

Évolution récente des extrêmes pluviométriques en Afrique Sahélienne

Panthou G.^{1,2}, Vischel T.¹, Lebel T.¹, Quantin G.¹, Favre A.C¹, Blanchet J.³

¹LTHE (UMR 5564), Grenoble 1, IRD, Grenoble, France

²SOFRECO, Clichy, France

³EPFL, EPFL-FSB-MATHAA-STAT, Lausanne, Switzerland

Workshop Extrêmes
26 septembre 2012, Grenoble, France



SOFRECO



perspective

OSUG 2020





I. Introduction



CONTEXTE GLOBAL : CHANGEMENT CLIMATIQUE

X À l'échelle globale

- Relation de Clausius–Clapeyron
- Accélération du cycle hydrologique [*Loaiciga et al., 1996; Huntington, 2006*]
- Augmentation des événements extrêmes plus forte que la moyenne [*Trenberth et al., 2003; Emori and Brown, 2005; O’Gorman and Schneider, 2009*]

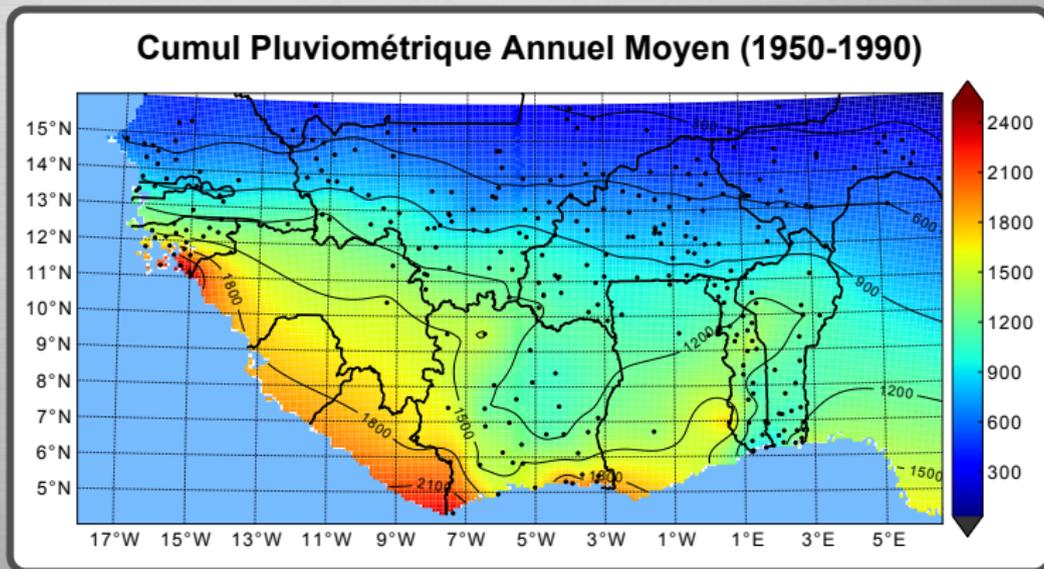
X Vers un climat plus extrême ? [*Giorgi et al., 2011*]

- Séquences sèches plus longues
- Intensités des événements plus fortes
- Possible découplage entre cumul annuel et événements extrêmes (c.f. *Alpert [2002]*)

X Variations régionales observées et attendues [*Groisman et al., 1999; Dore, 2005*]

CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE SAHÉLIEN

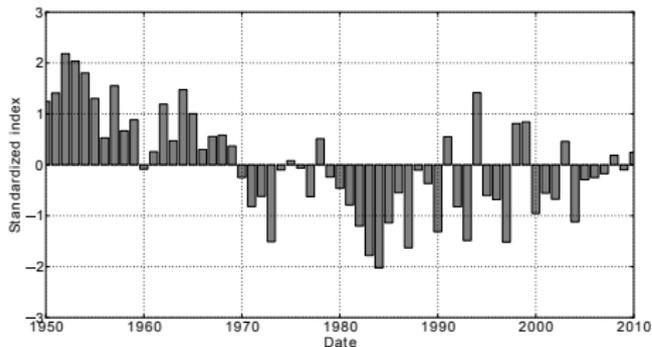
- X Climat de mousson (saison sèche / saison humide)**
- X Gradient latitudinal du cumul annuel de précipitation [Lebel et al., 1992]**



CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE SAHÉLIEN

X Forte variabilité inter-annuelle et décennale [Nicholson, 2001]

**Cumul Pluviométrique annuel standardisé
Sahel Central (1950-2010)**

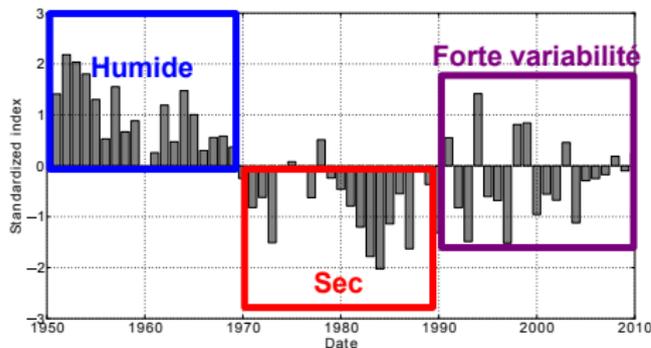


CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE SAHÉLIEN

X Forte variabilité inter-annuelle et décennale [Nicholson, 2001]

- Période humide 1950-1970
- Période sèche (plus gd signal climatique du XXth [Dai et al., 2004])
- Période récente plus variable

Cumul Pluviométrique annuel standardisé
Sahel Central (1950-2010)





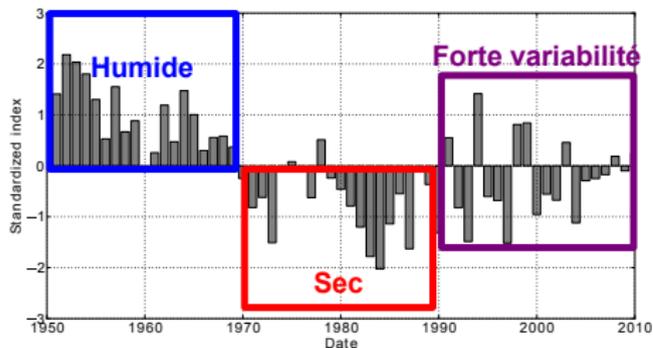
CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE SAHÉLIEN

X Forte variabilité inter-annuelle et décennale [Nicholson, 2001]

- Période humide 1950-1970
- Période sèche (plus gd signal climatique du XXth [Dai et al., 2004])
- Période récente plus variable

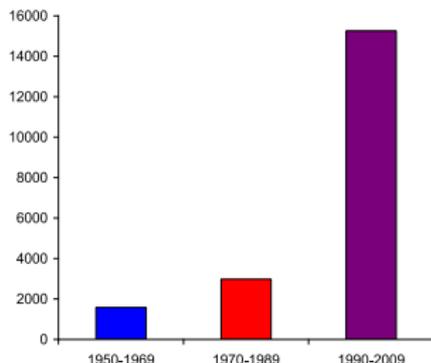
X Hausse du risque inondation [Di-Baldassarre et al., 2010]

**Cumul Pluviométrique annuel standardisé
Sahel Central (1950-2010)**



VS

Fatalities caused by flood





CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE SAHÉLIEN

- X Risque de crue = Aléa × Vulnérabilité**
- X Hausse de la vulnérabilité [Di-Baldassarre et al., 2010]**
 - Accroissement démographique
 - Urbanisation intensive et non planifiée
 - L'installation dans des plaines d'inondation
- X L'Aléa Hydrologique ??**



ALÉA HYDROLOGIQUE

- X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses [Tarhule, 2005]**
- X Qq événements récents :**

ALÉA HYDROLOGIQUE

- X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses [Tarhule, 2005]**
- X Qq événements récents :**
 - Inondations de 2007 [Paeth et al., 2010]



ALÉA HYDROLOGIQUE

- X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses [Tarhule, 2005]**
- X Qq événements récents :**
 - Inondations de 2007 [Paeth et al., 2010]
 - Crue de Ouaga (1/09/2009) : 260 mm en 10 heures



ALÉA HYDROLOGIQUE

X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses [Tarhule, 2005]

X Qq événements récents :

- Inondations de 2007 [Paeth et al., 2010]
- Crue de Ouaga (1/09/2009) : 260 mm en 10 heures
- Crue du Niger à Niamey (08/2010)



FIGURE: *Sighomnou et al. [2010]*

ALÉA HYDROLOGIQUE

X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses [Tarhule, 2005]

X Qq événements récents :

- Inondations de 2007 [Paeth et al., 2010]
- Crue de Ouaga (1/09/2009) : 260 mm en 10 heures
- Crue du Niger à Niamey (08/2010)
- Crue du Niger à Niamey (08/2012) : Plus forte crue jamais enregistrée



FIGURE: Ibrahim Moussa Noma



ALÉA HYDROLOGIQUE

- X Les crues ont toujours côtoyé les sécheresses** [Tarhule, 2005]
- X Qq événements récents :**
 - Inondations de 2007 [Paeth et al., 2010]
 - Crue de Ouaga (1/09/2009) : 260 mm en 10 heures
 - Crue du Niger à Niamey (08/2010)
 - Crue du Niger à Niamey (08/2012) : Plus forte crue jamais enregistrée
- X L'aléa a t-il été modifié ? Y'a t-il une augmentation des événements extrêmes ?**
 - Augmentation des coefficients de ruissellement [Descroix et al., 2009, 2012]
 - Pluie extrêmes ???



PROBLÉMATIQUES

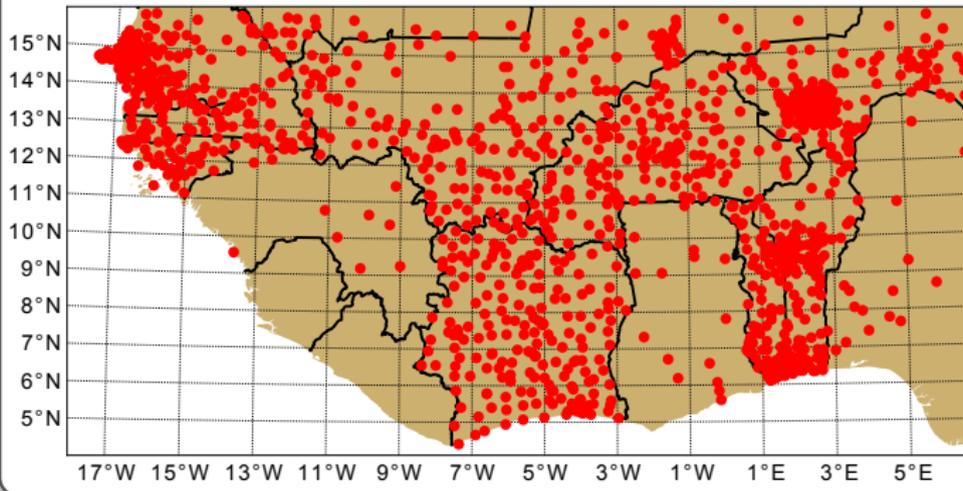
- 1. Question climatologique : Quelle a été l'évolution des pluies extrêmes en Afrique de l'ouest ?**
 - Plus particulièrement pendant les deux dernières décennies

- 2. Problématique méthodologique : Comment détecter une évolution dans des séries d'extrêmes ?**

II. Données et méthodes

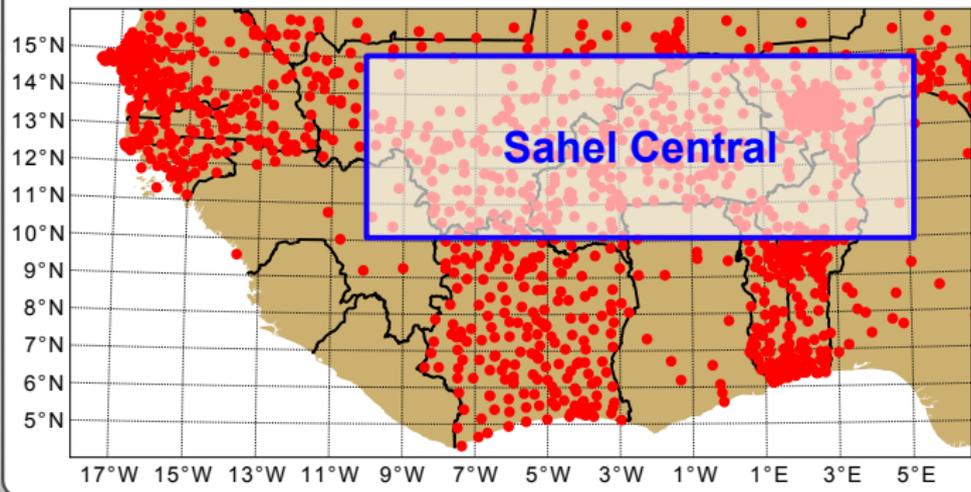
DONNÉES SÉLECTIONNÉES

Carte du réseau



DONNÉES SÉLECTIONNÉES

Carte du réseau



X Zone d'étude : Sahel central

X Période : 1950-1990

X N = 126 séries



STATIONNARITÉ DES SÉRIES D'EXTRÊMES

X Détecter des non-stationnarités dans les séries d'extrêmes : Pb effet échantillonnage

- Séries bruitées
- Longueur de séries courtes

X Investigation à travers différentes approches :

1. Séries de maxima ponctuelles

- Tests statistiques
- Approche ponctuelle paramétrique : GEV ponctuels dépendants du temps

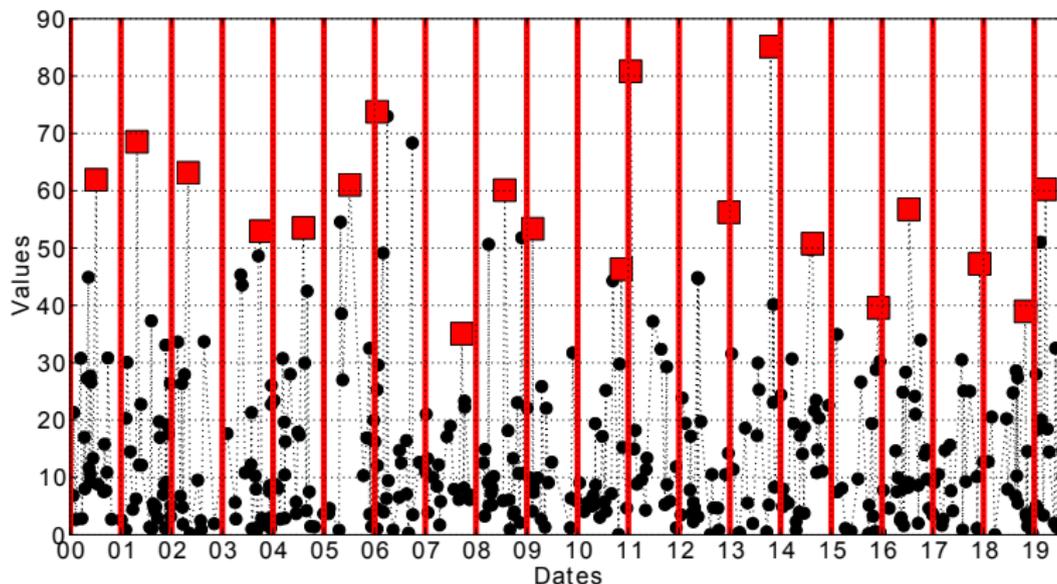
2. Séries de maxima à l'échelle régionale

- Approche régionale paramétrique : GEV régional dépendant du temps

3. Séries POT à l'échelle régionale

- Décomposition Nombre d'événements / Intensité
- Approche régionale paramétrique : Modèle P/GP régional dépendant du temps

BLOC MAXIMA ANALYSIS



X Échantillonnage : Pluie maximale annuelle

TESTS STATISTIQUES PONCTUELS

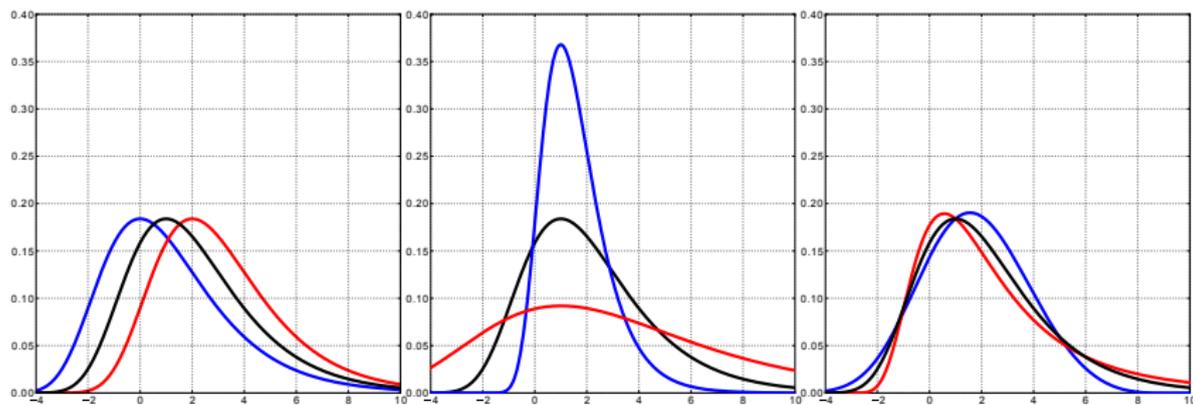
- ✗ Hypothèse nulle : H_0 : La série est stationnaire
- ✗ Hypothèse alternative : H_1 : La série n'est pas stationnaire
- ✗ 8 tests statistiques

	Tendance	Rupture
Pearson	✓	
Spearmann	✓	
Mann-Kendall	✓	
KPSS	✓	
Kehagias et Fortin		✓
Smadi et Zghoul		✓
Pettitt		✓
Lombard	✓	✓

APPROCHES PARAMÉTRIQUES : MODÈLES GEV

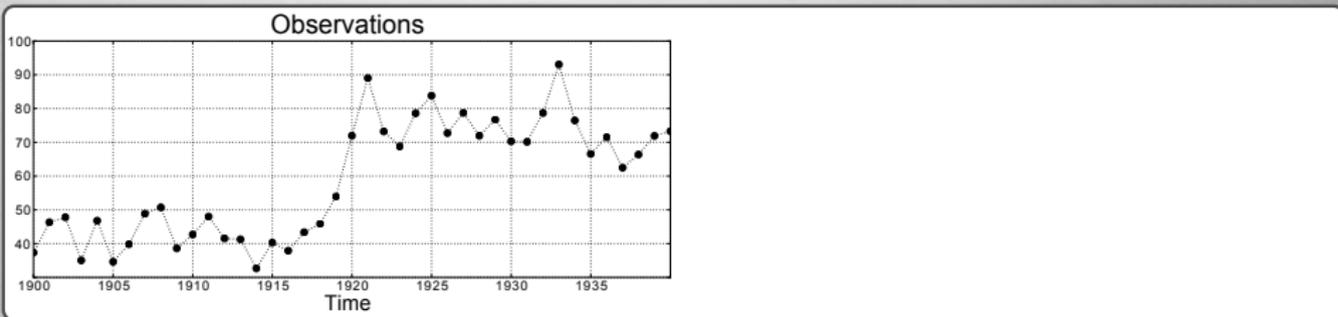
X Modèle statistique : GEV (Generalized Extreme Value)

$$F(y, \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left\{ 1 + \xi \left(\frac{y - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \quad (1)$$

 $\mu < \mu < \mu$
 $\sigma < \sigma < \sigma$
 $\xi < \xi < \xi$


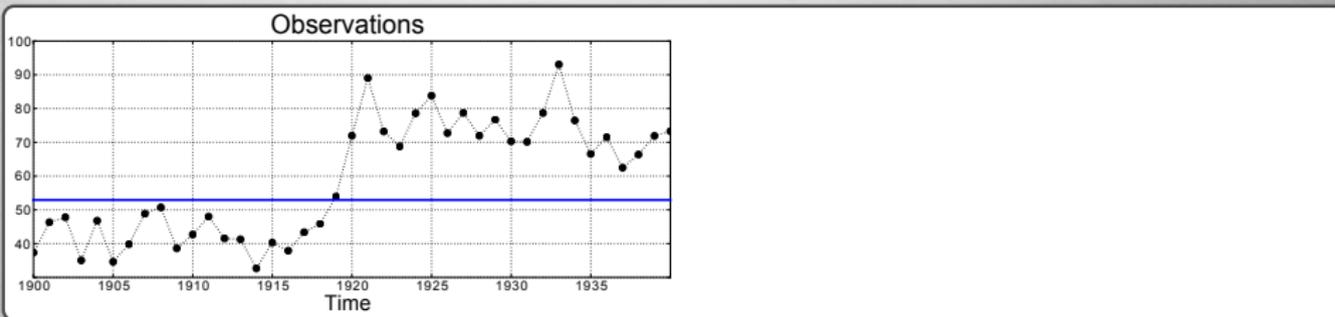
GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

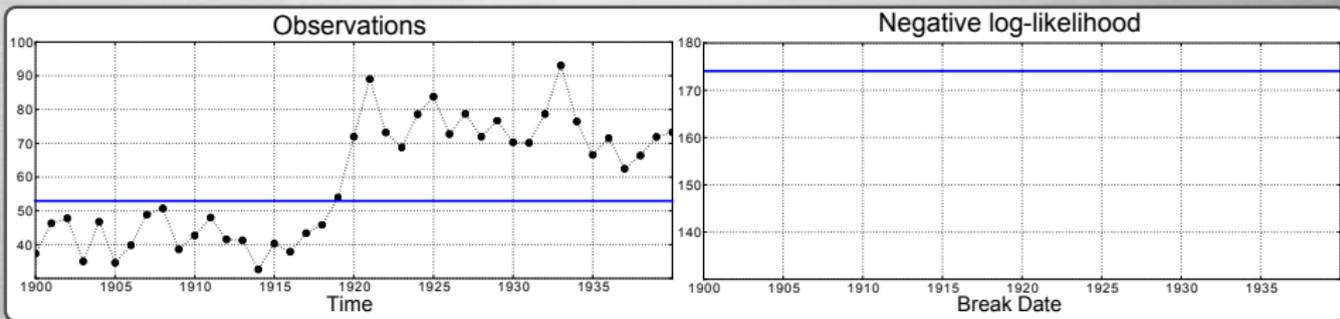
X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

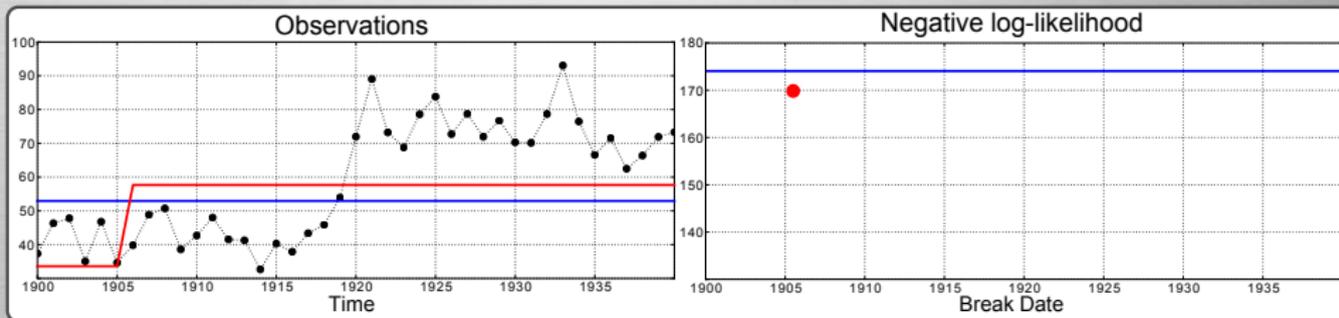
X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

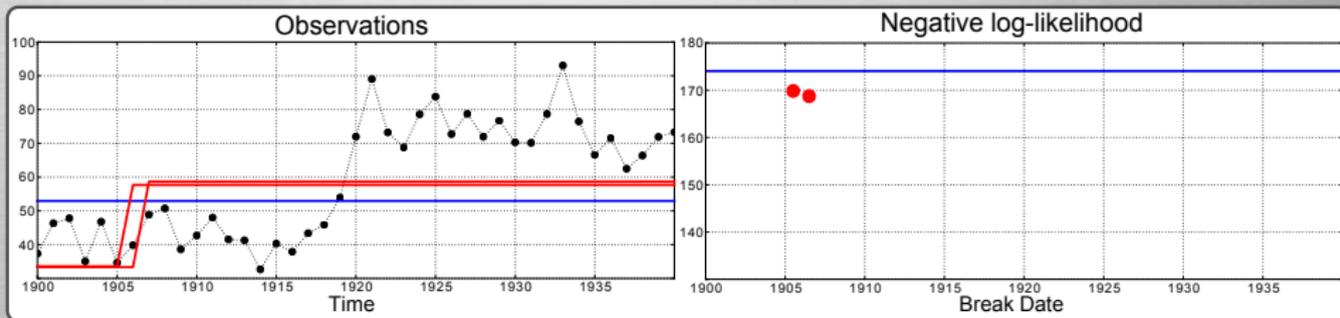
X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ
2. Modèles GEV dépendants du temps (paramètre μ) : $\mu_1, \mu_2, \sigma, \xi$

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

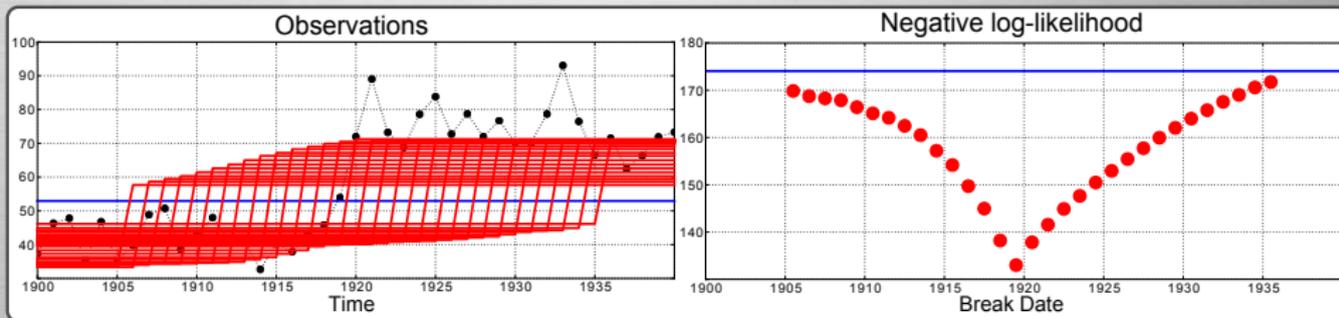
X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



- 1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ**
- 2. Modèles GEV dépendants du temps (paramètre μ) : $\mu_1, \mu_2, \sigma, \xi$**
- 3. Détermination de la non stationnarité la plus probable**

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

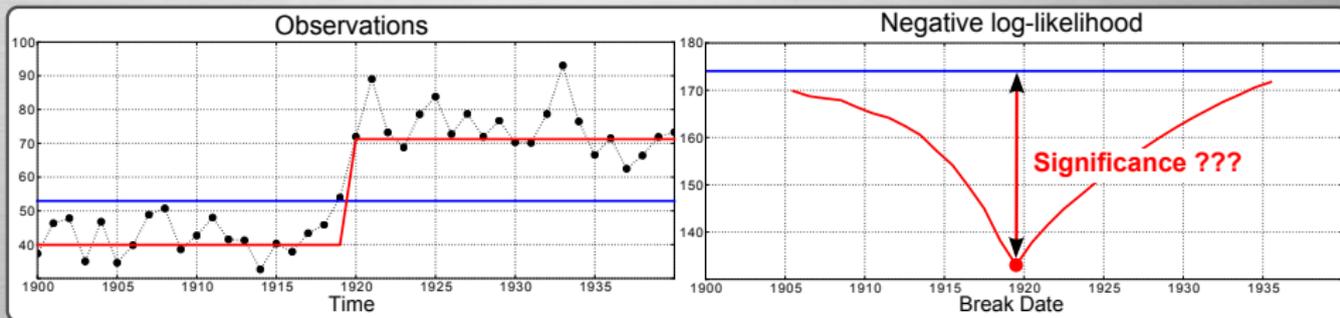
X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



- 1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ**
- 2. Modèles GEV dépendants du temps (paramètre μ) : $\mu_1, \mu_2, \sigma, \xi$**
- 3. Détermination de la non stationnarité la plus probable**

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

X Illustration : Une série de maxima avec une rupture



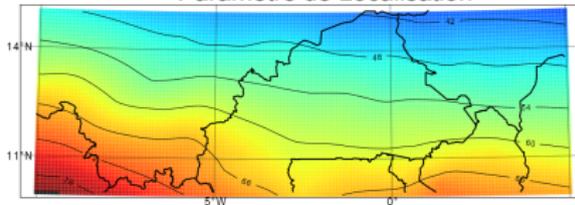
- 1. Modèle GEV stationnaire : μ, σ, ξ**
- 2. Modèles GEV dépendants du temps (paramètre μ) : $\mu_1, \mu_2, \sigma, \xi$**
- 3. Détermination de la non stationnarité la plus probable**
- 4. Significativité : Likelihood Ratio Test**

GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

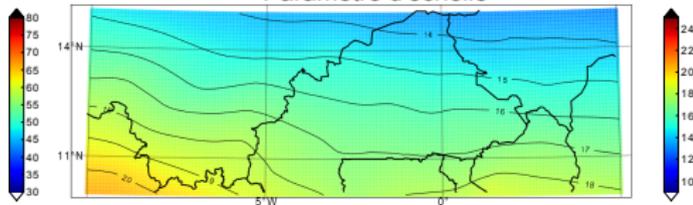
X Modèle GEV régional stationnaire : GEV-Reg

- *Panthou et al. [2012] , in WRR*
- μ et σ utilisent le cumul annuel moyen comme co-variable spatiale

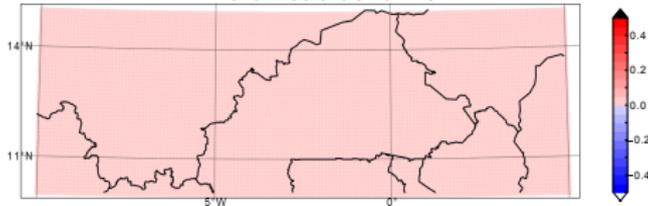
Paramètre de Localisation



Paramètre d'échelle



Paramètre de forme



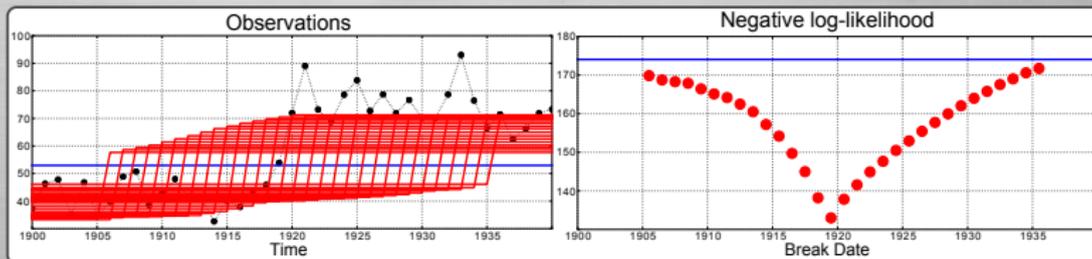
GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

X Modèle GEV régional stationnaire : GEV-Reg

- *Panthou et al. [2012] , in WRR*
- μ et σ utilisent le cumul annuel moyen comme co-variable spatiale

X v.s. son équivalent non stationnaire : GEV-Reg-temps

- μ dépend aussi du temps



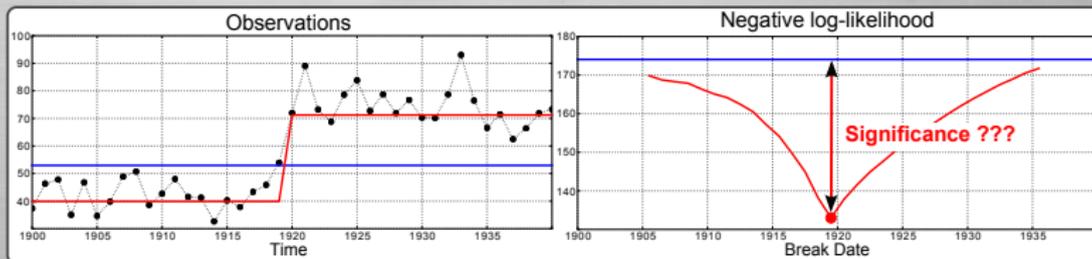
GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

X Modèle GEV régional stationnaire : GEV-Reg

- *Panthou et al. [2012]* , in *WRR*
- μ et σ utilisent le cumul annuel moyen comme co-variable spatiale

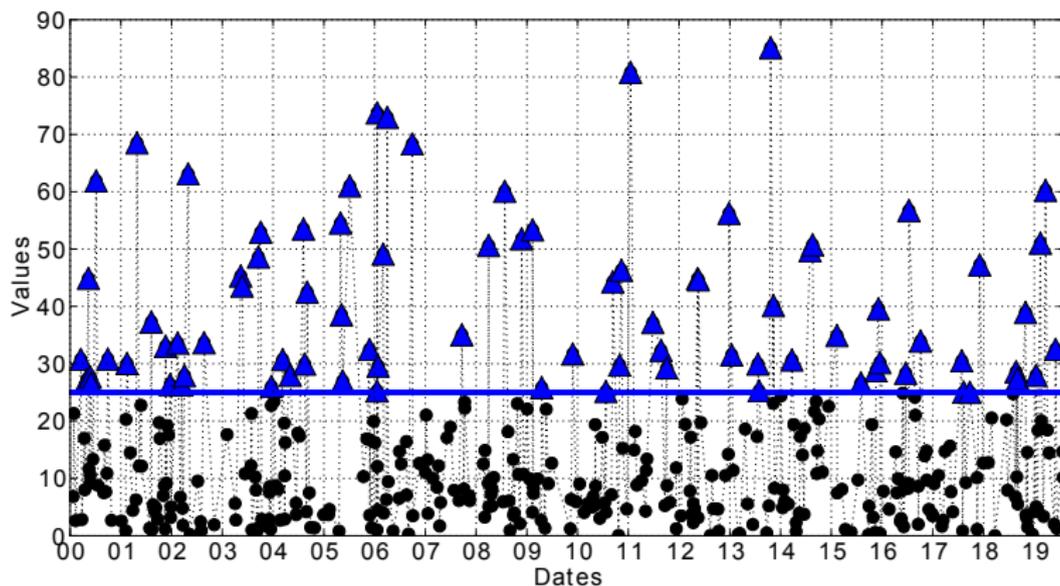
X v.s. son équivalent non stationnaire : GEV-Reg-temps

- μ dépend aussi du temps



X Significativité : Ré-échantillonnage [*Kundzewicz and Robson, 2004*]

MODÈLE P/GP RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

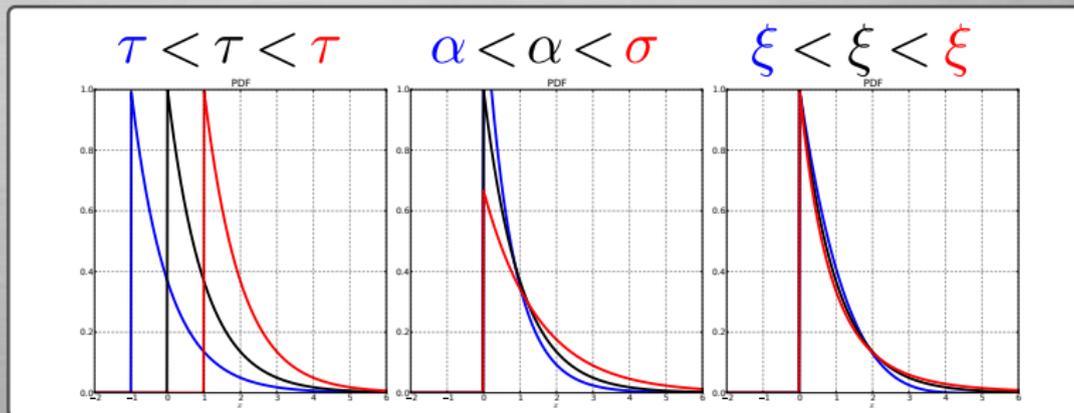


X Échantillonnage : Dépassement d'un seuil [Coles, 2001]

X Modèles statistiques

- Nombre de dépassements : Poisson
- Dépassement du seuil : GPD (Generalized Pareto Distribution)

$$F(y, \tau, \alpha, \xi) = 1 - \left\{ 1 + \frac{\xi(y - \tau)}{\alpha} \right\}^{-\frac{1}{\xi}} \quad (2)$$





CHOIX D'UN SEUIL RÉGIONAL

X Seuil fixe : e.g. 20mm, 50 mm

X Seuil régional issu de GEV-Reg

- Point Process : POT vers BMA [*Madsen et al., 1997; Coles, 2001*]
 - $P(\lambda) / GP(\tau, \alpha, \xi)$
 - $GEV(\mu, \sigma, \xi)$

$$\mu = \tau + \frac{\alpha}{\xi} (1 - \lambda^{-\xi}) \quad (3)$$

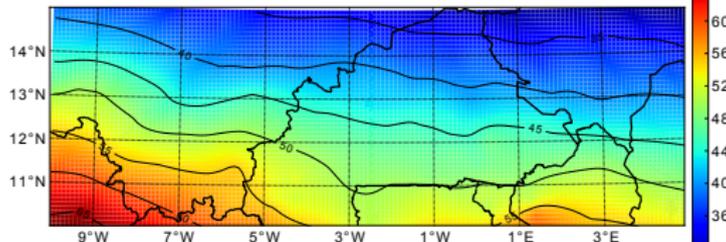
$$\sigma = \alpha \lambda^{-\xi} \quad (4)$$

$$\xi = \xi \quad (5)$$

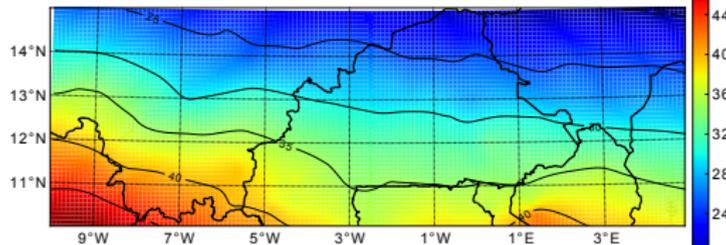
CHOIX D'UN SEUIL RÉGIONAL

GEV-Reg --> Seuil GPD

Npot = 2

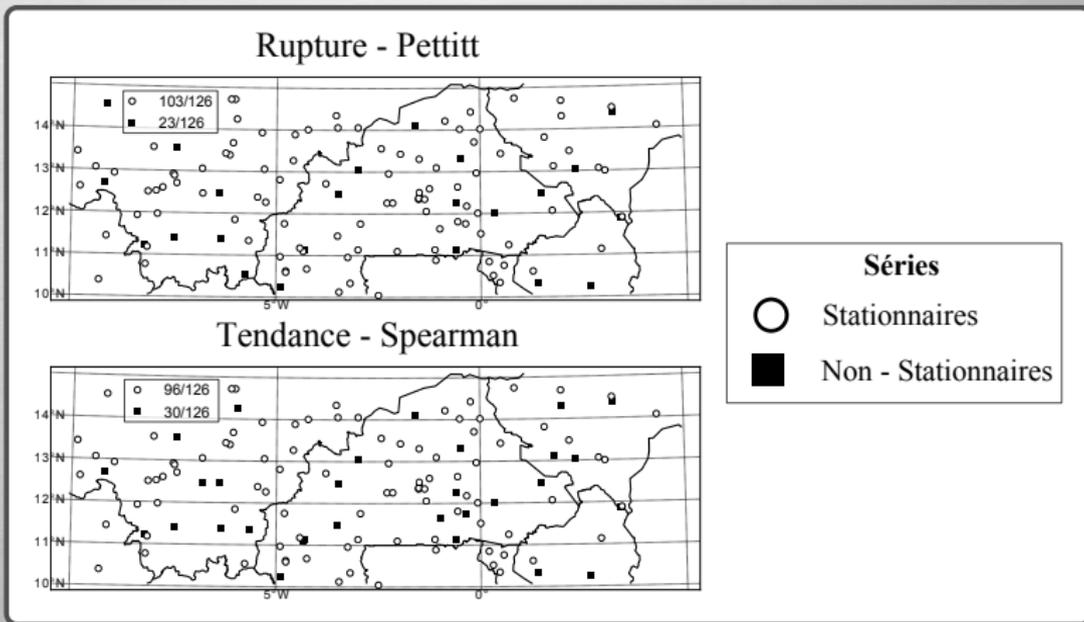


Npot = 5



III. Résultats

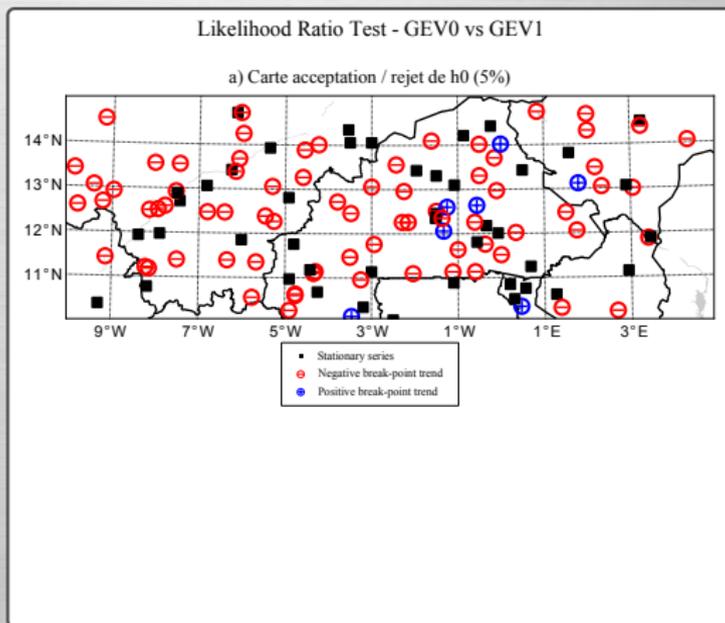
TESTS STATISTIQUES PONCTUELS



X Moins de 25 % des séries rejettent H_0

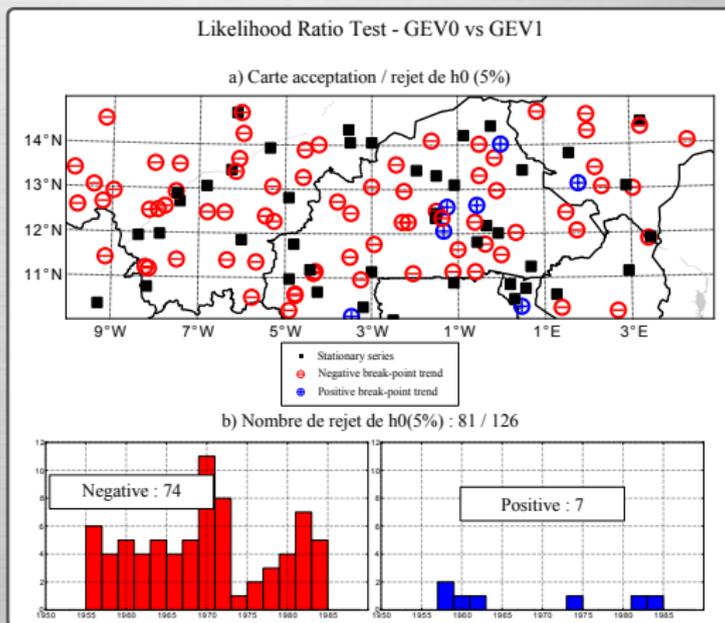
X Pas d'organisation spatiale

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS



X Plus de 65 % des séries rejettent H_0 sans organisation spatiale

GEV PONCTUELS DÉPENDANTS DU TEMPS

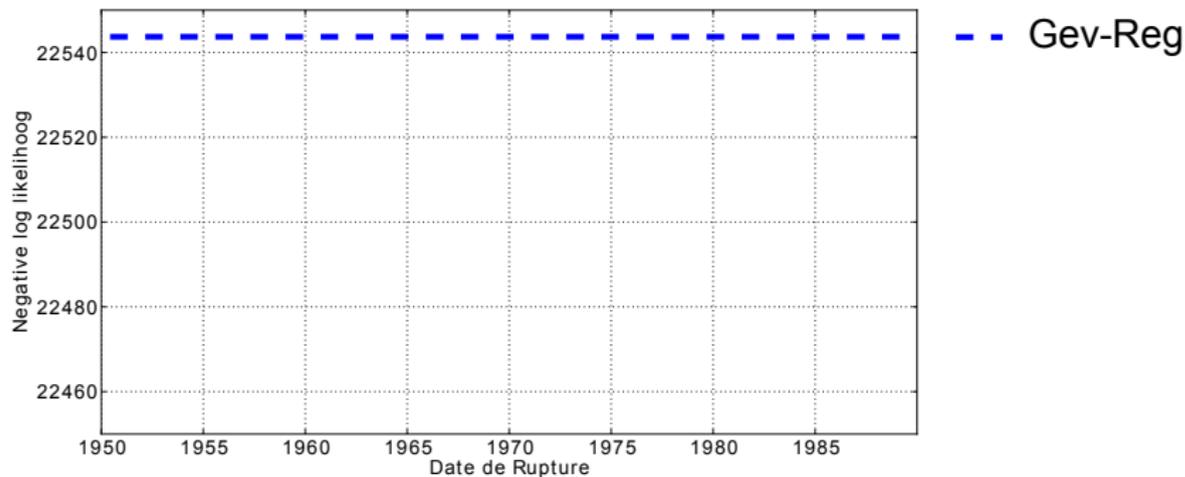


- ✗ Plus de 65 % des séries rejettent H_0 sans organisation spatiale
- ✗ La plupart sont des ruptures négatives (autour de 1970)



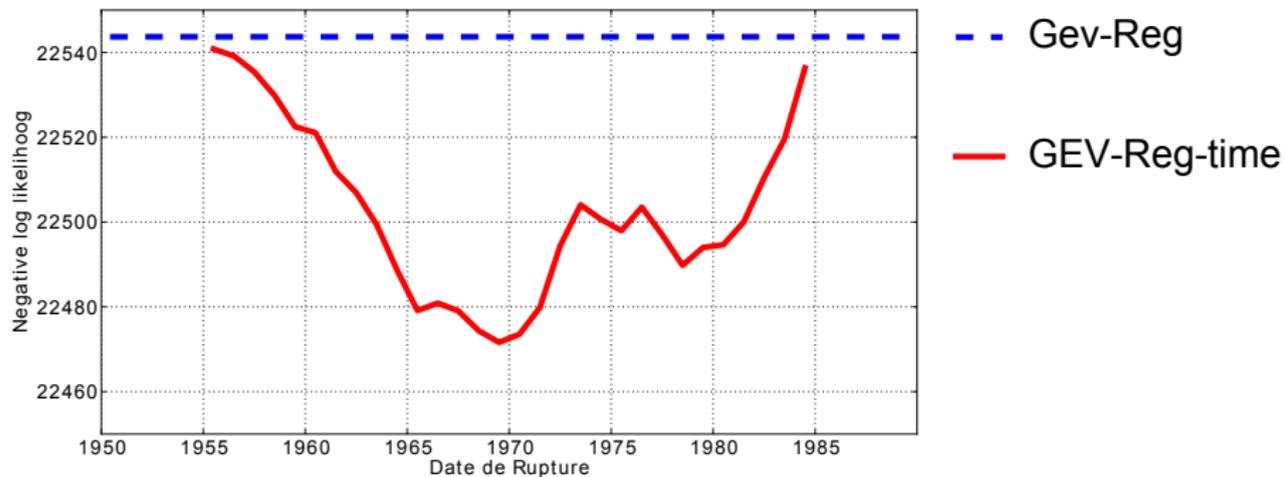
GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

Neg Log Likelihood



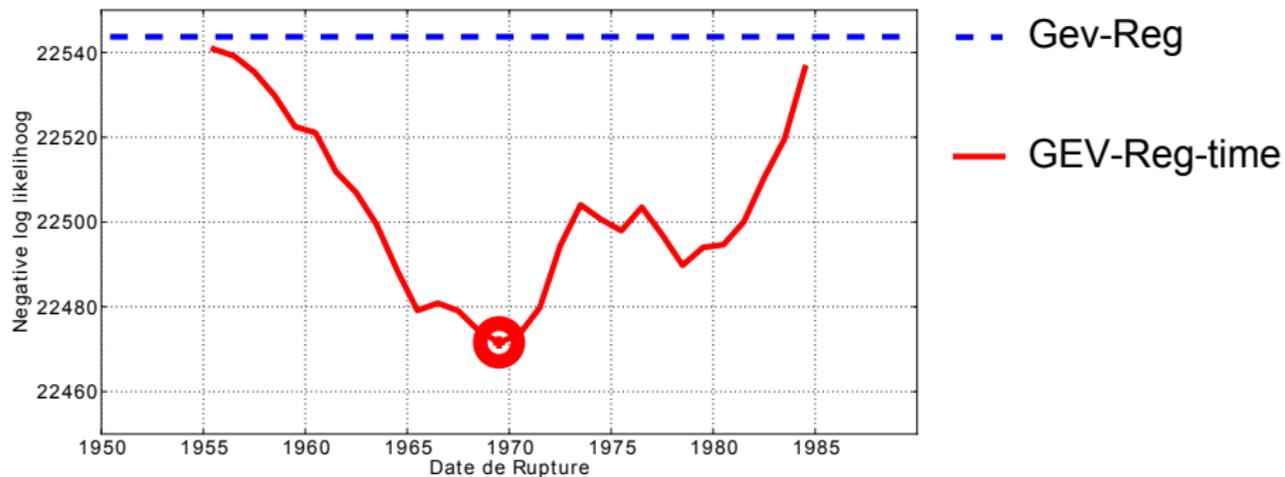
GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

Neg Log Likelihood



GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

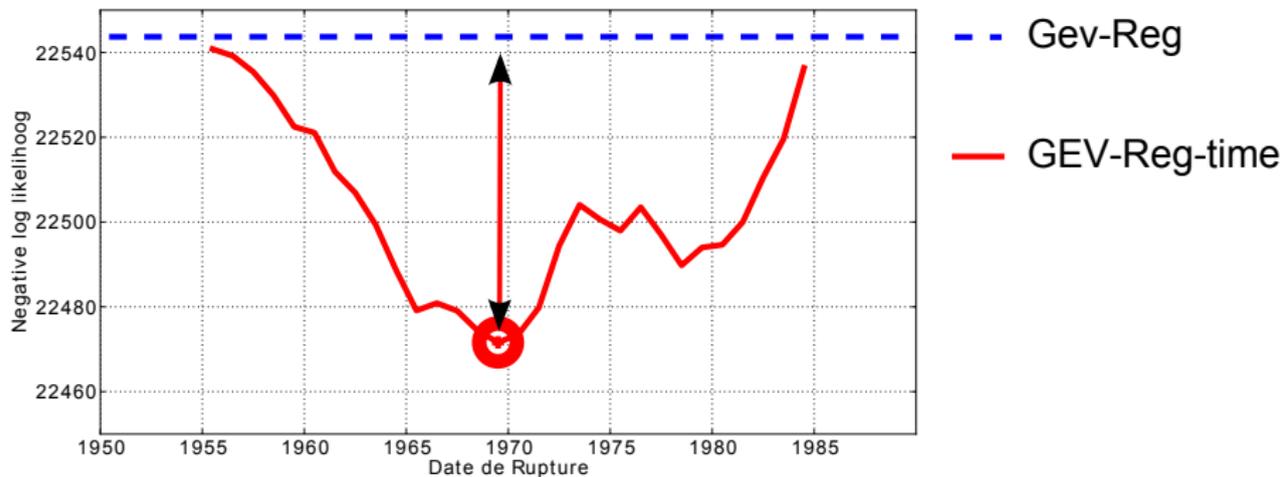
Neg Log Likelihood



X Non stationnarité la plus probable : rupture négative en 1970

GEV RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

Neg Log Likelihood



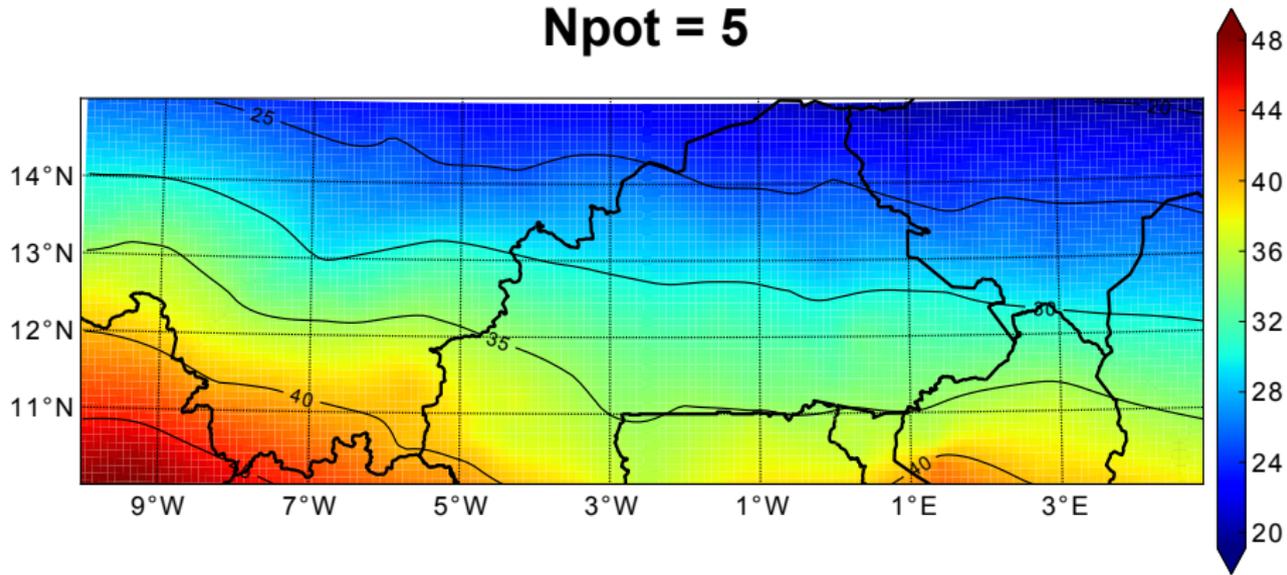
X Non stationnarité la plus probable : rupture négative en 1970

X Cette rupture est significative ($P - value \approx 1/10000$)

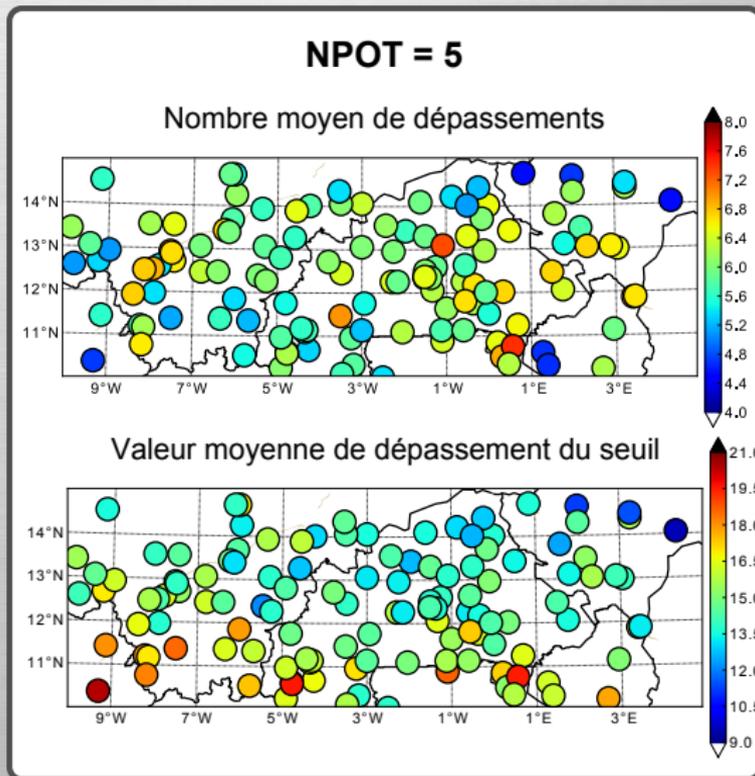
MODÈLE P/GP RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

GEV-Reg --> Seuil GPD

$N_{pot} = 5$



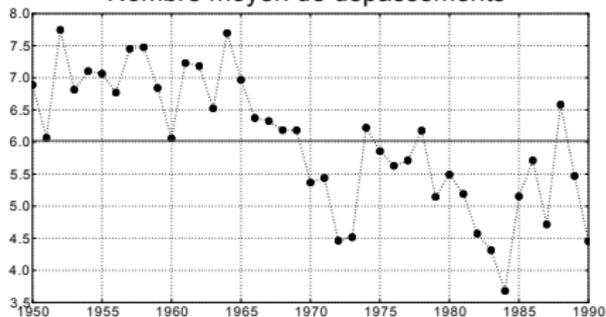
MODÈLE P/GP RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS



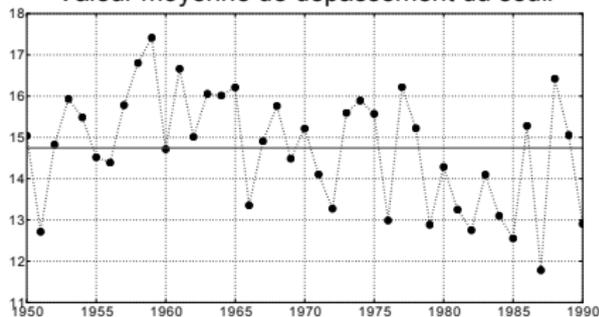
MODÈLE P/GP RÉGIONAL DÉPENDANT DU TEMPS

NPOT = 5

Nombre moyen de dépassements



Valeur moyenne de dépassement du seuil



✗ Paramètre λ : Rupture négative ≈ 1970

✗ Paramètre α : Faible rupture négative ≈ 1966

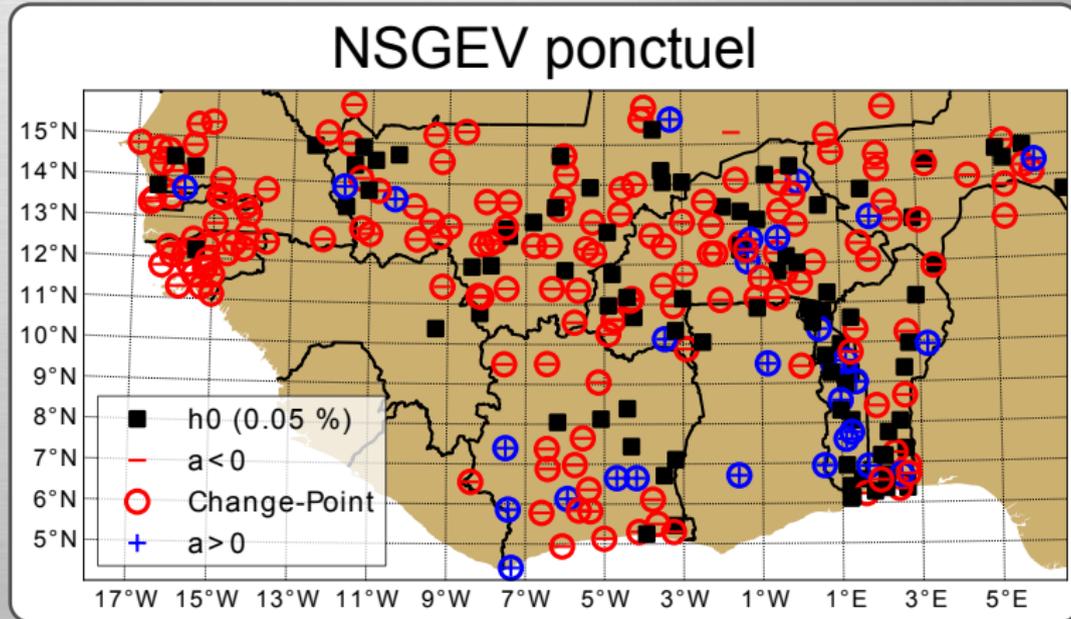
IV. Extension des résultats



EXTENSION SPATIALE : AFRIQUE DE L'OUEST

- X Zone : Afrique de l'Ouest**
- X Période : 1950-1990**
- X N = 283 séries**

EXTENSION SPATIALE : AFRIQUE DE L'OUEST



✗ Hétérogénéités spatiales

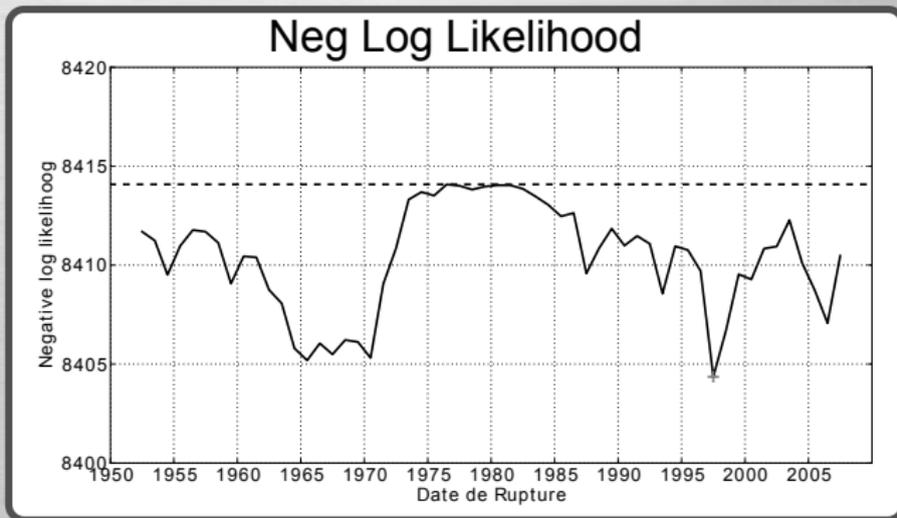
- Togo - Bénin : Pas de signal clair
- Sénégal : Signal très fort



EXTENSION TEMPORELLE : 1950 - 2010

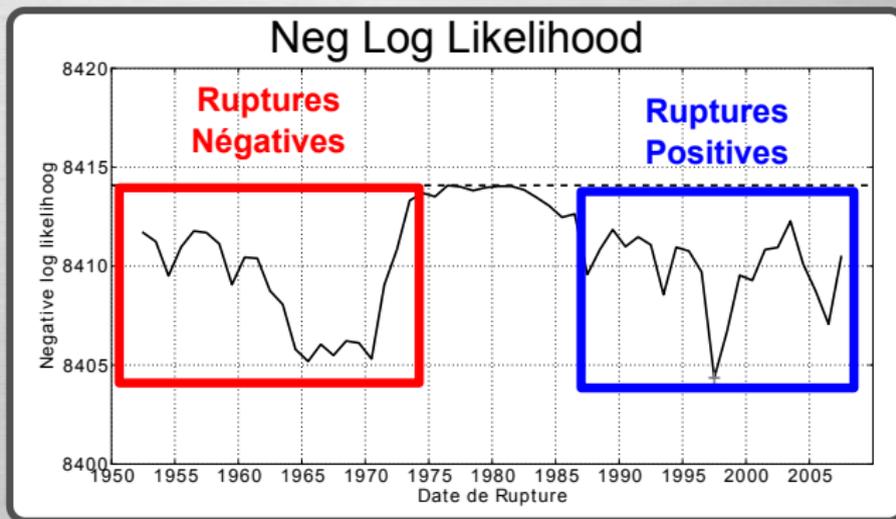
- X Zone : Est du Sahel central**
- X Périodes récente : 1950-2010**
- X N = 33 séries**

EXTENSION TEMPORELLE : 1950 - 2010



X Deux minimum locaux

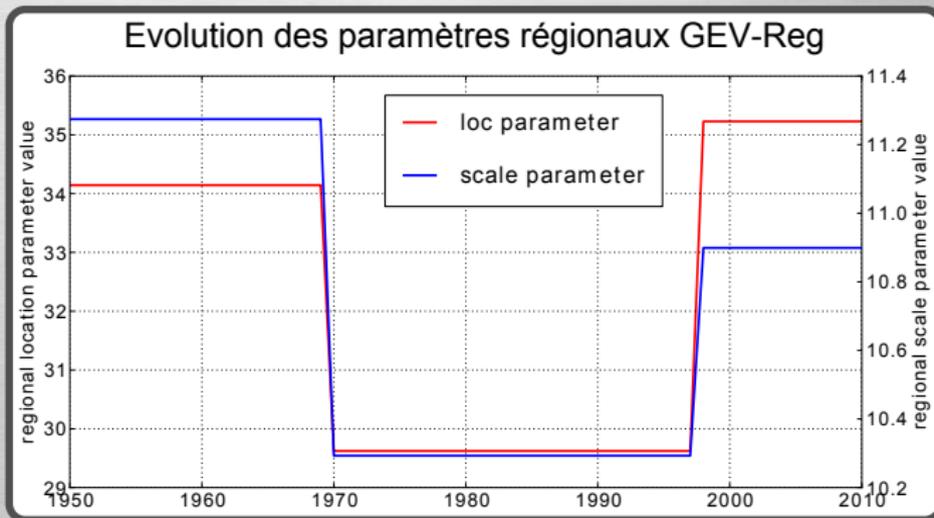
EXTENSION TEMPORELLE : 1950 - 2010



X Deux minimum locaux

- Autour de 1970 : Ruptures Négatives
- Autour de 1998 : Ruptures Positives

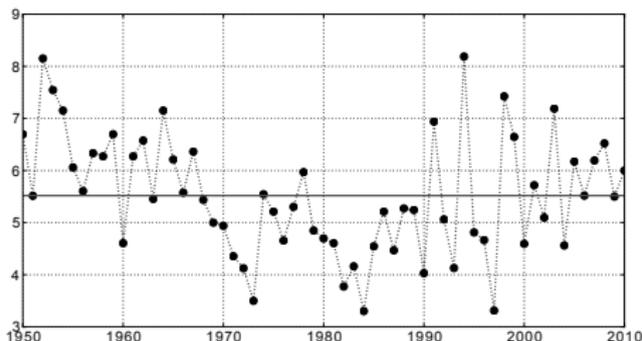
EXTENSION TEMPORELLE : 1950 - 2010



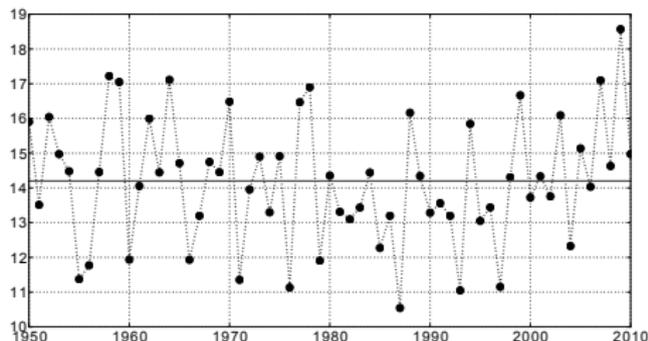
EXTENSION TEMPORELLE : 1950 - 2010

NPOT = 5

Nombre moyen de dépassements



Valeur moyenne de dépassement du seuil



X Paramètre λ : Rupture négative ≈ 1970

X Paramètre α : Rupture positive ≈ 1998

V. Conclusion

RÉSULTAT CLIMATOLOGIQUE

X Période 1950-1990 : Pluies extrêmes : même évolution que le cumul annuel

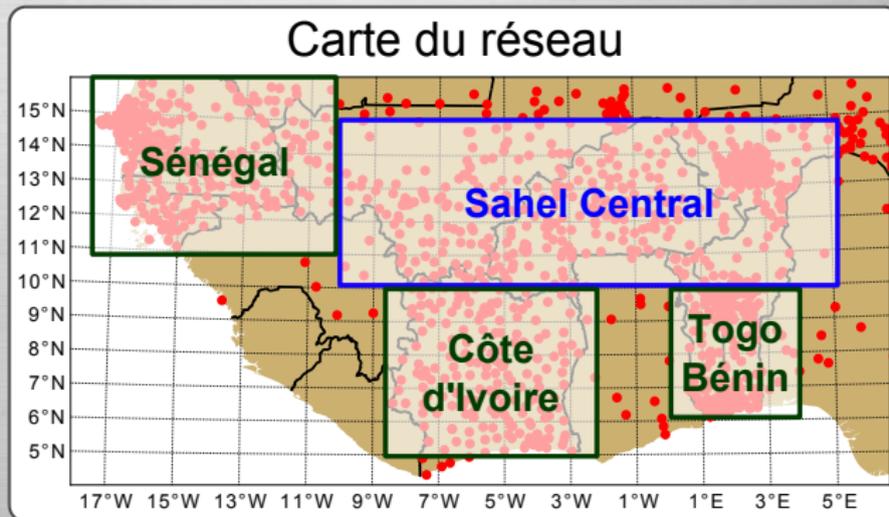
- Rupture négative en 1970
- Même cause principale : Baisse du nombre d'événements
- Variations Régionales notamment la zone Bénin - Togo

X Période récente (à confirmer avec plus de données)

- Découplage probable entre le cumul annuel et les extrêmes pluvieux
- Hausse possible des intensités
- D'autres études en cours semblent confirmer ces hypothèses

TRAVAIL EN COURS - PERSPECTIVES

X Extension de l'étude aux autres zones en Afrique de l'ouest



X Travail de fond : Récupération de données

Merci pour votre attention

VI. Annexes



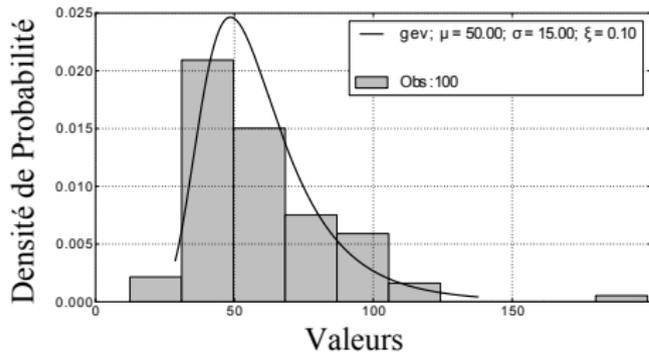
Annexes

Effet d'échantillonnage
NS GEV : Permutation

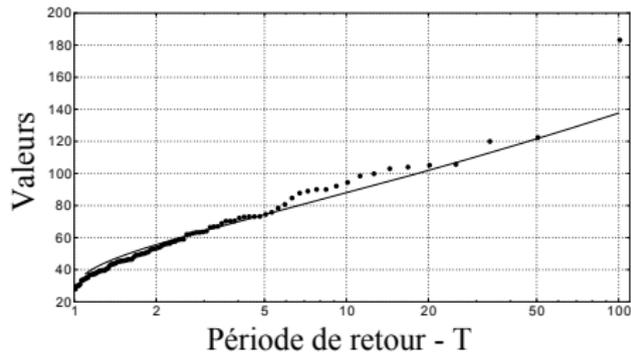
Biblio

EFFET D'ÉCHANTILLONNAGE

PDF

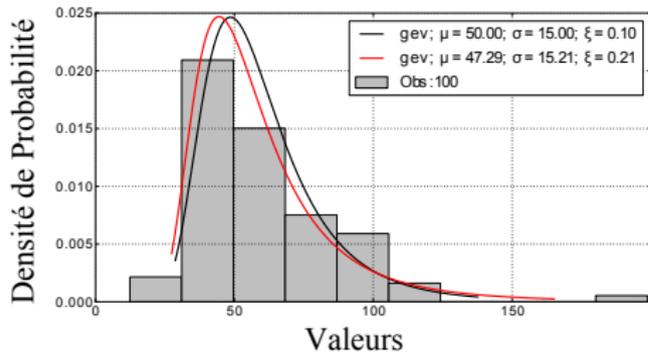


RLP

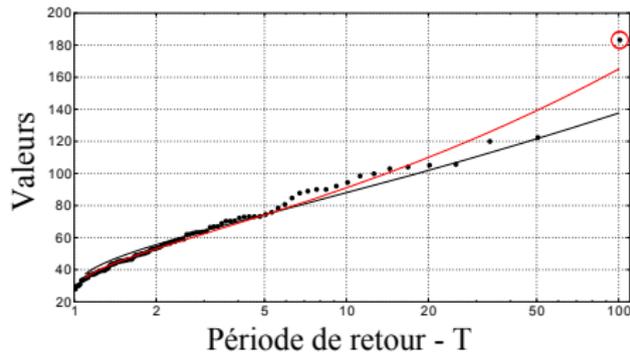


EFFET D'ÉCHANTILLONNAGE

PDF



RLP



NS GEV : PERMUTATION

X Best stationary spatial GEV model

- μ et σ parameters use the mean annual rainfall as covariate
- GEV-AR [*Panthou et al., 2012*]

X v.s. its non-stationary counterpart

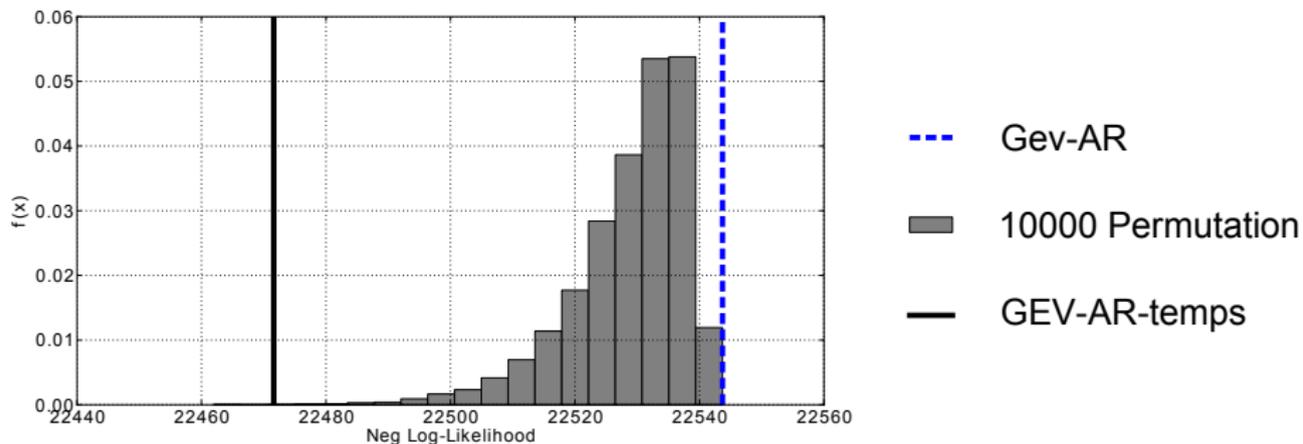
- GEV-AR-time : μ is also time-dependent

X Significance : re-sampling [*Kundzewicz and Robson, 2004*]

1. Random permutation of years (respect the spatial structure)
2. Fit a time-dependent spatial GEV model
3. Save its likelihood
4. Repeat step 1 to 3 : $\times 10\ 000$
5. Obtain a CDF of the likelihood
6. Compare with the likelihood of the observed GEV-AR-time

NS GEV : PERMUTATION

CDF Neg Log Likelihood



VII. Biblio

- P. Alpert. The paradoxical increase of mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11), 2002. ISSN 0094-8276. doi : 10.1029/2001GL013554. URL <http://www.agu.org/pubs/crossref/2002/2001GL013554.shtml>.
- S. Coles. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer, London ;New York, 2001. ISBN 9781852334598.
- A. Dai, P. J. Lamb, K. E. Trenberth, M. Hulme, P. D. Jones, and P. Xie. The recent sahel drought is real. *International Journal of Climatology*, 24(11) :1323–1331, Sept. 2004. ISSN 0899-8418. doi : 10.1002/joc.1083. URL <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1083>.
- L. Descroix, G. Mahé, T. Lebel, G. Favreau, S. Galle, E. Gautier, J. C. Olivry, J. Albergel, O. Amogu, B. Cappelaere, R. Dessouassi, A. Diedhiou, E. Le Breton, I. Mamadou, and D. Sighomnou. Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between sahelian and sudanian areas of west africa : A synthesis. *Journal of Hydrology*, 375 :90–102, 2009.
- L. Descroix, P. Genthon, O. Amogu, J.-L. Rajot, D. Sighomnou, and M. Vauclin. Change in sahelian rivers hydrograph : The case of recent red floods of the niger river in the niamey region. *Global and Planetary Change*, Aug. 2012. ISSN 09218181. doi : 10.1016/j.gloplacha.2012.07.009. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092181811200149X>.
- G. Di-Baldassarre, A. Montanari, H. Lins, D. Koutsoyiannis, L. Brandimarte, and G. Blöschl. Flood fatalities in africa : From diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters*, 37(22), Nov. 2010. ISSN 0094-8276. doi : 10.1029/2010GL045467.
- M. H. Dore. Climate change and changes in global precipitation patterns : What do we know ? *Environment International*, 31 :1167–1181, 2005.
- S. Emori and S. J. Brown. Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate. *Geophys. Res. Lett*, 32 :L17706, 2005.
- F. Giorgi, E.-S. Im, E. Coppola, N. S. Diffenbaugh, X. J. Gao, L. Mariotti, and Y. Shi. Higher hydroclimatic intensity with global warming. *Journal of Climate*, 24(20) : 5309–5324, Oct. 2011. ISSN 0894-8755, 1520-0442. doi : 10.1175/2011JCLI3979.1. URL <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2011JCLI3979.1>.
- P. Y. Groisman, T. R. Karl, D. R. Easterling, R. W. Knight, P. Jamason, K. Hennessy, R. Suppiah, C. Page, J. Wibig, K. Fortuniak, V. N. Razuvaev, A. Douglas, E. Forland, and P. Zhai. Changes in the probability of heavy precipitation : important indicators of climate change. *Climatic Change*, 42 :243–283, 1999.
- T. G. Huntington. Evidence for intensification of the global water cycle : Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4) :83–95, Mar. 2006. ISSN 00221694. doi : 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169405003215>.
- Z. W. Kundzewicz and A. J. Robson. Change detection in hydrological records—a review of the methodology / revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1) :7–19, Feb. 2004. ISSN 0262-6667, 2150-3435. doi : 10.1623/hysj.49.1.7.53993. URL <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.49.1.7.53993>.
- T. Lebel, H. Sauvageot, M. Hoepffner, M. Desbois, B. Guillot, and P. Hubert. Rainfall estimation in the sahel : the EPSAT-NIGER experiment. *Hydrological Sciences*, 37 :201–215, 1992.
- H. A. Loaiciga, J. B. Valdes, R. Vogel, J. Garvey, and H. Schwarz. Global warming and the hydrologic cycle. *Journal Of Hydrology*, 174 :83–127, 1996.

- H. Madsen, P. Rasmussen, and D. Rosbjerg. Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events 1. at-site modeling. *Water Resources Research*, 33(4) :747–757, 1997.
- S. E. Nicholson. Climatic and environmental change in africa during the last two centuries. *Climate Research*, 17(2) :123–144, 2001. ISSN 0936-577X.
- P. A. O’Gorman and T. Schneider. The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(35) :14773, 2009.
- H. Paeth, A. H. Fink, S. Pohle, F. Keis, H. Mächel, and C. Samimi. Meteorological characteristics and potential causes of the 2007 flood in sub-saharan africa. *International Journal of Climatology*, pages n/a–n/a, July 2010. ISSN 08998418. doi : 10.1002/joc.2199. URL <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2199>.
- G. Panthou, T. Vischel, T. Lebel, J. Blanchet, G. Quantin, and A. Ali. Extreme rainfall in west africa : A regional modeling. *Water Resources Research*, in review, 2012.
- D. Sighomnou, A. Ilia, and B. Tanimoun. Événements de crues de juillet a septembre 2010 dans le niger moyen, 2010.
- A. Tarhule. Damaging rainfall and flooding : The other sahel hazards. *Climatic Change*, 72(3) :355–377, Oct. 2005. ISSN 0165-0009. doi : 10.1007/s10584-005-6792-4. URL <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10584-005-6792-4>.
- K. E. Trenberth, A. Dai, R. M. Rasmussen, and D. B. Parsons. The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9) : 1205–1217, Sept. 2003. ISSN 0003-0007. doi : 10.1175/BAMS-84-9-1205. URL <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-84-9-1205>.