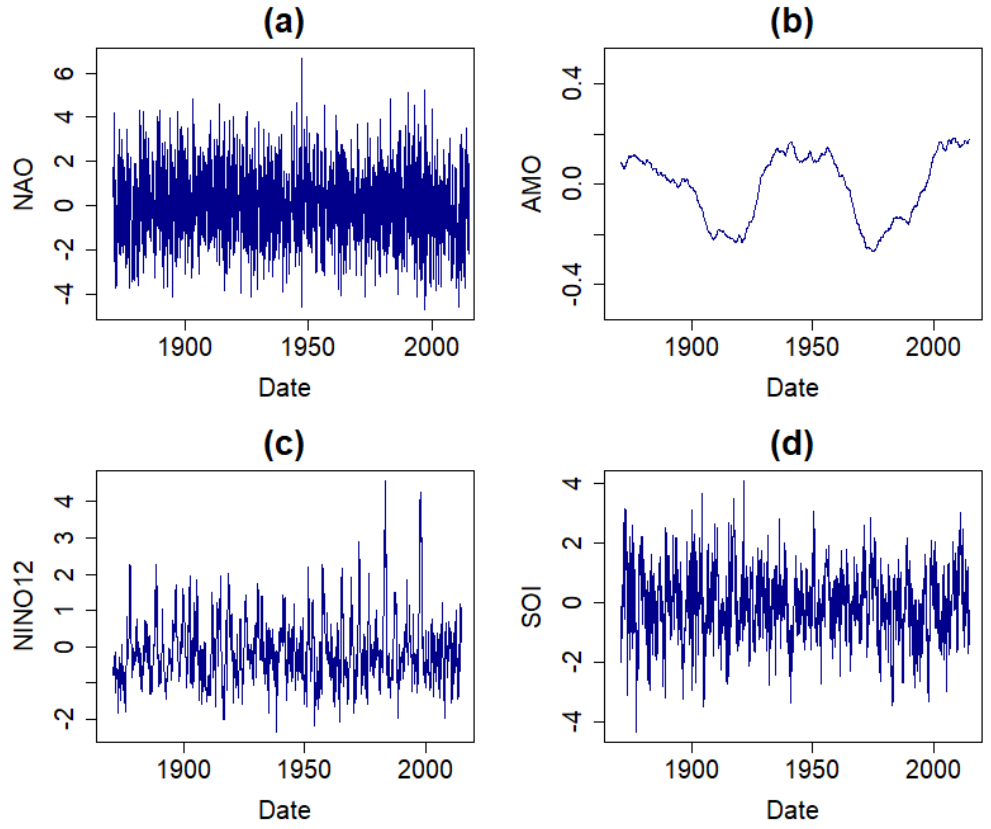
Application à Cuxhaven (DE)

[Rohmer et al. (2021)]



rMM max mensuelle des niveau d'eaux
(moins la médiane annuelle ~ signal MSL)

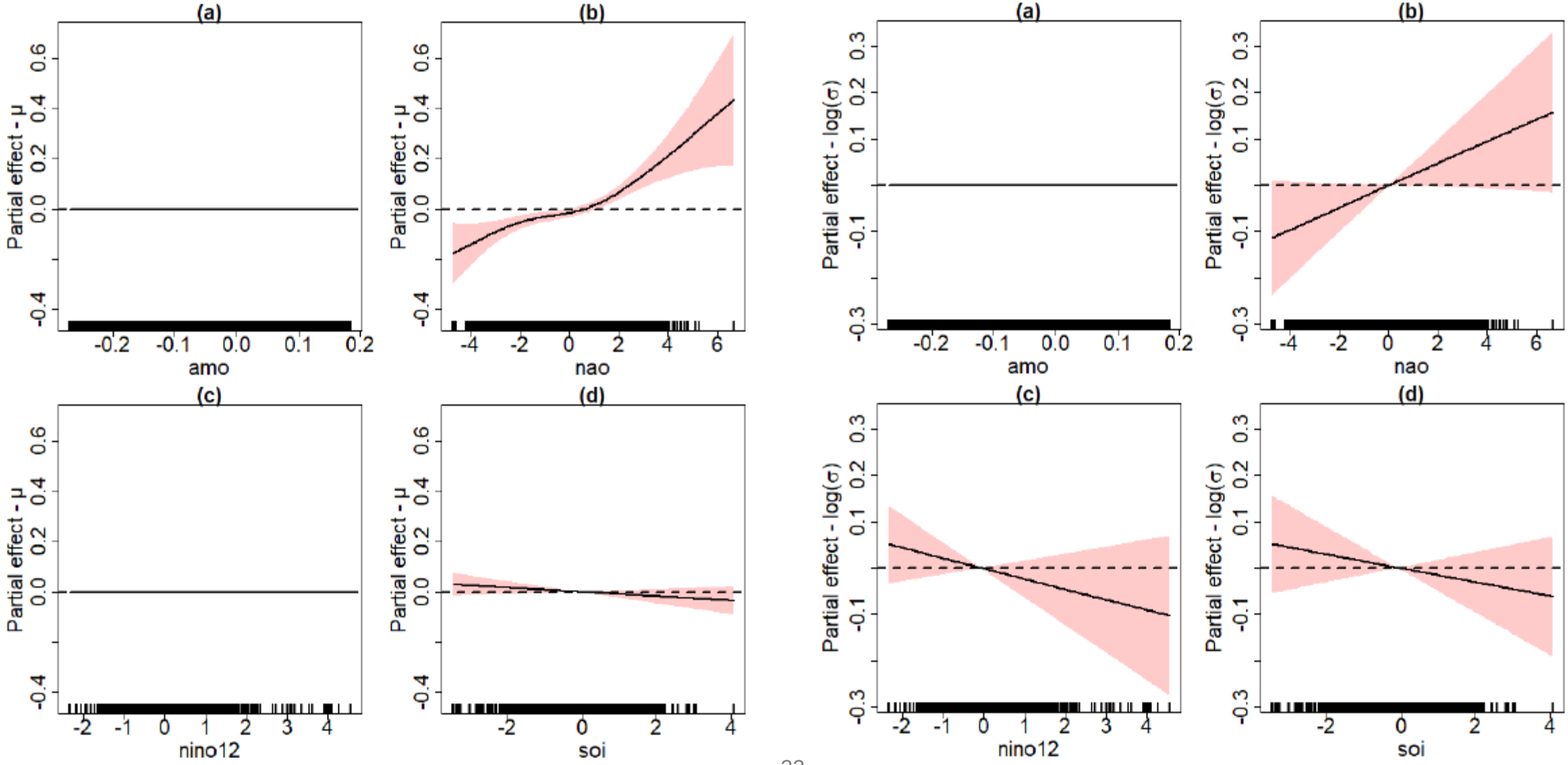
Indices climatiques



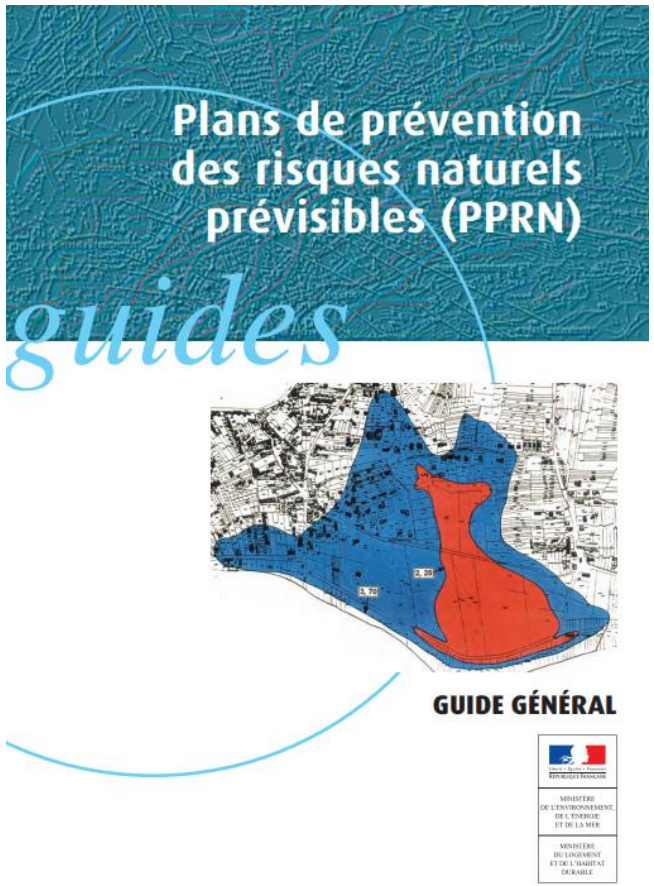
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Application à Cuxhaven (DE)

[Rohmer et al. (2021)]



En résumé



https://www.actu-environnement.com/media/pdf/guide-pprn.pdf

- Outils disponibles pour les études des valeurs extrêmes à 1 et 2 voire 3 variables

- Questions ouvertes:
  - Surmonter le manque de données (p.e. intégrer les données historiques et leurs incertitudes)
  - Méthode robuste pour le multivarié (**>3 variables**)
  - Intégrer les non-stationnarités (temps et/ou spatial + autres, p.e. direction)
  - Projections futures

Merci pour votre attention!