

# Relations d'échelle pour les précipitations :

propriétés des extrêmes à plusieurs échelles spatiales et temporelles.

S. Innocenti<sup>1</sup>, A. Mailhot<sup>1</sup>, A. Frigon<sup>2</sup>, A. Cannon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRS, <sup>2</sup> OURANOS, <sup>3</sup> ECCC

Symposium OURANOS

14-16 Novembre 2017

# Estimer les extrêmes de précipitation

## Problématique aux multiples facettes :



- Impacts importants dépendant de la durée et de la surface.
- Effets des changements climatiques.

**Plusieurs échelles d'intérêt**

# Estimer les extrêmes de précipitation

## Problématique aux multiples facettes :



- Impacts importants dépendant de la durée et de la surface.
- Effets des changements climatiques.

## Défis de l'analyse :

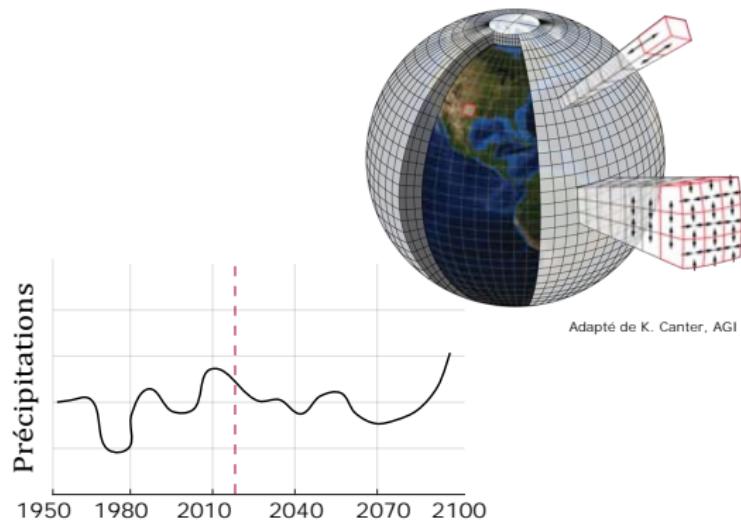
Résolution et couverture des données observées, biais et incertitudes, etc.

Plusieurs échelles d'intérêt

# Extrêmes dans les données simulées

## Modèles climatiques

Séries simulées pour une longue période  
sur une grille régulière couvrant une région



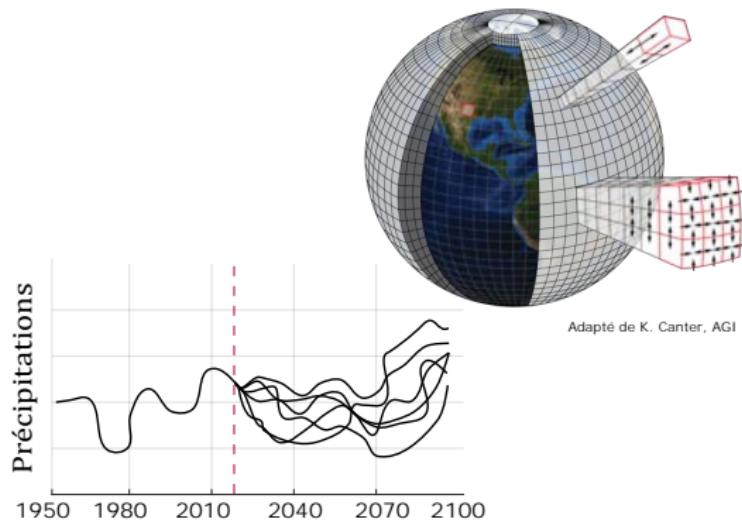
### Information climatique sur les événements rares :

- Les résolutions spatiale et temporelle rapprochent celles des applications.
- Projections futures

# Extrêmes dans les données simulées

## Modèles climatiques $\Rightarrow$ Grands ensembles

**Nombreuses** Séries simulées pour une longue période sur une grille régulière couvrant une région



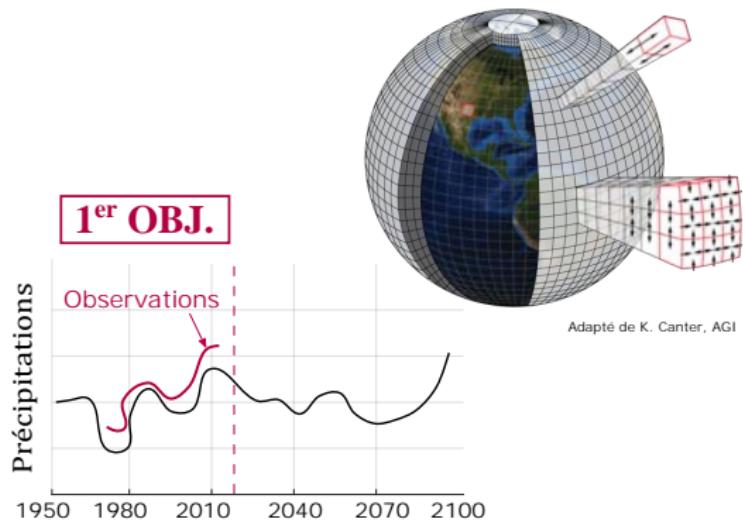
### Information climatique sur les événements rares :

- Les résolutions spatiale et temporelle rapprochent celles des applications.
- Projections futures
- Mise en relief du signal climatique.

# Extrêmes dans les données simulées

## Modèles climatiques $\Rightarrow$ Grands ensembles

**Nombreuses** Séries simulées pour une longue période sur une grille régulière couvrant une région



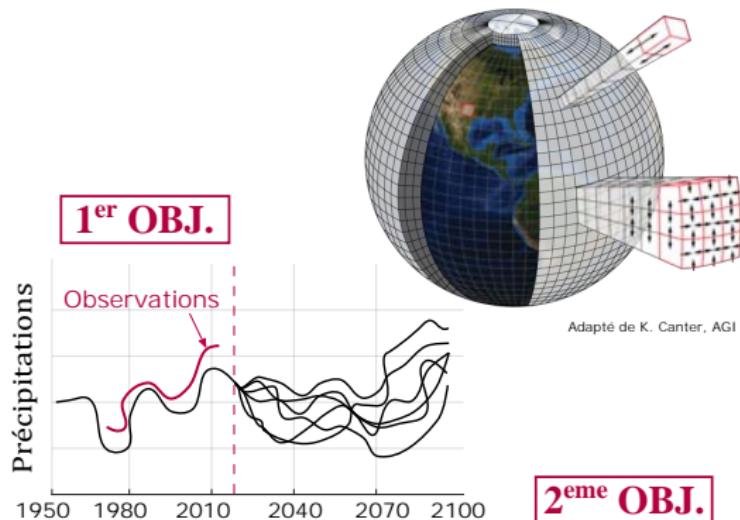
À évaluer :

- 1 La qualité et résolution des extrêmes simulés sont-elles adaptées aux applications ?

# Extrêmes dans les données simulées

## Modèles climatiques $\Rightarrow$ Grands ensembles

**Nombreuses** Séries simulées pour une longue période sur une grille régulière couvrant une région



À évaluer :

① La qualité et résolution des extrêmes simulés sont-elles adaptées aux applications ?

② Évolution future

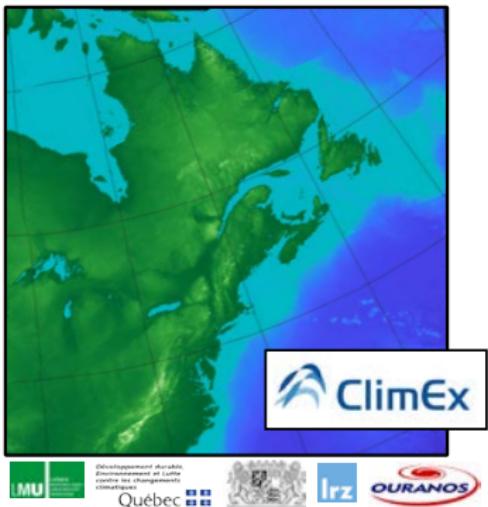
# Extrêmes à plusieurs échelles

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5

1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}, 1\text{h}$

[Martynov et al. 2013, Separovic et al. 2013]



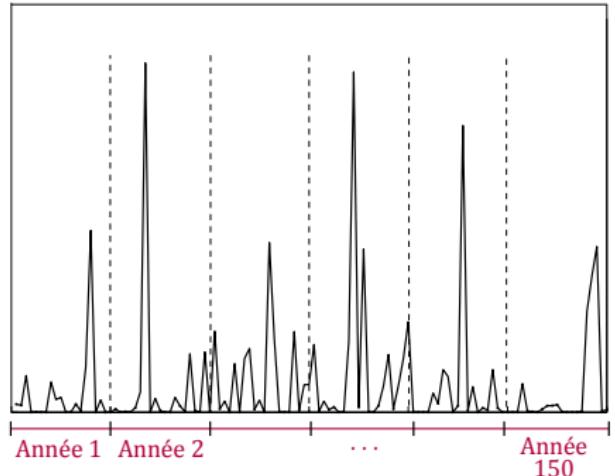
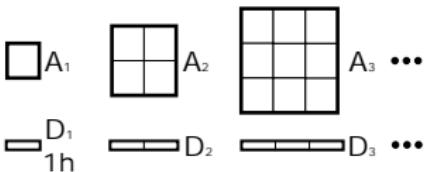
Développement durable  
et résilience  
face aux  
changements  
climatiques



# Extrêmes à plusieurs échelles

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}, 1\text{h}$

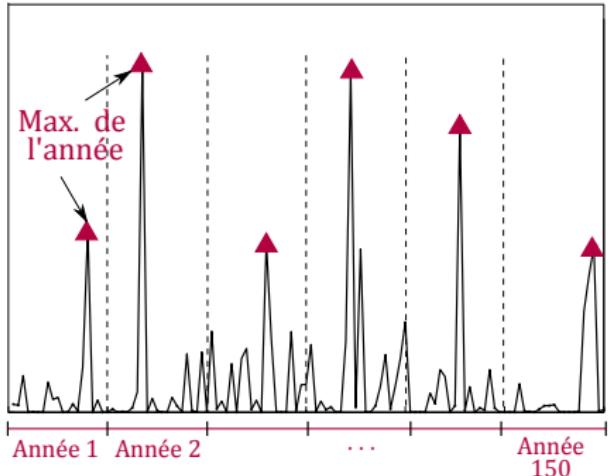
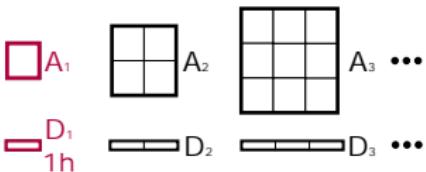


Séries des Intensités  
de précipitations pour  $(A, D)$

# Extrêmes à plusieurs échelles

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}, 1\text{h}$

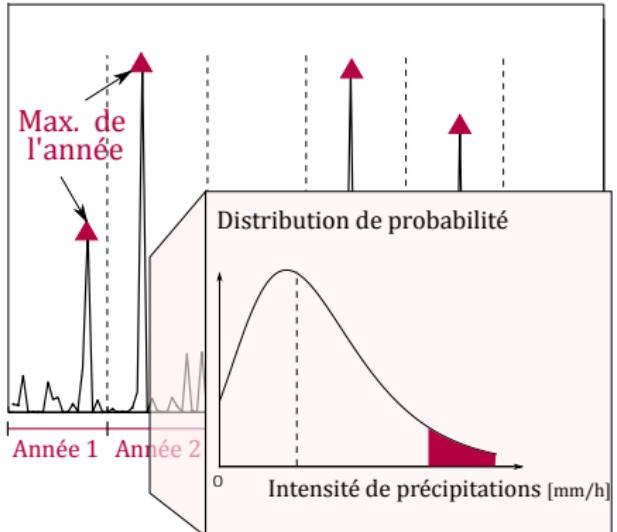
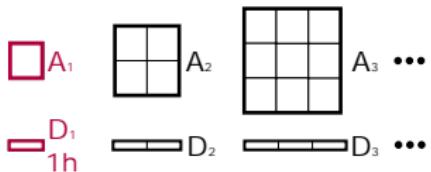


Séries des Intensités  
de précipitations pour  $(A, D)$   
⇒ Maxima Annuels (MA)

# Extrêmes à plusieurs échelles

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}, 1\text{h}$



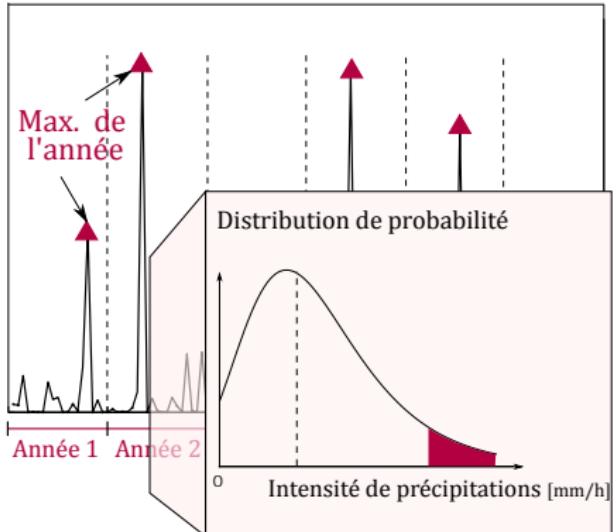
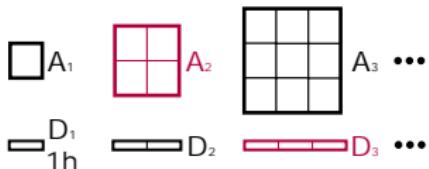
Séries des Intensités de précipitations pour  $(A, D)$   
⇒ Maxima Annuels (MA)

- Propriétés statistiques

# Extrêmes à plusieurs échelles

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}, 1\text{h}$



Séries des Intensités  
de précipitations pour  $(A, D)$   
⇒ Maxima Annuels (MA)

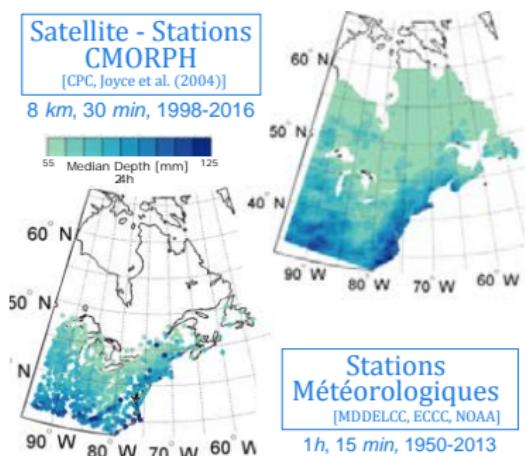
- Propriétés statistiques
- Comment ces propriétés statistiques changent avec l'échelle  $(A, D)$  ?

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évaluation

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}$ ,  $1\text{h}$

Obj. 1 : Comparaison avec les données observées



Séries des Intensités de précipitations pour  $(A, D)$   
⇒ Maxima Annuels (MA)

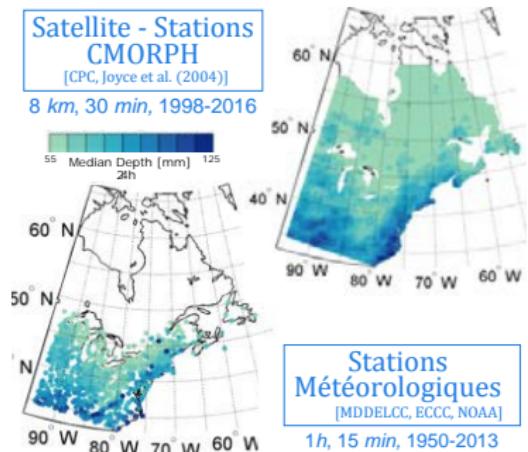
- Propriétés statistiques
- Comment ces propriétés statistiques changent avec l'échelle  $(A, D)$  ?

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évaluation

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100,  $\approx 12\text{km}$ ,  $1\text{h}$

Obj. 1 : Comparaison avec les données observées



Séries des Intensités de précipitations pour ( $A, D$ )  
⇒ Maxima Annuels (MA)

Données sur Grille  
MSWEP v2  
[Beck et al. 2017]

$\approx 10\text{km}$ , 3h, 1979-2016

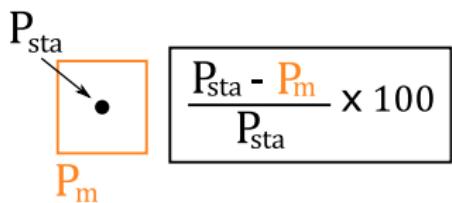
Données simulées  
modèle WRF  
[Liu et al. 2017]

4km, 1h, 2001-2013

# Propriétés statistiques des extrêmes

## Impact des échelles

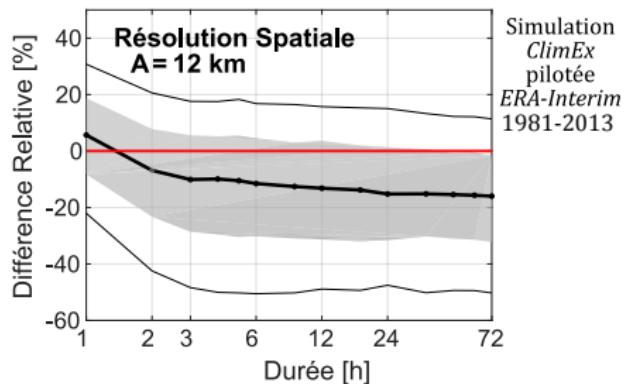
### Comparaison des quantiles entre les ensembles de données :



# Propriétés statistiques des extrêmes

## Impact des échelles

### Comparaison des quantiles entre les ensembles de données :



La différence dépend de la durée :

- Positive pour les  $D$  courtes  
 $P_{sta} > P_m$
- Négative pour les  $D$  longues  
 $P_{sta} < P_m$

$$\frac{P_{sta} - P_m}{P_{sta}} \times 100$$

$P_{sta}$

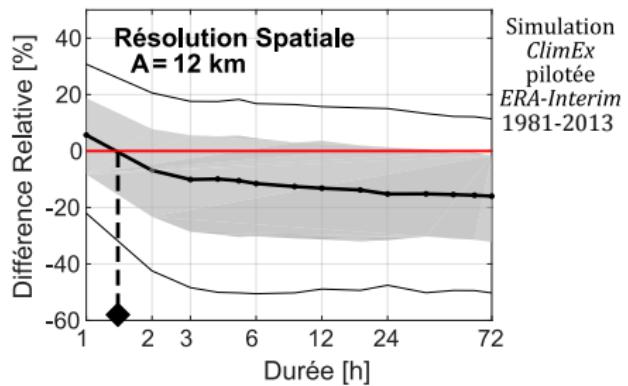
$P_m$

Période de retour  
25 ans

# Propriétés statistiques des extrêmes

## Impact des échelles

### Comparaison des quantiles entre les ensembles de données :



**La différence dépend de la durée :**

- Positive pour les  $D$  courtes  
 $D < d^*$     $P_{sta} > P_m$
- Négative pour les  $D$  longues  
 $D > d^*$     $P_{sta} < P_m$

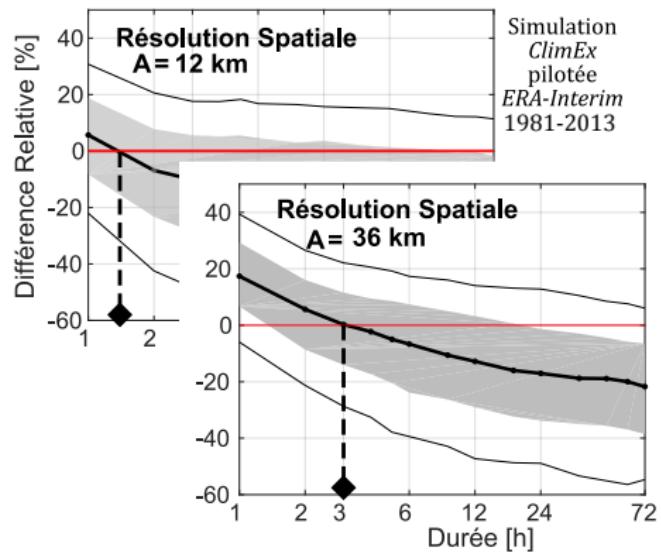
$$\frac{P_{sta} - P_m}{P_{sta}} \times 100$$

**Période de retour  
25 ans**

# Propriétés statistiques des extrêmes

## Impact des échelles

### Comparaison des quantiles entre les ensembles de données :



**La différence dépend de la durée :**

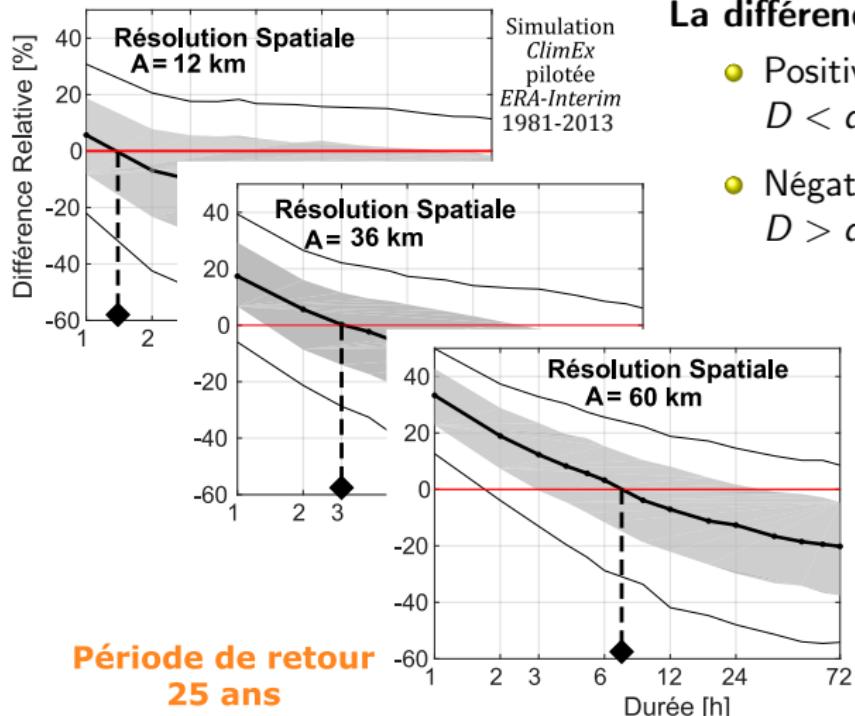
- Positive pour les  $D$  courtes  
 $D < d^*$     $P_{sta} > P_m$
- Négative pour les  $D$  longues  
 $D > d^*$     $P_{sta} < P_m$

**Période de retour  
25 ans**

# Propriétés statistiques des extrêmes

## Impact des échelles

### Comparaison des quantiles entre les ensembles de données :



**La différence dépend de la durée :**

- Positive pour les  $D$  courtes  
 $D < d^*$     $P_{sta} > P_m$
- Négative pour les  $D$  longues  
 $D > d^*$     $P_{sta} < P_m$

### Relation avec $D$ et $A$

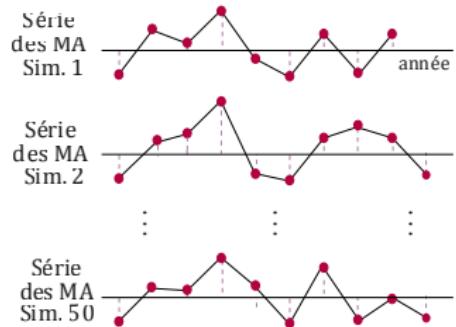
**Cruciale pour l'utilisation des données**

Stratégies de correction de bias, de descente d'échelle, etc  
 [p. ex. Haerter et al. 2015]

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100

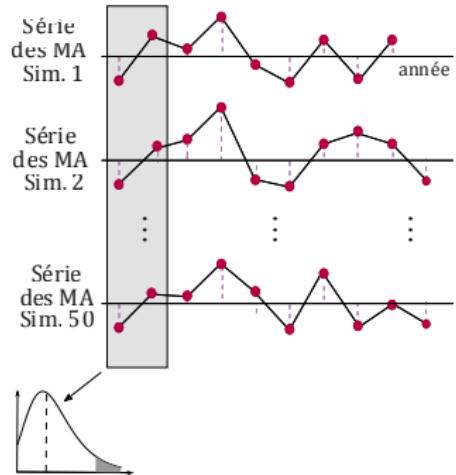


Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100



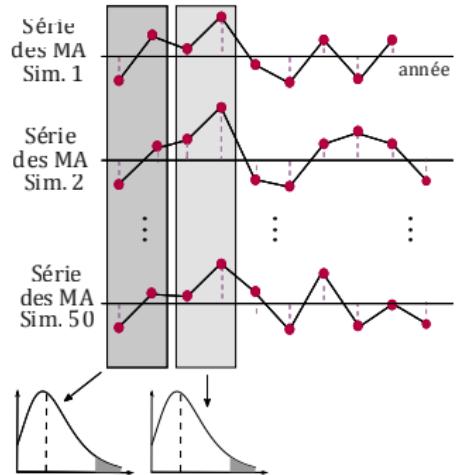
Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

Combiner les MA des 50 simulations  
sur des courtes périodes  
p.ex. 3 ans

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100



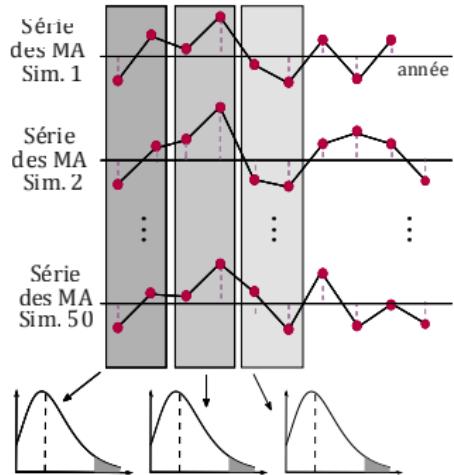
Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

Combiner les MA des 50 simulations  
sur des courtes périodes  
p.ex. 3 ans

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100



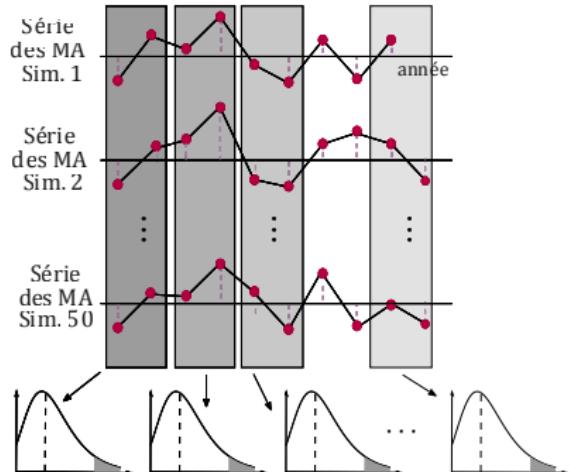
Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

Combiner les MA des 50 simulations  
sur des courtes périodes  
p.ex. 3 ans

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble ClimEx pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100



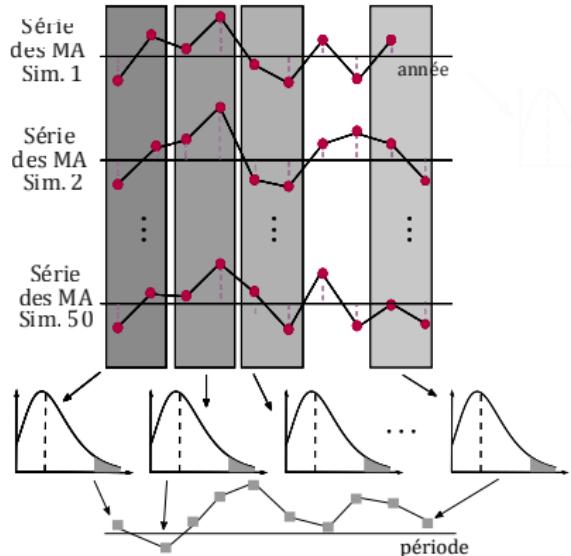
Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

Combiner les MA des 50 simulations  
sur des courtes périodes  
p.ex. 3 ans

# Extrêmes à plusieurs échelles - Évolution future

Grand ensemble *ClimEx* pour estimer les extrêmes de précipitation à plusieurs échelles spatiales  $A$  et temporelles  $D$ .

50 simulations du MRCC5  
1950 - 2100



Obj. 2 : Impacts des changements climatiques ?

Combiner les MA des 50 simulations  
sur des courtes périodes  
p.ex. 3 ans

Séries temporelles des statistiques de MA  
[p. ex. séries des quantiles]

# Évolution temporelle des extrêmes

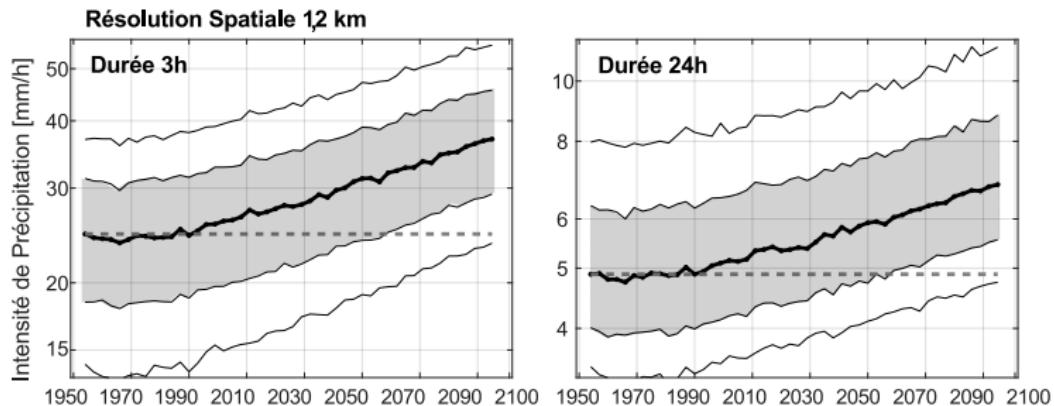
**1950 - 2100 : 50 périodes de 3 ans, chacune de 150 MA**

⇒ 50 estimations du quantile de période de retour 100 ans

# Évolution temporelle des extrêmes

**1950 - 2100 : 50 périodes de 3 ans, chacune de 150 MA**

⇒ **50 estimations du quantile de période de retour 100 ans**

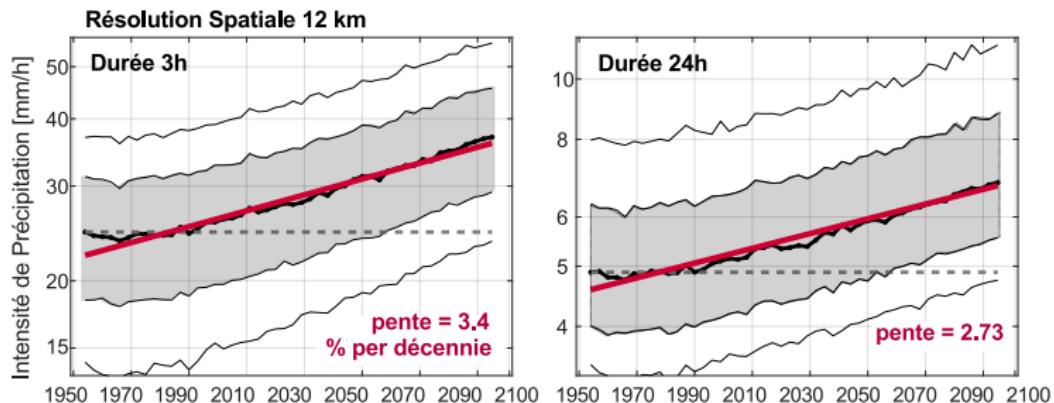


- Augmentations pour la plus part des points de grille et quantiles.

# Évolution temporelle des extrêmes

**1950 - 2100 : 50 périodes de 3 ans, chacune de 150 MA**

⇒ 50 estimations du quantile de période de retour 100 ans



- Augmentations pour la plus part des points de grille et quantiles.
  - Forte dépendance avec la durée  $D$  **mais** moins claire avec  $A$ .
- ⇒ Évolution des **relations d'échelle** et des **systèmes météo** . .

# Conclusions

## ClimEx pour les extrêmes à plusieurs échelles $A$ et $D$ :

- Comparaison des estimations avec les données aux stations
  - ◊ Faibles différences pour les courtes durées  $D$ .
  - ◊ Variation avec  $D$  et  $A$  : Relations d'échelle et  $d^\diamond$  de transition.

# Conclusions

## ClimEx pour les extrêmes à plusieurs échelles A et D :

- Comparaison des estimations avec les données aux stations
  - ◊ Faibles différences pour les courtes durées  $D$ .
  - ◊ Variation avec  $D$  et  $A$  : Relations d'échelle et  $d^\diamond$  de transition.
- **Grand ensemble ClimEx** ⇒ Étudier les impacts des changements climatiques sur les extrêmes à petite échelle :
  - ◊ Augmentations importantes sur l'ensemble du territoire, surtout sur les courtes durées.
  - ◊ Évolution des relations d'échelle dans le temps → nature des systèmes météorologiques générant les extrêmes.

# Conclusions

## ClimEx pour les extrêmes à plusieurs échelles A et D :

- Comparaison des estimations avec les données aux stations
  - ◊ Faibles différences pour les courtes durées  $D$ .
  - ◊ Variation avec  $D$  et  $A$  : [Relations d'échelle et  \$d^\diamond\$  de transition](#).
- **Grand ensemble ClimEx** ⇒ Étudier les impacts des changements climatiques sur les extrêmes à petite échelle :
  - ◊ Augmentations importantes sur l'ensemble du territoire, surtout sur les courtes durées.
  - ◊ Évolution des relations d'échelle dans le temps → [nature des systèmes météorologiques générant les extrêmes](#).

## À intégrer : description analytique des lois d'échelle

⇒ Post-traitement des données pour les applications  
[p. ex. correction biais]

Merci pour votre attention

# Références

- <http://www.climex-project.org/>
- Beck et al. [2017 ], "MSWEP", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*
- Joyce et al. [2004 ], "CMORPH", *Journal of Hydrometeorology*
- Haerter et al. [2015 ], "Statistical precipitation bias correction of gridded model data using point measurements", *Geophysical Research Letters*
- Martynov et al. [2013 ], "Reanalysis-driven climate simulation over CORDEX North America domain using the Canadian Regional Climate Model, version 5", *Climate Dynamics*
- Liu et al. [2017 ], "Continental-scale convection-permitting modeling of the current and future climate of North America", *Climate Dynamics*
- Šeparović et al. [2013 ], "Present climate and climate change over North America as simulated by the fifth-generation Canadian regional climate model", *Climate Dynamics*

# Annexes

Plus de résultats

# Évolution temporelle des extrêmes

## Méthode

Régression Log-Lin entre les statistiques [e.g., quantiles]  $Q_t$  et les années  $Y_t$  : [Estimateur de Thai-Sen ]

$$\ln(Q_t) = \alpha + \beta Y_t + \epsilon_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$\beta \times 100 \approx$  Changement % annuel de  $E[Q]$ .

Ex. Si  $\beta = 0.003 \Rightarrow \beta \times 100 = 0.3 \Rightarrow$

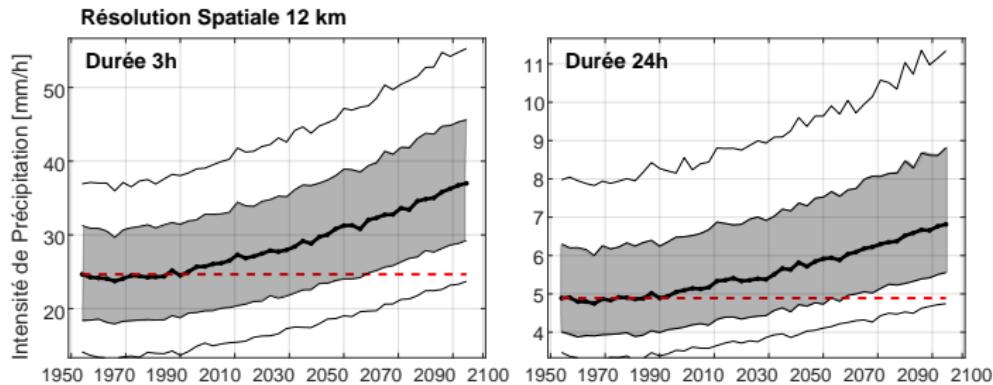
La statique  $Q$  montre une augmentation annuelle moyenne de 0.3%

$\Rightarrow$  Augmentation attendue en 10 ans  $\approx 3\%$ .

# Évolution temporelle des extrêmes

**1950 - 2100 : 50 périodes de 3 ans, chacune de 150 AM**

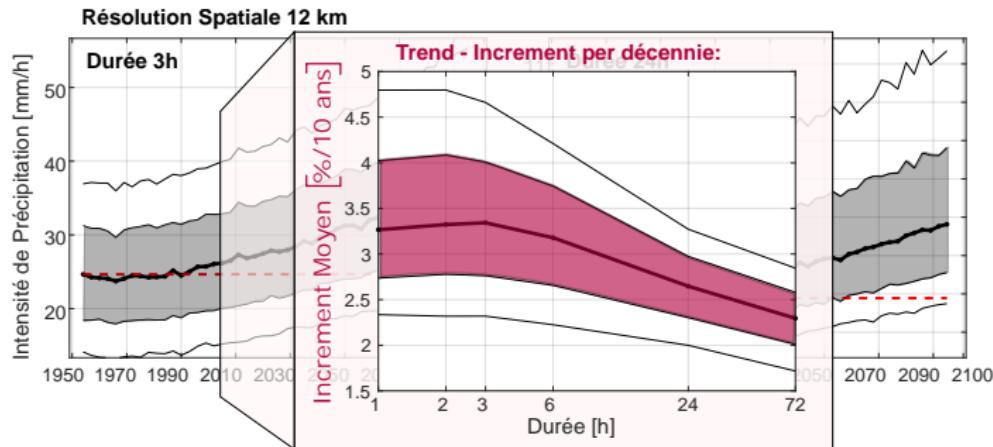
⇒ **50 estimations du quantile de période de retour 100 ans**



# Évolution temporelle des extrêmes

**1950 - 2100 : 50 périodes de 3 ans, chacune de 150 AM**

⇒ 50 estimations du quantile de période de retour 100 ans



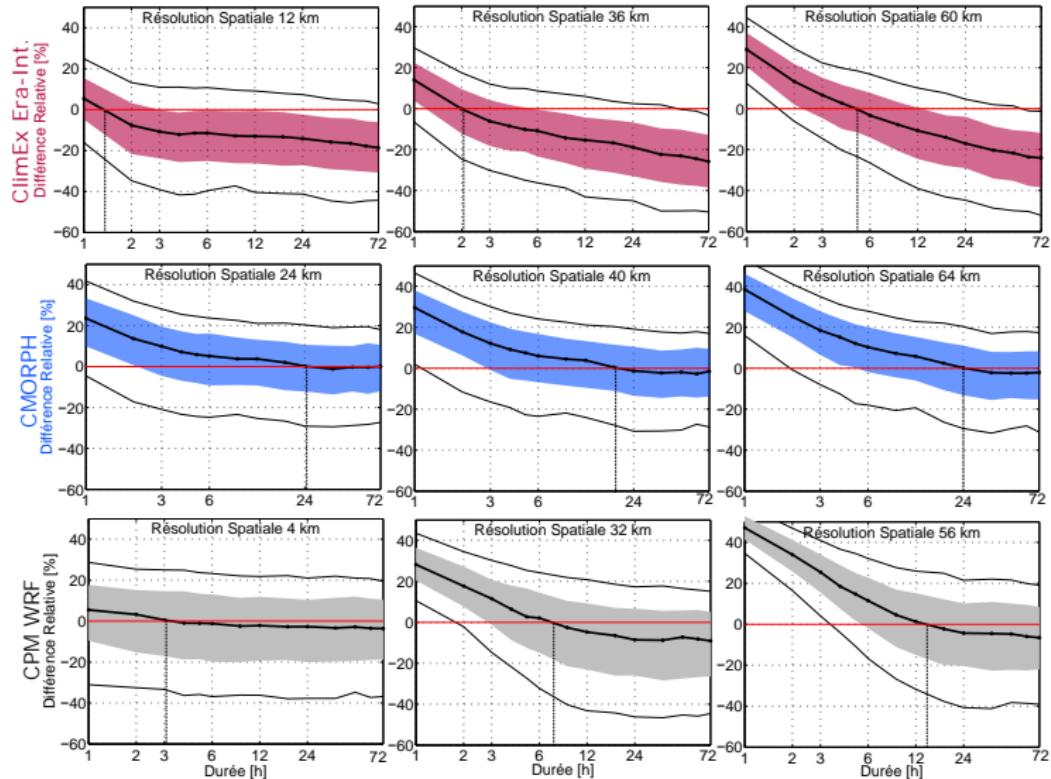
- Forte dépendance avec la durée  $D$  **mais** moins évident avec  $A$ .  
 ⇒ Évolution des **relation d'échelle** et de la **nature des extrêmes**.

# Annexes

## Comparaison des estimation aux stations et des ensembles sur grille

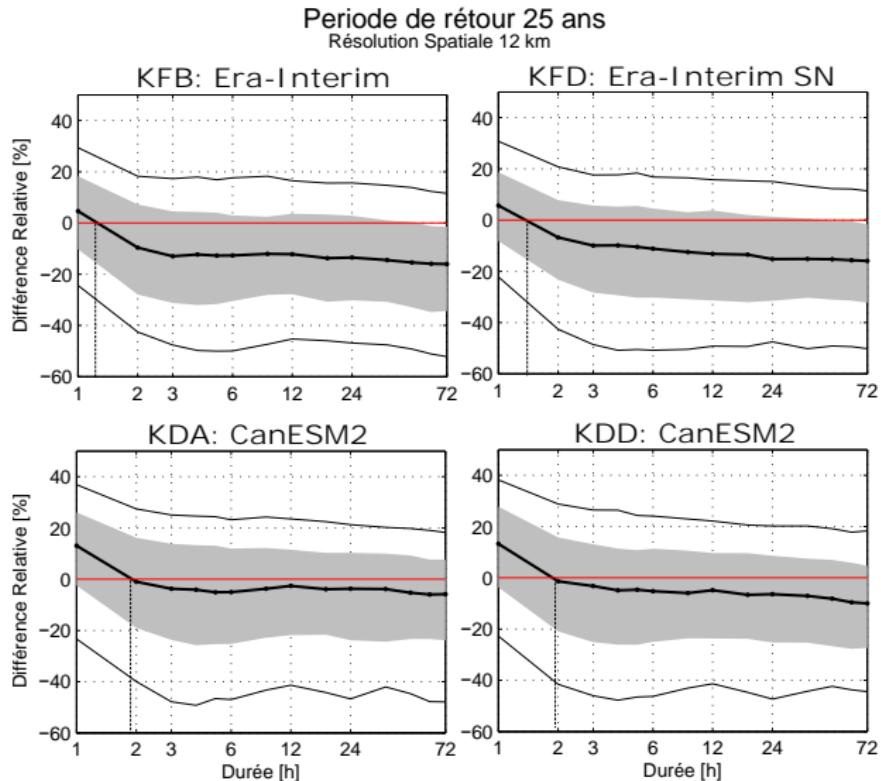
# Différences avec les quantiles aux stations

Différence relative  $(Q_{sta} - Q_m)/Q_{sta}$  - Période de retour 10 ans



# Différences avec les quantiles aux stations

Différence relative  $(Q_{sta} - Q_{clim})/Q_{sta}$  - ClimEx, période de retour 25 ans



# Différences avec les quantiles aux stations

Ratio entre les quantile  $Q_{sta}/Q_{m}$  - ClimEx, période de retour 25 ans

