

Niveau de la mer et processus longue mémoire

M. Becker¹, M. Karpytchev¹, M. Marcos², S. Jevrejeva⁴ and S. Lennartz-Sassinek³

1. LIENSs CNRS, France
2. IMEDEA, Spain
3. NOC, Liverpool, United Kingdom,
4. Institute for Geophysics and Meteorology, Germany

contact : melanie.becker@univ-lr.fr



Sommaire

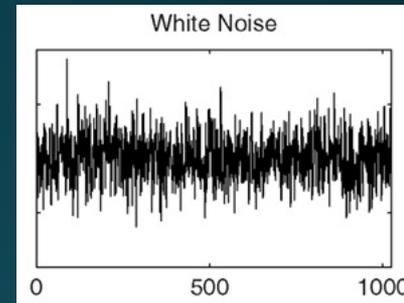
1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?
2. Pourquoi faut-il changer de paradigme ?
3. Détection : Positionnement du problème.
4. Applications :
 - Tendances du niveau de la mer
 - Qualité des modèles de climat

1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

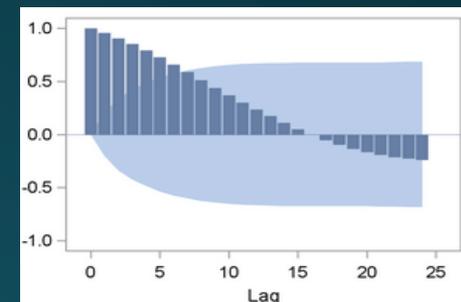
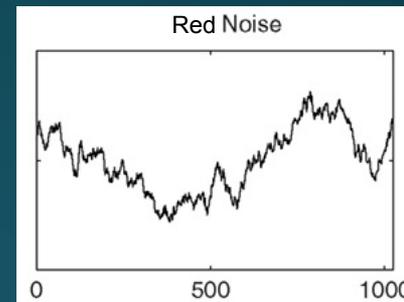
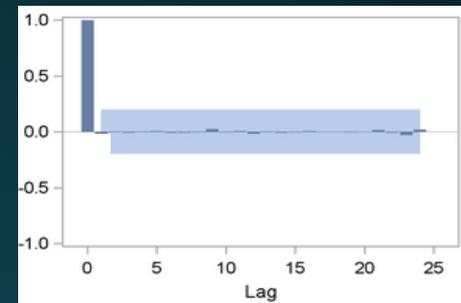
- sans mémoire : la v.a. à la date t , X_t , n'est pas corrélée aux v.a. aux dates précédentes X_{t-1} , X_{t-2} , ...
- mémoire longue : l'effet d'un évènement à la date t , est permanent et se répercute sur l'évolution future de la v.a.

[Hurst et al., 1965; Mandelbrot and Wallis, 1968, 1969]

Types de bruit caractéristique



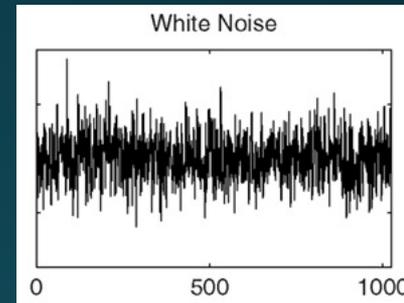
Fonction d'autocorrélation



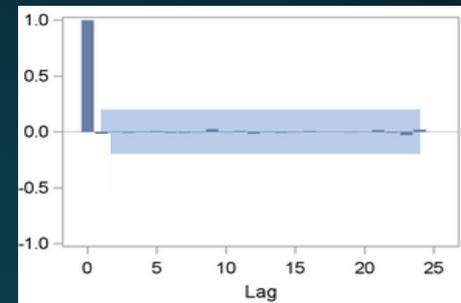
1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

- sans mémoire : la v.a. à la date t , X_t , n'est pas corrélée aux v.a. aux dates précédentes X_{t-1}, X_{t-2}, \dots

Types de bruit caractéristique

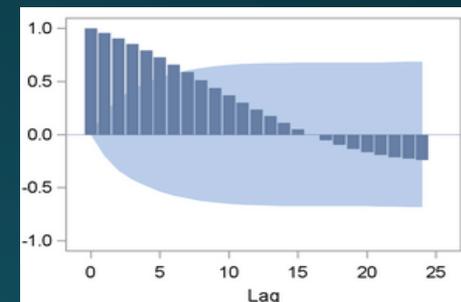
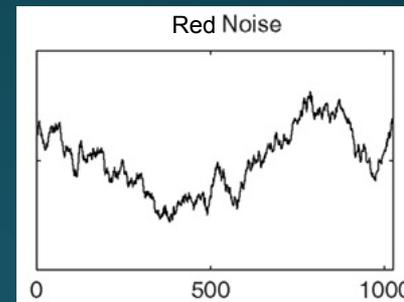


Fonction d'autocorrélation



- mémoire longue : l'effet d'un évènement à la date t , est permanent et se répercute sur l'évolution future de la v.a.

[Hurst et al., 1965; Mandelbrot and Wallis, 1968, 1969]



1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

Le niveau actuel de la mer dépend donc des valeurs qui l'ont précédé comme s'il possédait la «mémoire» de toute l'histoire antérieure de ses fluctuations.

1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

Le niveau actuel de la mer dépend donc des valeurs qui l'ont précédé comme s'il possédait la «mémoire» de toute l'histoire antérieure de ses fluctuations.

Et alors ?

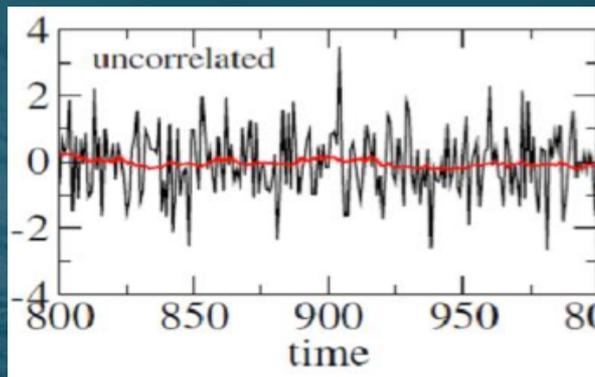
1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

Le niveau actuel de la mer dépend donc des valeurs qui l'ont précédé comme s'il possédait la «mémoire» de toute l'histoire antérieure de ses fluctuations.

Et alors ?



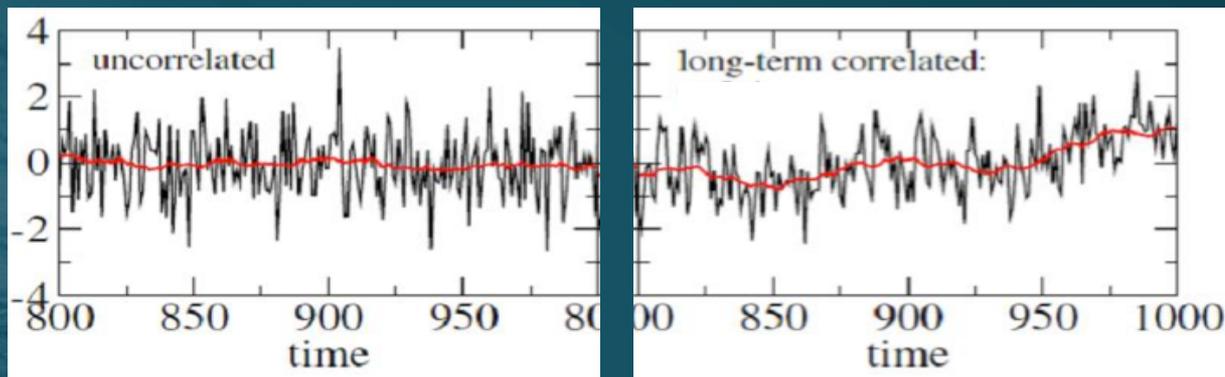
1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

Le niveau actuel de la mer dépend donc des valeurs qui l'ont précédé comme s'il possédait la «mémoire» de toute l'histoire antérieure de ses fluctuations.

Et alors ?



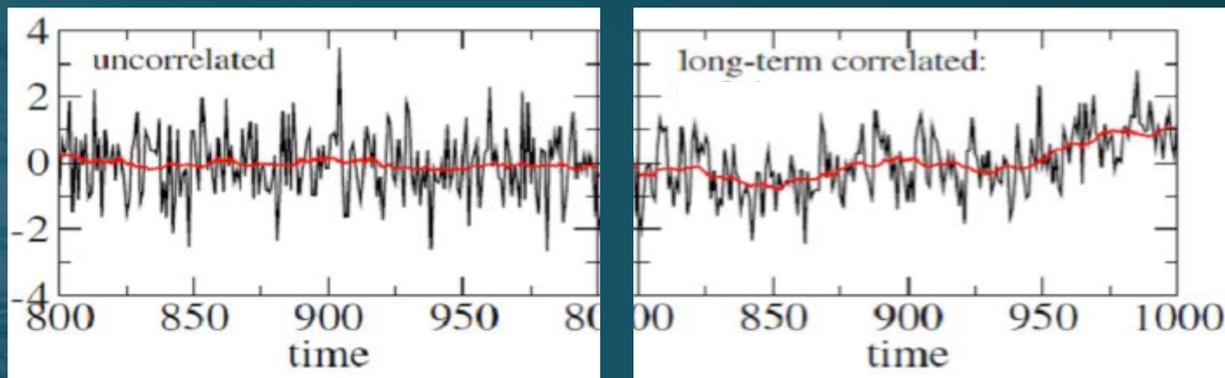
1. Le niveau de la mer a-t-il une mémoire ?

Longue mémoire → un niveau de la mer bas est plus susceptible d'être suivi par un niveau de la mer bas tandis qu'un niveau de mer haut sera plus probablement suivi d'un niveau élevé.

Agnew, 1992; Beretta et al., 2005; Barbosa et al., 2008; Bos et al., 2013; Dangersdorf et al. 2014 etc

Le niveau actuel de la mer dépend donc des valeurs qui l'ont précédé comme s'il possédait la «mémoire» de toute l'histoire antérieure de ses fluctuations.

Et alors ?



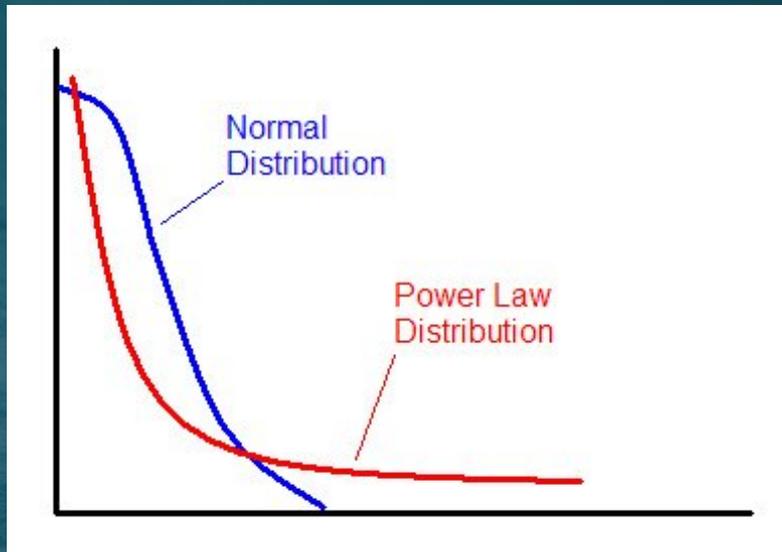
variations naturelles,
dues aux
corrélations à long-
terme et/ou
tendances externes

?

2. Pourquoi faut-il changer de paradigme ?

Le niveau de la mer a de la mémoire !

- Invalide l'utilisation de la loi normale qui ne s'applique qu'à des phénomènes indépendants.
- Conduit à utiliser des lois de puissance [Pareto 1896; Zipf 1949; Hurst et al., 1965; Mandelbrot 1968, 1969]

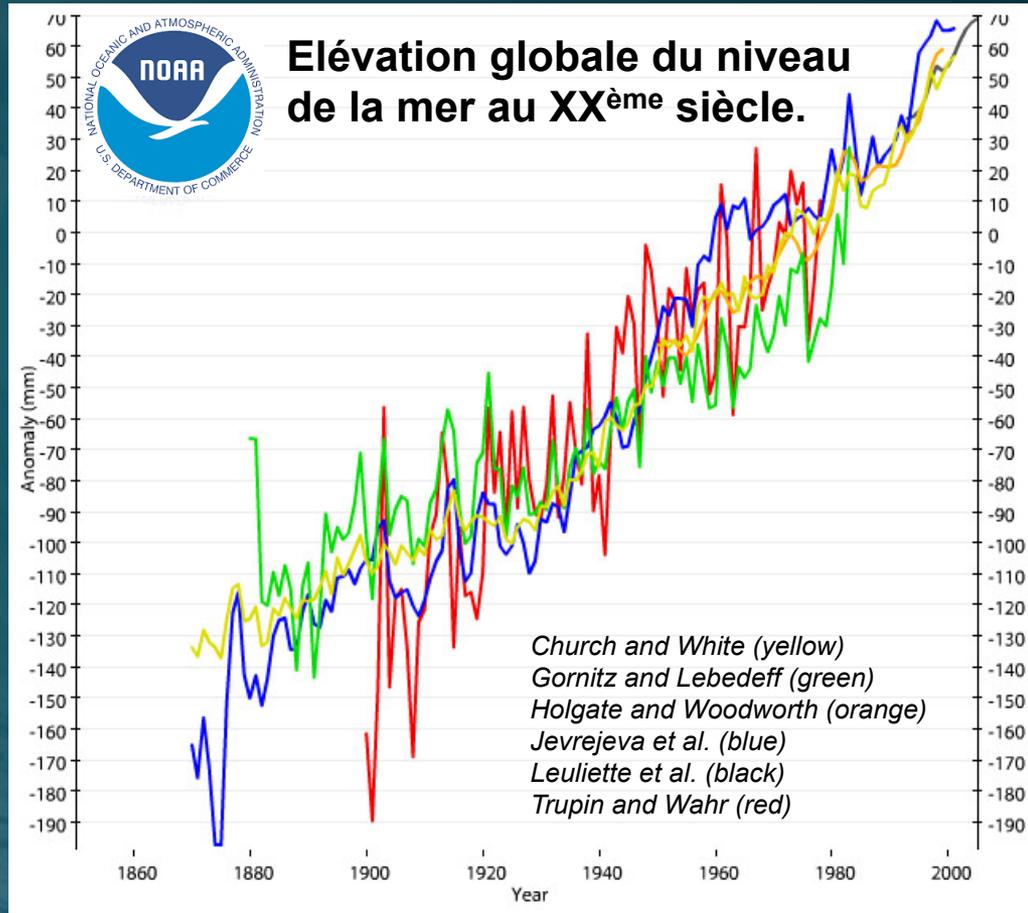


Comparaison schématique :

la queue de la loi de puissance est beaucoup plus longue

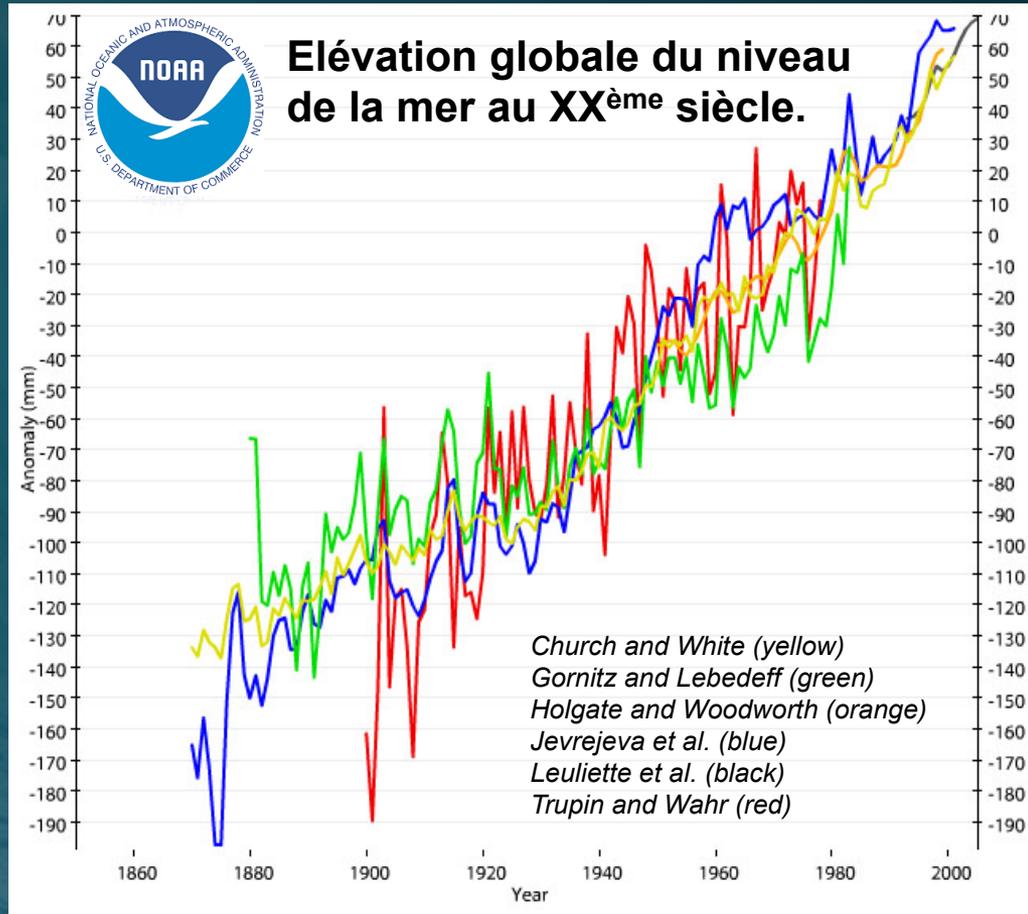
→ Les événements extrêmes beaucoup plus probables.

3. Détection : positionnement du problème



- Fluctuations basses fréquences 20/30/60 ans.... [Jevrejeva et al. 2006, 2008, Chambers et al. 2012...]
- Méthode spectrale, modélisation, SSA...

3. Détection : positionnement du problème



- Fluctuations basses fréquences 20/30/60 ans.... [Jevrejeva et al. 2006, 2008, Chambers et al. 2012...]
- Méthode spectrale, modélisation, SSA...

Approche originale : des physiciens allemands Bunde & Lennartz appliquée à l'étude de l'atmosphère.



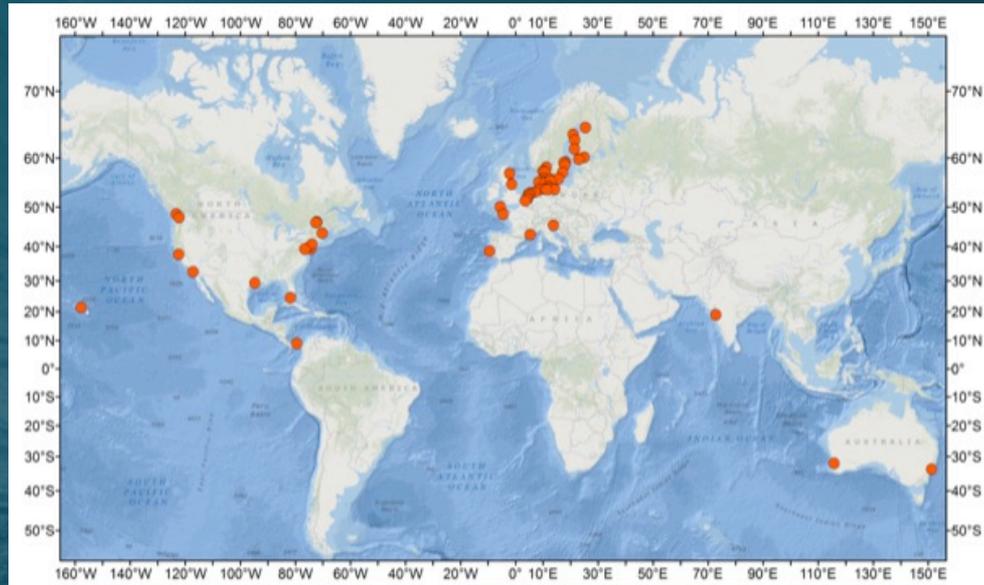
Caractériser la variabilité interne du système

4.1 Applications :

Les tendances à long-terme du niveau de la mer : naturelles ou anthropiques ?

Tide gauges -TG

- 59 long-term monthly mean > 100 yr [PSMSL , 2014; Holgate et al., 2013]
Only well-known tide gauges
- seasonal variations removed



Méthodologie

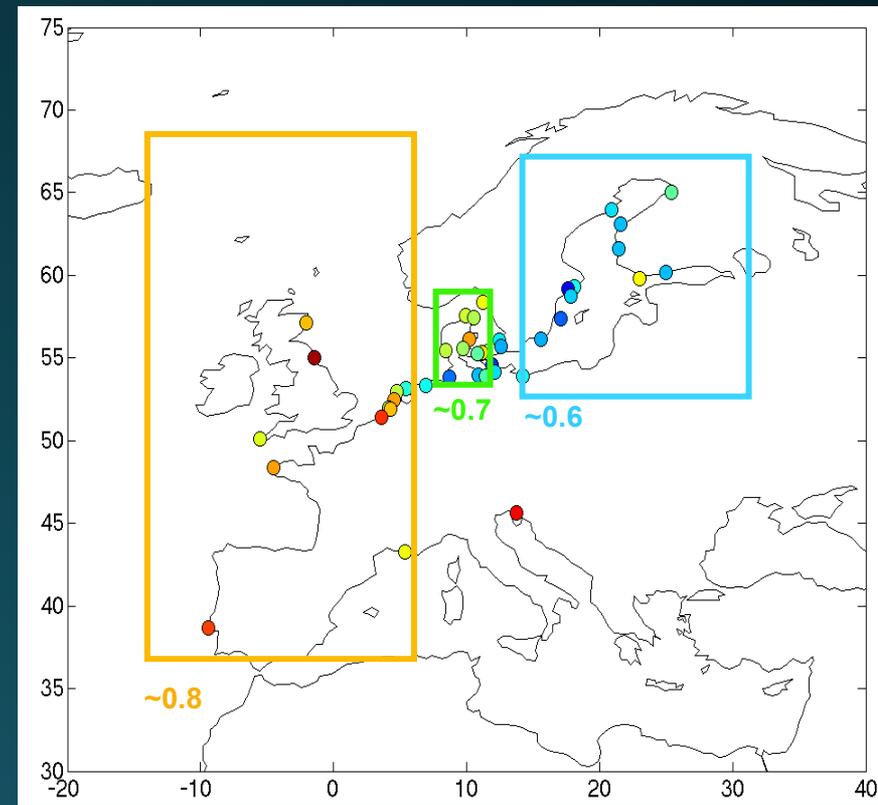
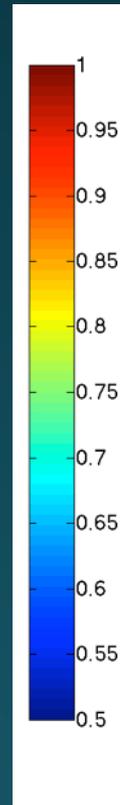
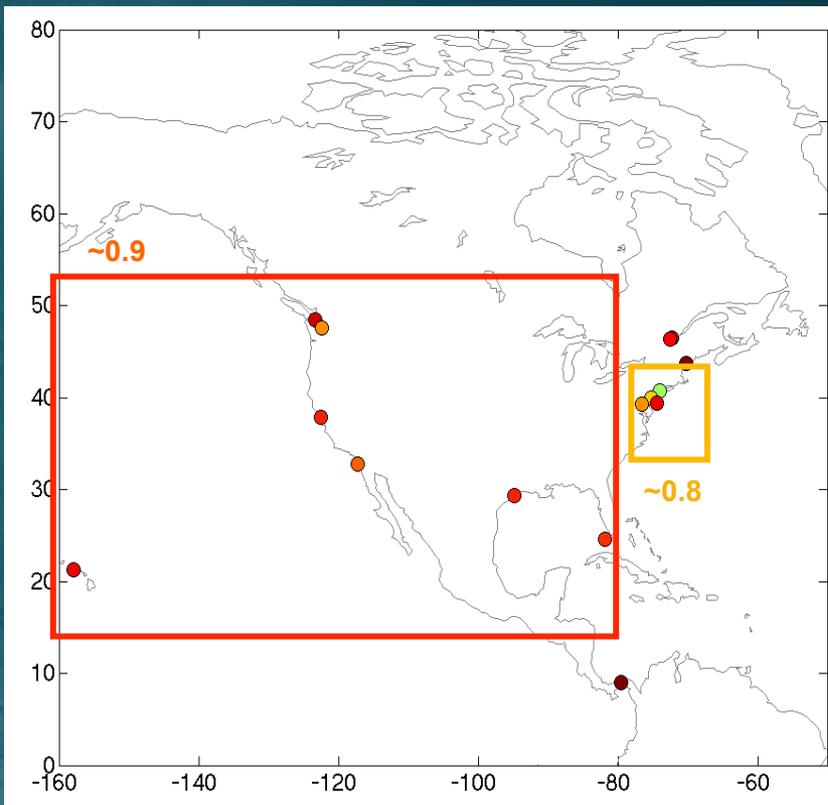
1. Exposant de Hurst α :

probabilité pour qu'un évènement soit suivi par un évènement similaire → longue mémoire

2nd order detrended fluctuation analysis (DFA2)
[Kantelhardt et al., 2001].

Hurst exponent, α

$\alpha=0.5$ random walk
 $\alpha>0.5$ long-memory



α varies from one region to another reflecting mainly local/regional phenomena
[Barbosa et al. 2008, Hughes and Williams 2010 and Bos et al. 2013].

4.1 Méthode : The possible external sea level change, Δ_{ext}

Lennartz and Bunde [2009, 2011, 2012] : the probability density function $P(x, \alpha, L)$ of a relative increase of magnitude x in a power-law series of length L with the Hurst exponent α .

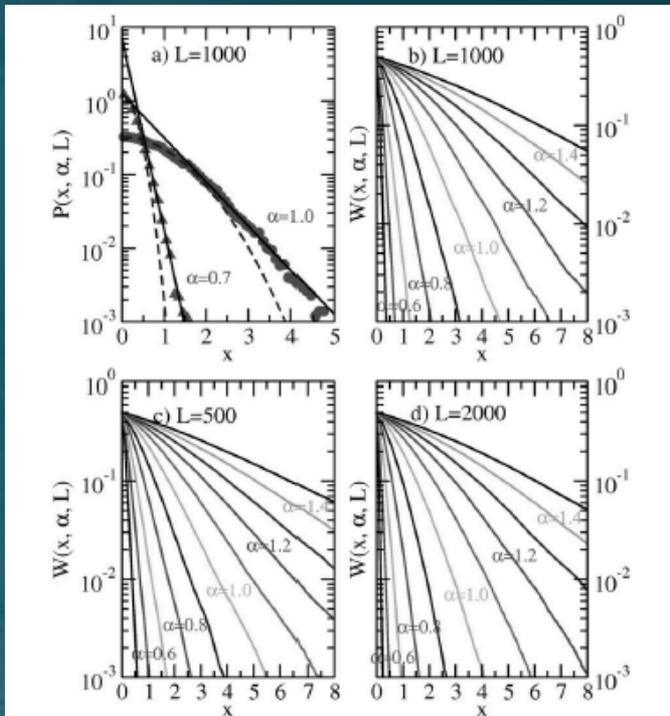


Figure 8. (a) PDF $P(x, \alpha; L)$ of the relative temperature increase $x = \Delta/\sigma_t$ of synthetic long-term correlated records in a time window $L = 1000$. The circles represent the PDF for $\alpha = 1.0$, and the triangles are for $\alpha = 0.7$. The dashed lines are Gaussians, which fit the data best for small arguments, while the straight lines are exponentials, which fit the data best for large arguments. Cumulative probability $W(x, \alpha; L)$ for (b) $L = 1000$, (c) $L = 500$, and (d) $L = 2000$ for fluctuation exponents α between 0.5 and 1.5 (from left to right). After Lennartz and Bunde [2011].

exceedance probability :

$$W(x, \alpha; L) = \int_x^{\infty} P(x', \alpha; L) dx'$$

bounds of the confidence interval

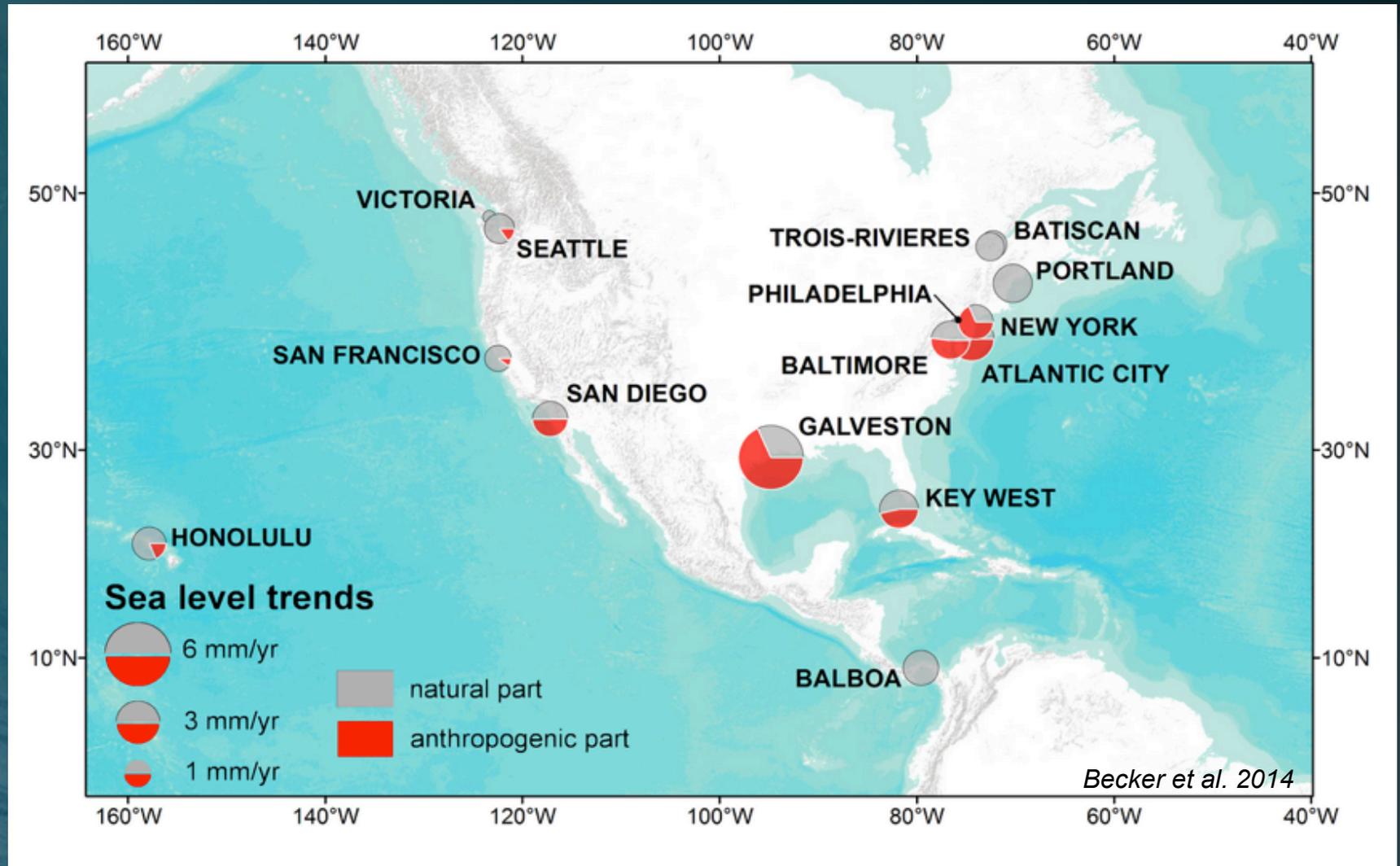
$$x_Q = W^{-1}((1-Q)/2, \alpha; L).$$

Q : confidence level of testing the null-hypothesis “the observed x is of natural origin”. **$Q=0.99$**

if $x > x_Q$: trend is significantly anthropogenic at 99%
else
we cannot decide whether the anthropogenic sea level trend is present or not.

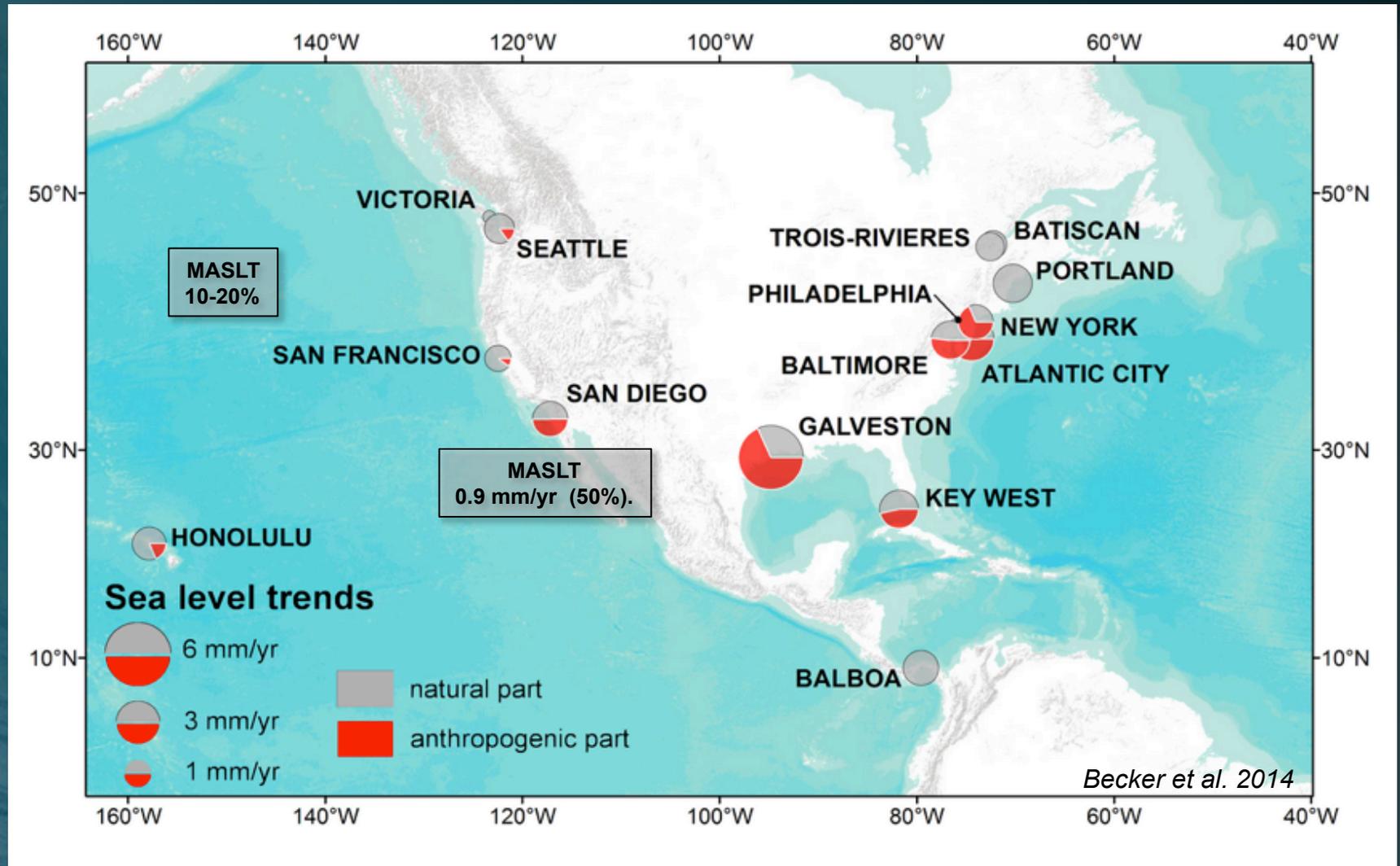
$$\Delta_{ext} = \sigma_t (x - x_Q)$$

Résultats : Amérique du Nord



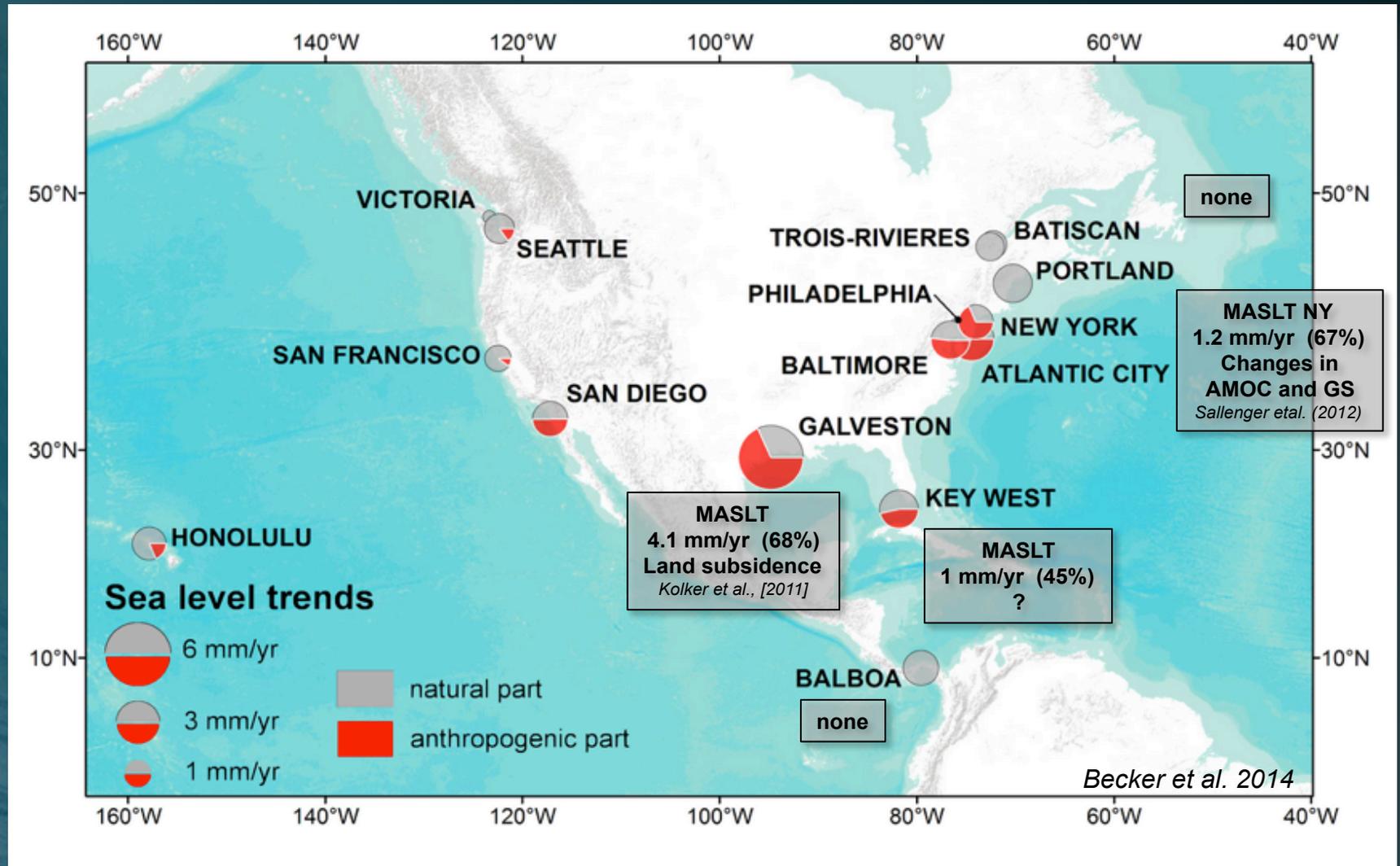
Minimum anthropogenic sea level trend (MASLT) - XXème siècle

Résultats : Amérique du Nord



Minimum anthropogenic sea level trend (MASLT) - XXème siècle

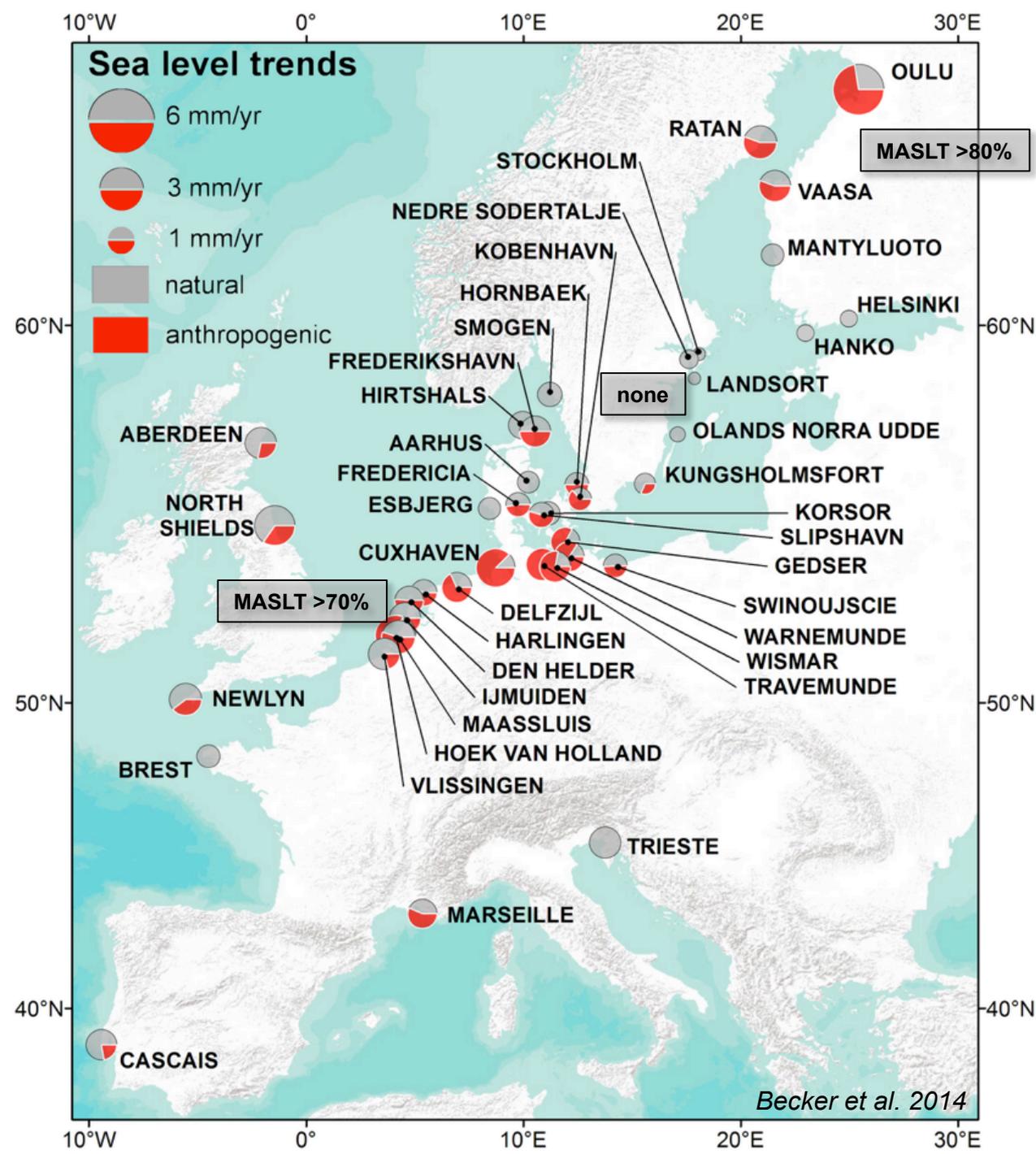
Résultats : Amérique du Nord



Minimum anthropogenic sea level trend (MASLT) - XXème siècle

Résultats : Europe de l'Ouest

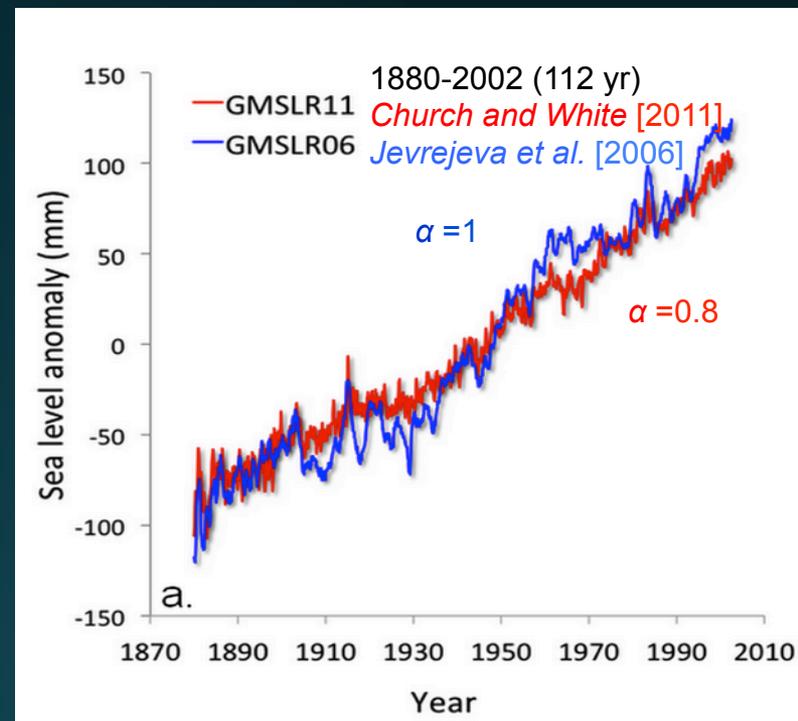
Minimum
anthropogenic sea
level trend (MASLT) -
XXème siècle



Résultats : Niveau de la mer globale

GMSLR06 and GMSLR11 reveal a presence of a significant unnatural SLC of at least 1 mm/yr and 1.3 mm/yr

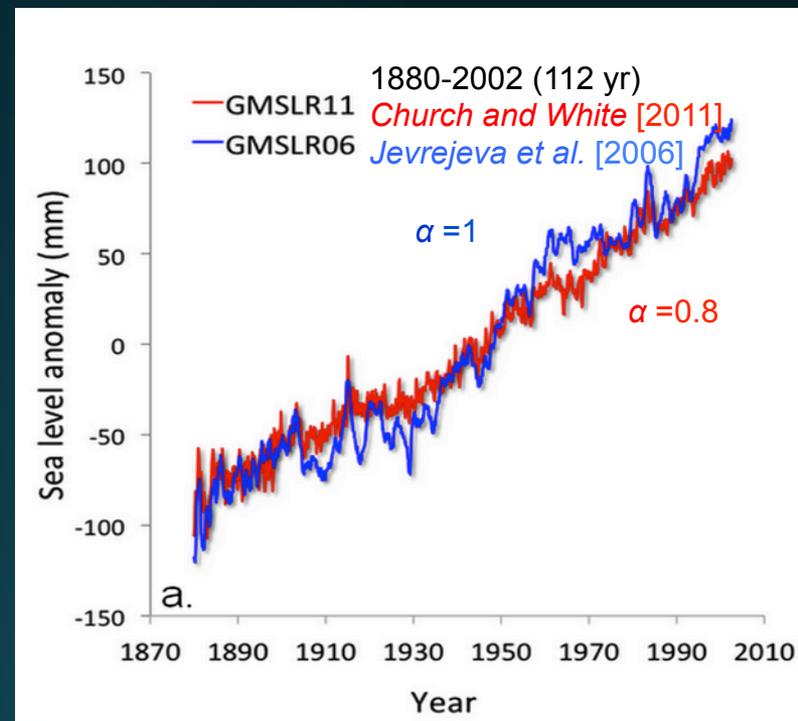
→ +50% of the total observed sea level trend during the XXth century.



Résultats : Niveau de la mer global

GMSLR06 and GMSLR11 reveal a presence of a significant unnatural SLC of at least 1 mm/yr and 1.3 mm/yr

→ +50% of the total observed sea level trend during the XXth century.



Conclusions :

- Longue mémoire impacte l'estimation de l'élévation du niveau de la mer
- Les deux tiers des longues séries marégraphiques présentent des tendances qui ne peuvent pas être expliquées sans l'influence de l'homme

4.2 Applications :

Comment caractériser la performance des modèles de climat à reproduire les fluctuations du niveau de la mer observé ?

Sea level in CMIP5 historical models (1850-2012)

CCSM4	MRI-CGCM3	bcc-csm1-1-m	NorESM1-M Nat
CESM1-BGC	CNRM-CM5-2	bcc-csm1-1	IPSL-CM5A-MR Nat
CMCC-CESM	MPI-ESM-LR	CMCC-CM	CNRM-CM5 Nat
CESM1-CAM5	MPI-ESM-MR	CanESM2	GISS-E2-R Nat
FGOALS-g2	CESM1-WACCM	HadGEM2-ES_	CCSM4 Nat
IPSL-CM5A-LR	CMCC-CMS	FGOALS-g2 Nat	GFDL-ESM2M Nat
IPSL-CM5A-MR	CNRM-CM5	MRI-CGCM3 Nat	CanESM2 Nat
IPSL-CM5B-LR	CESM1-FASTCHEM	GFDL-CM3 Nat	bcc-csm1-1 Nat
MPI-ESM-P	MRI-ESM1	HadGEM2-ES Nat	CSIRO-Mk3-6-0 Nat

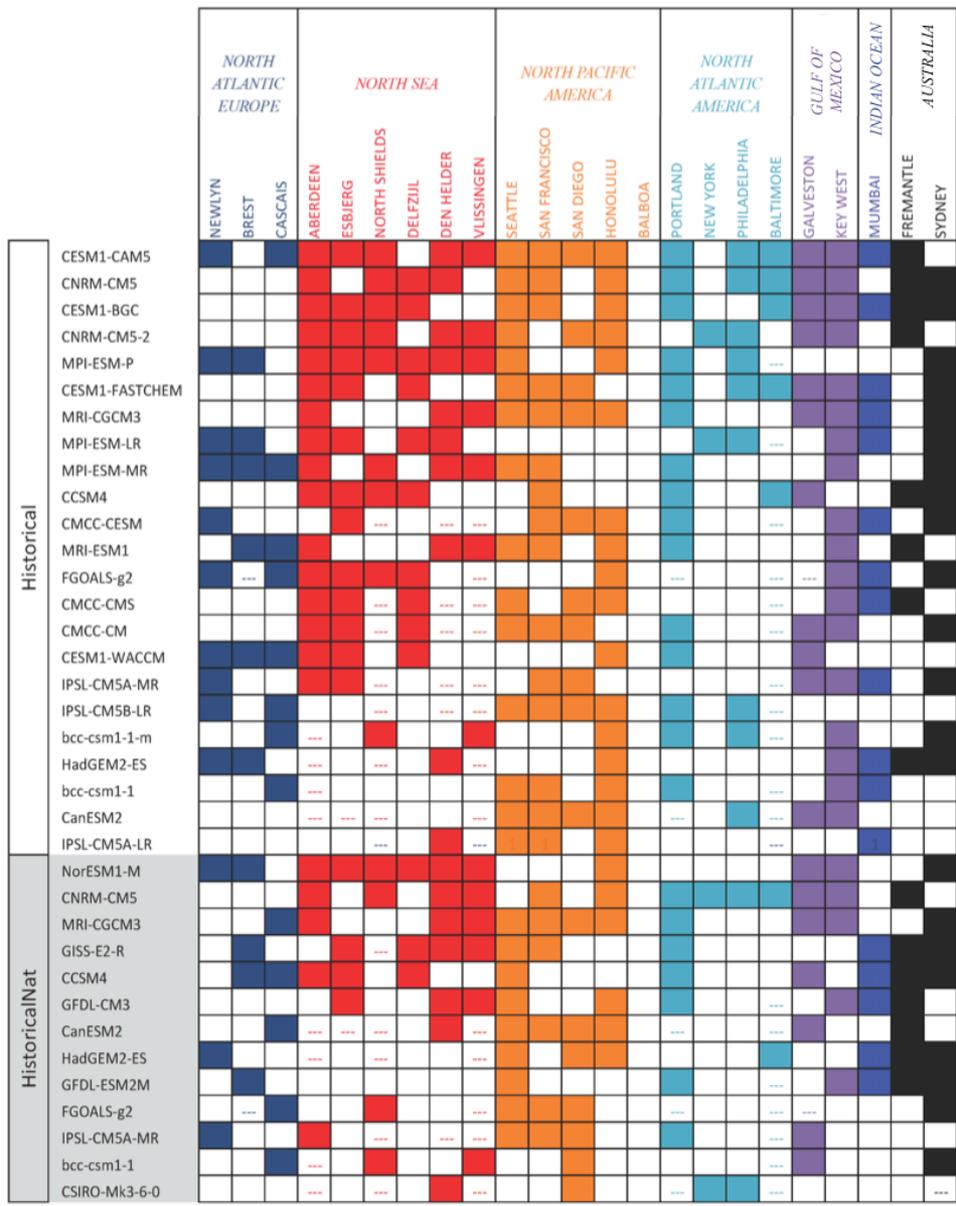
36 models



Exposant de Hurst α
?



23 marégraphes >100 yr



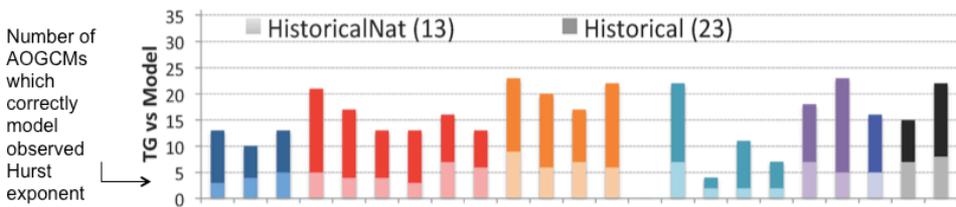
Number of observed Hurst exponent from TG which correctly model by AOGCM.



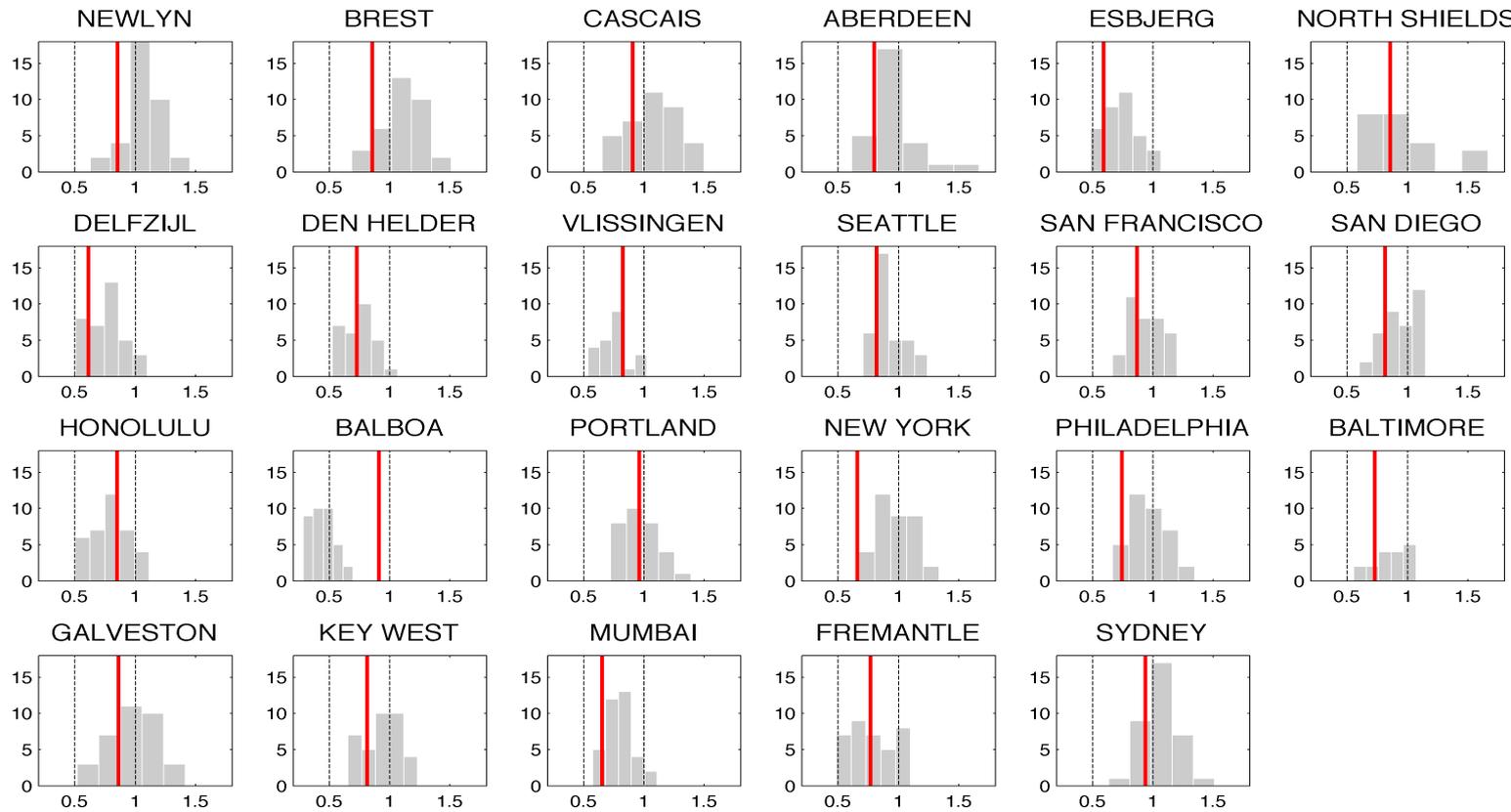
→ No systematic difference between historical and historicalNat (without anthropogenic influences) forcing runs.

→ NCAR CESM1-CAM5-historical run gives the best fit (18/23 TGs)

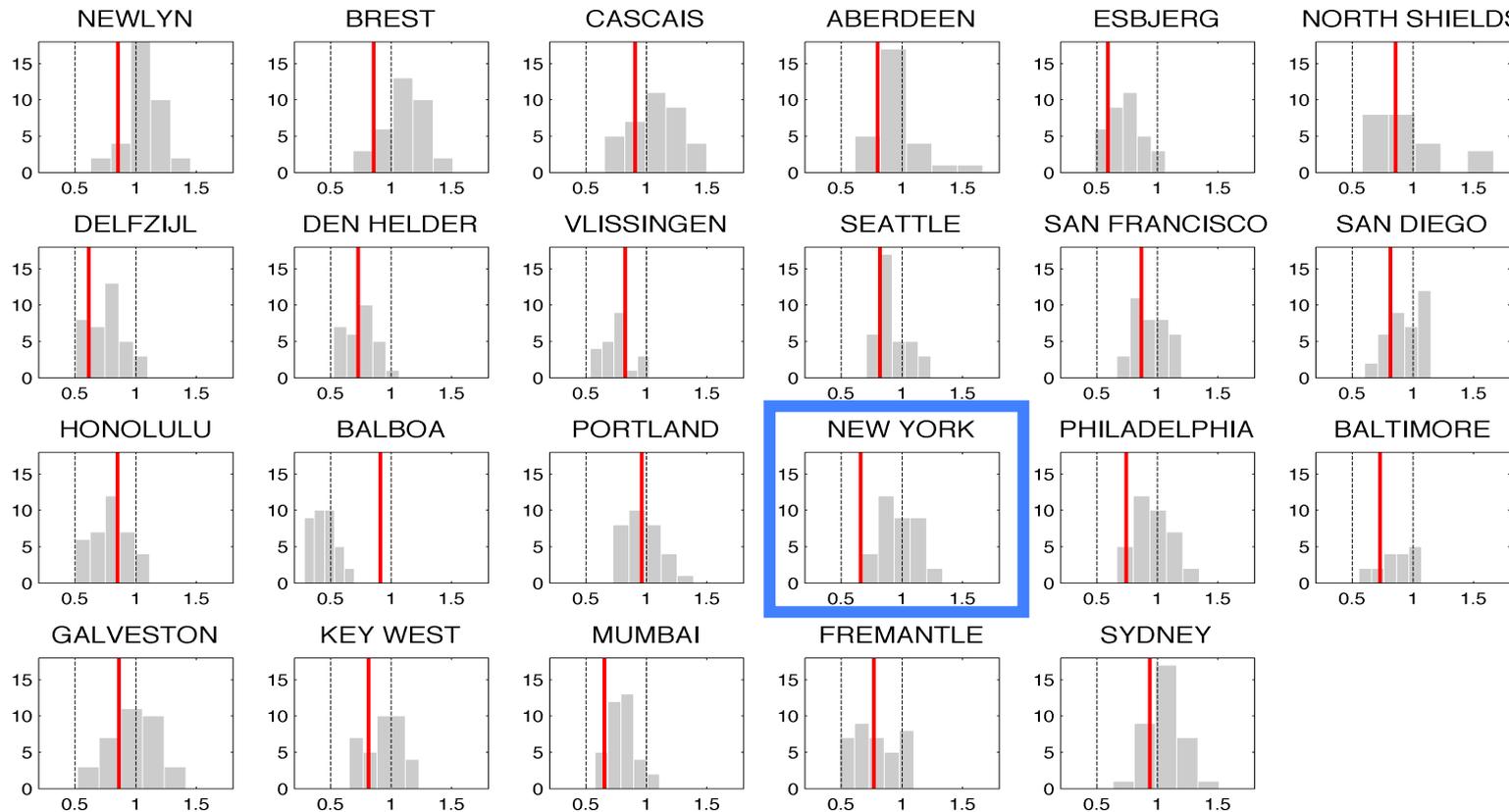
→ Balboa : unpredictable by AOGCMs. Coarse models do not reproduce well the narrow shelf of this part of Central America



A hyphen (---) means that comparison is not possible.



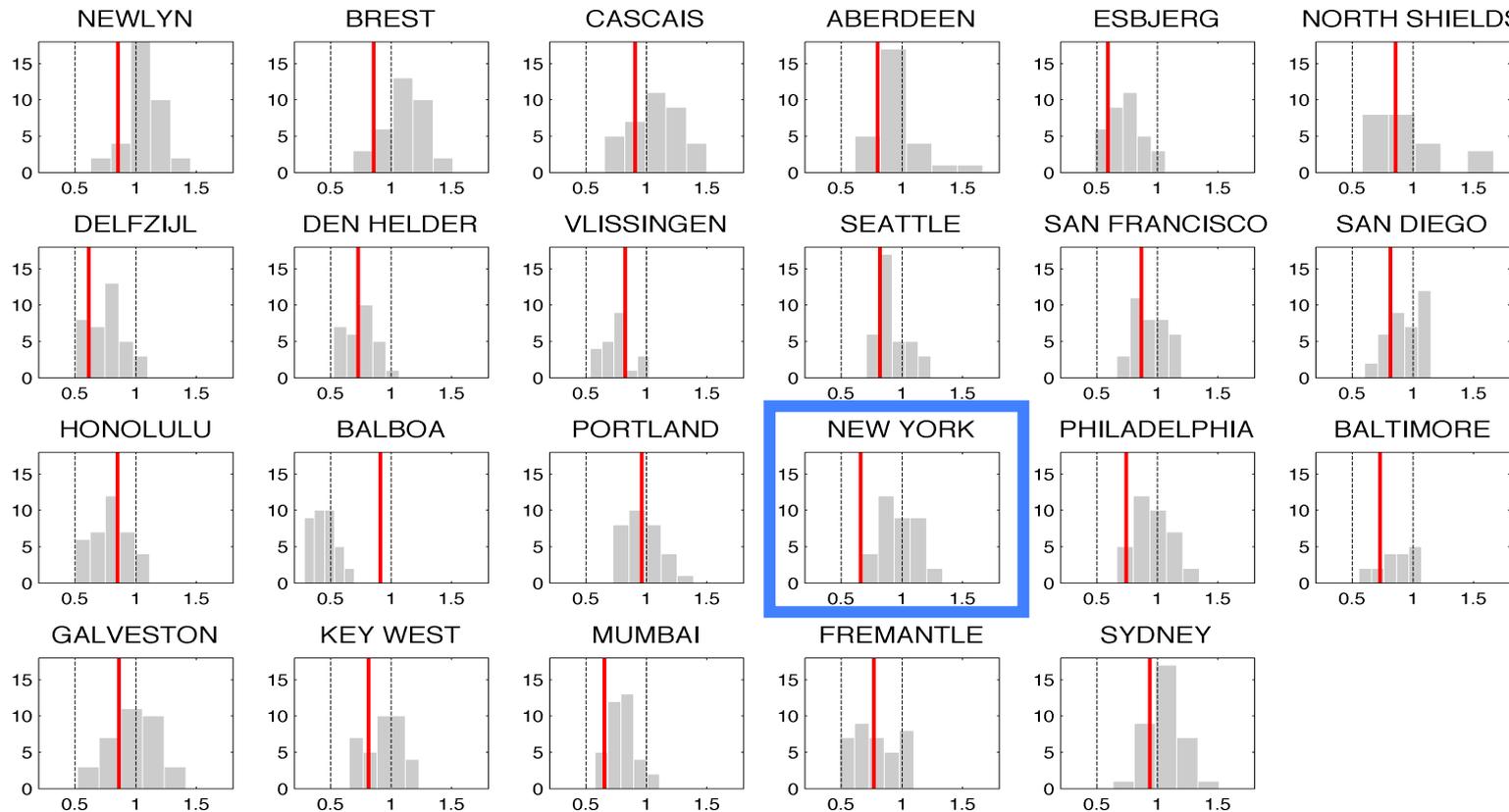
➔ Majority of AOGCMs overestimates the Hurst exponent, particularly in the North Atlantic



➔ Majority of AOGCMs overestimates the Hurst exponent, particularly in the North Atlantic

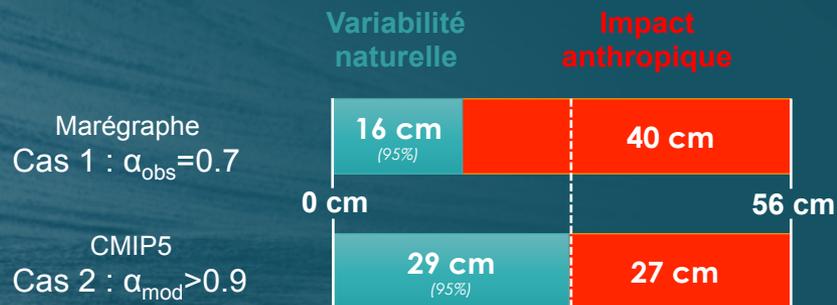
New York City: Little et al. (2015): élévation du niveau de la mer de 56 cm d'ici 2090 (CMIP5)





➔ Majority of AOGCMs overestimates the Hurst exponent, particularly in the North Atlantic

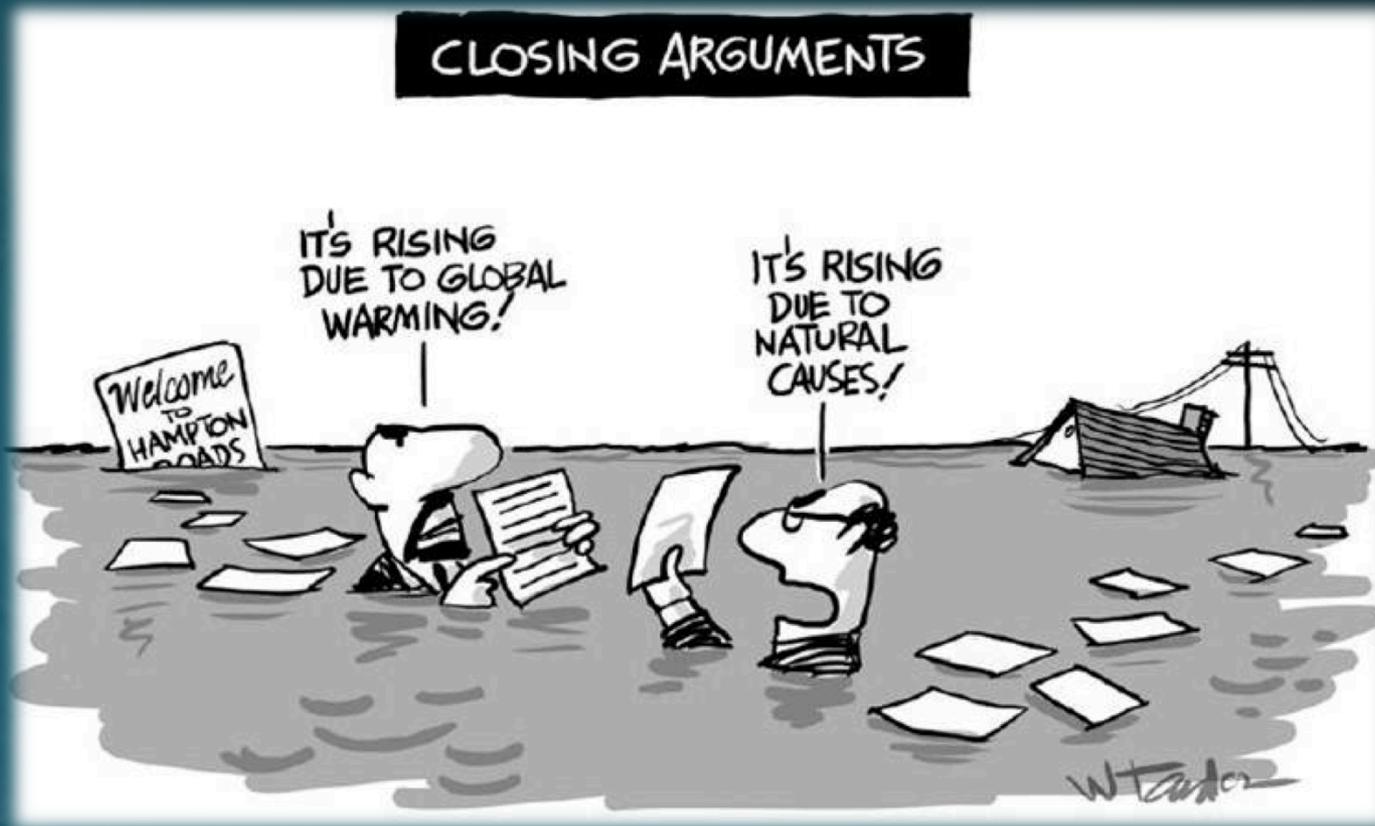
New York City: Little et al. (2015): élévation du niveau de la mer de 56 cm d'ici 2090 (CMIP5)



Pour une augmentation entre 16 et 29 cm :

Cas 1 : origine naturelle est peu probable.
Cas 2 : origine naturelle ne peut être exclue.

Merci pour votre attention !



Becker M., Karpytchev M., and Lennartz-Sassinek S. (2014), Long-term sea level trends: Natural or anthropogenic ?, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5571–5580, doi:10.1002/2014GL061027.

Becker M., Karpytchev M., Marcos M., Jevrejeva S. and Lennartz-Sassinek S. (2016), Do climate models reproduce complexity of observed sea level changes ?, *Geophys. Res. Lett.*, in revision.