

## Sensibilité de l'hydrosystème Seine au changement climatique et à ses composantes de long terme

Flipo, N.<sup>1</sup>, Boé, J.<sup>2</sup>, Massei, N.<sup>3</sup>, Fossa, M.<sup>3</sup>, Gallois, N.<sup>1</sup>, Schuite, J.<sup>4,1</sup>, Dieppois, B.<sup>5</sup>, Fournier, M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Géosciences, Mines Paris, Université PSL

<sup>2</sup> UMR CECI

<sup>3</sup> UMR M2C

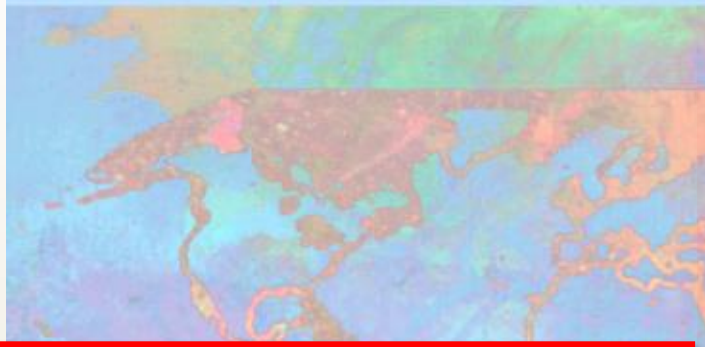
<sup>4</sup> TerraScience

<sup>5</sup> Centre for Agroecology, Water and Resilience, Coventry University, Coventry, UK

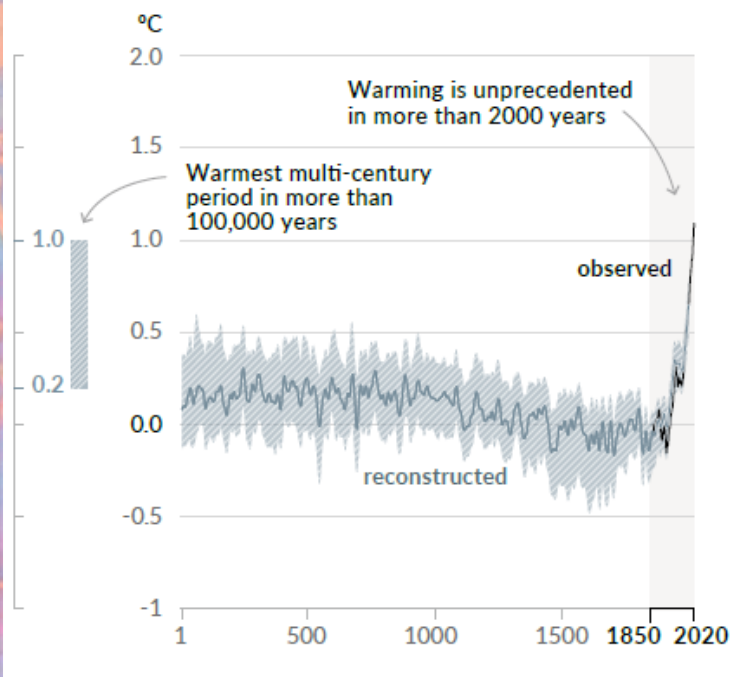
# Les activités humaines à l'origine d'un réchauffement de 1°C depuis le début de l'ère industrielle

## The Physical Science Basis

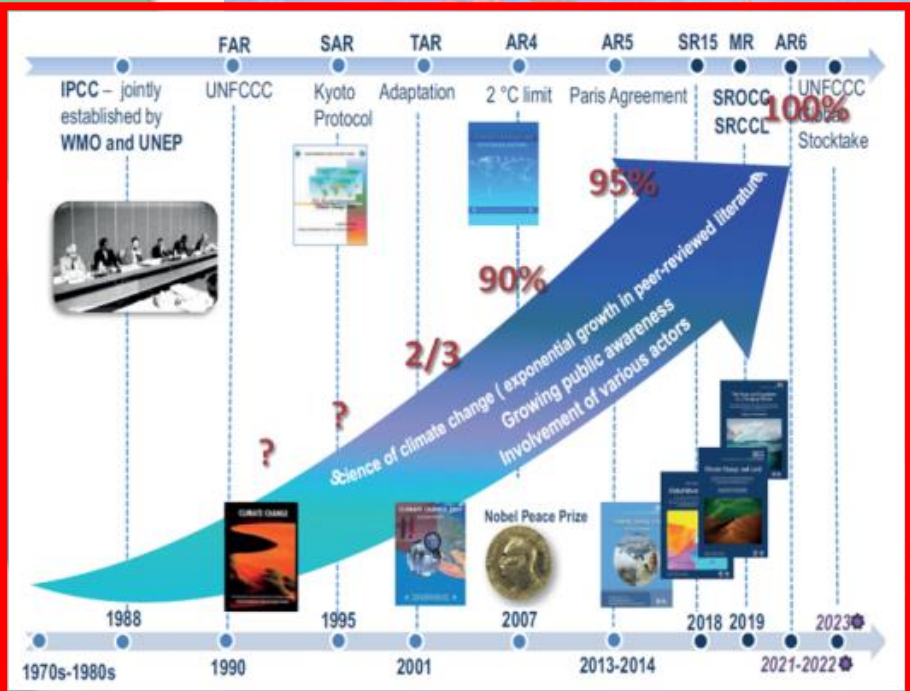
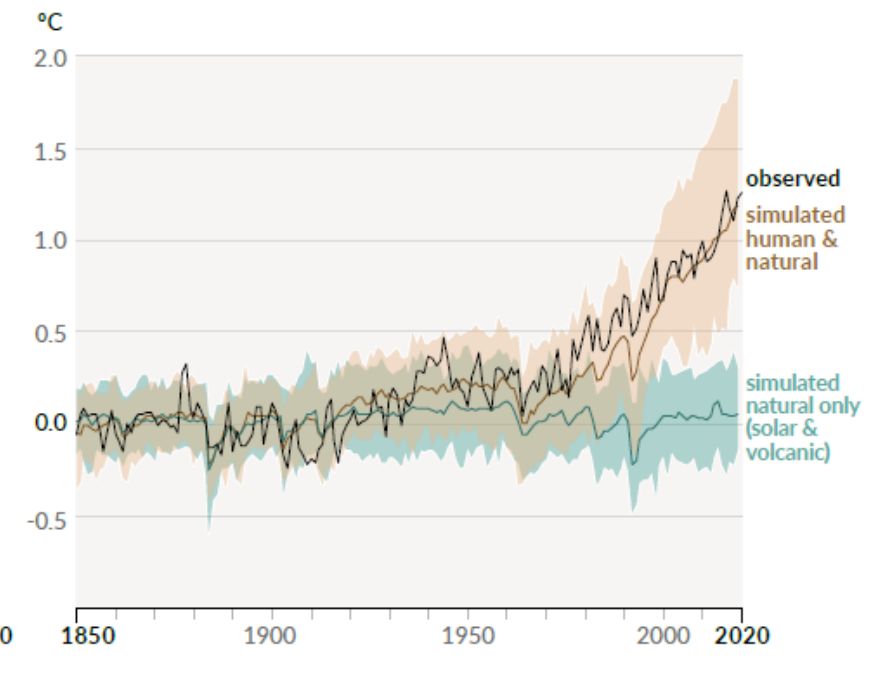
# Climate Change 2021 The Physical Science Basis



a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change



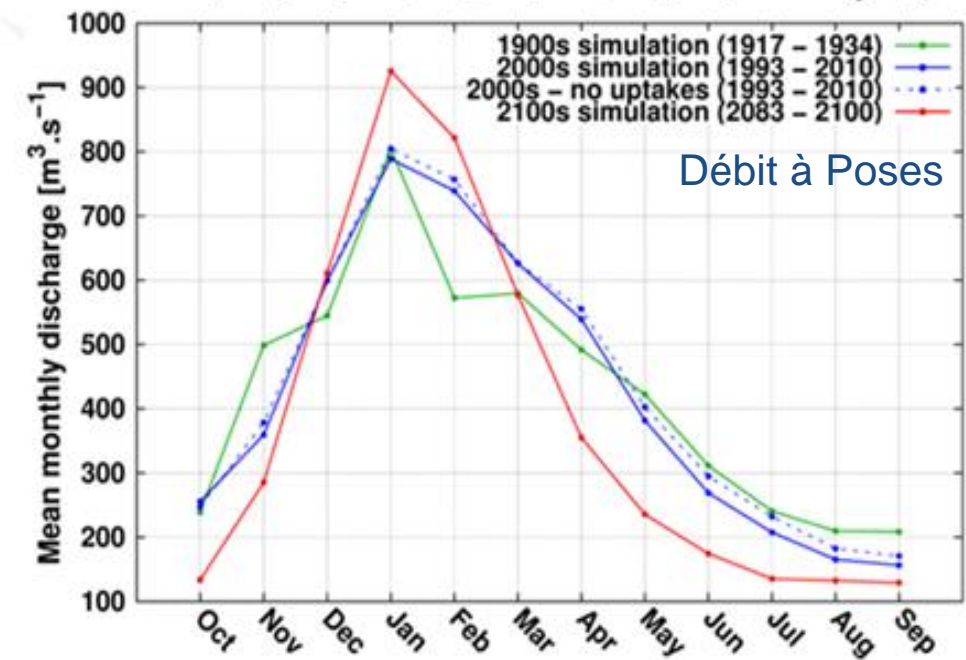
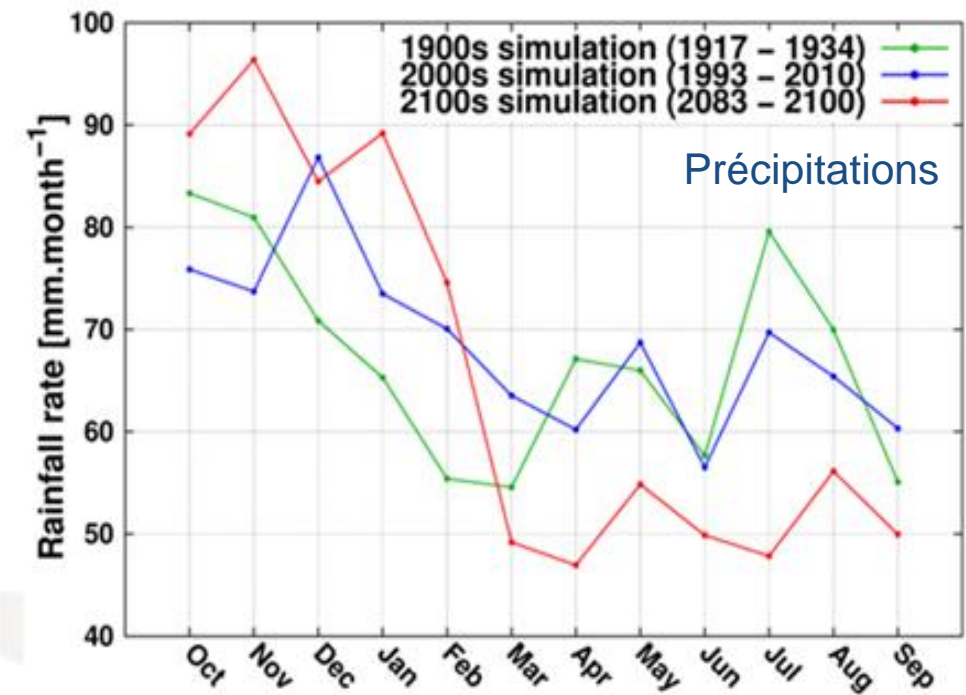
Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change



# Le changement climatique en Seine

La Seine est dans une zone où tous les modèles de circulation générale ne sont pas en accord, néanmoins des travaux récents semblent indiquer:

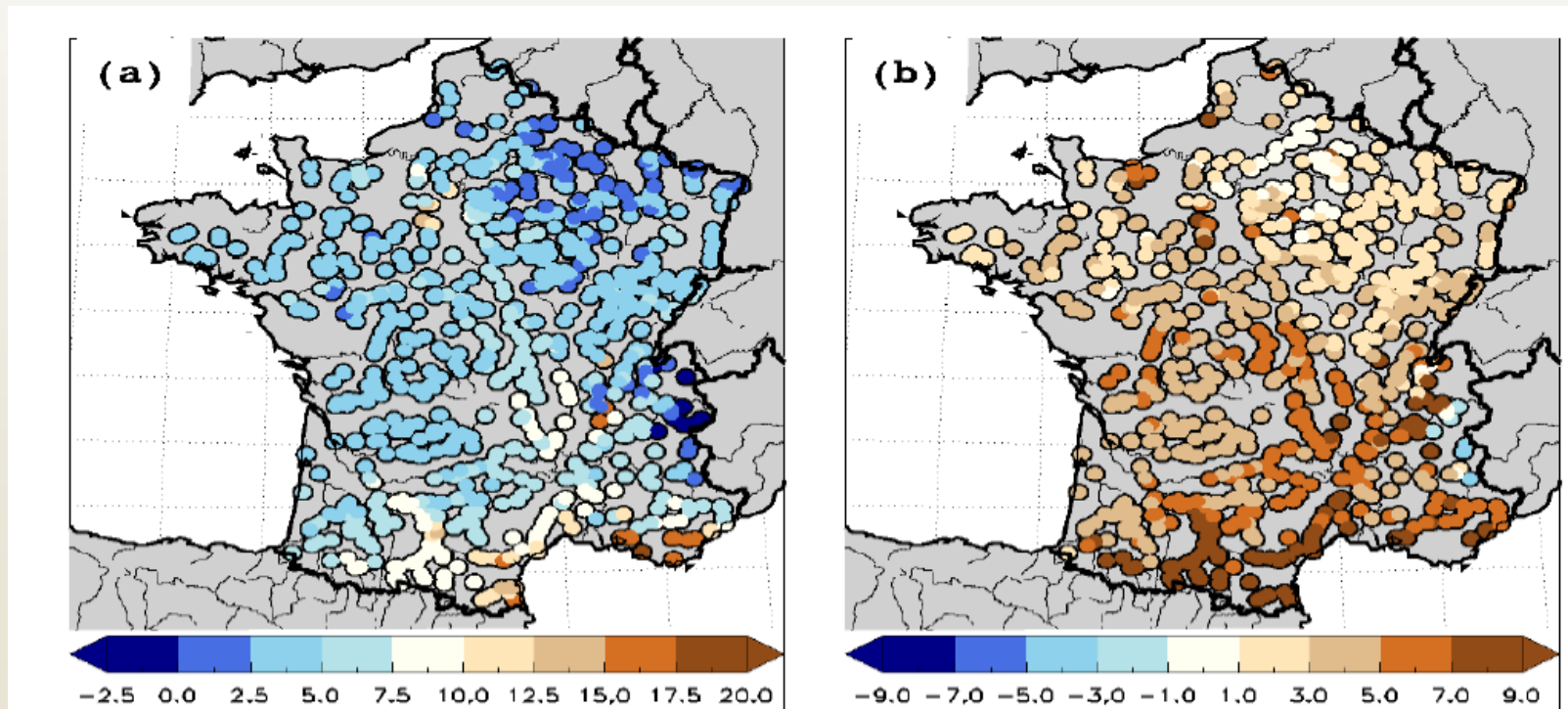
- Une modification significative du régime hydrologique de la Seine à Poses [Flipo et al., 2020a] :
  - des précipitations légèrement plus intenses en hiver
  - un étiage plus sévère, plus long, plus fréquent



# Le changement climatique en Seine

La Seine est dans une zone où tous les modèles de circulation générale ne sont pas en accord, néanmoins des travaux récents semblent indiquer:

- Une modification significative du régime hydrologique de la Seine à Poses [Flipo et al., 2020]
- Une augmentation de la durée des sécheresses hydrologiques et agricoles, ainsi que de leur intensité [Boé et al., 2018]



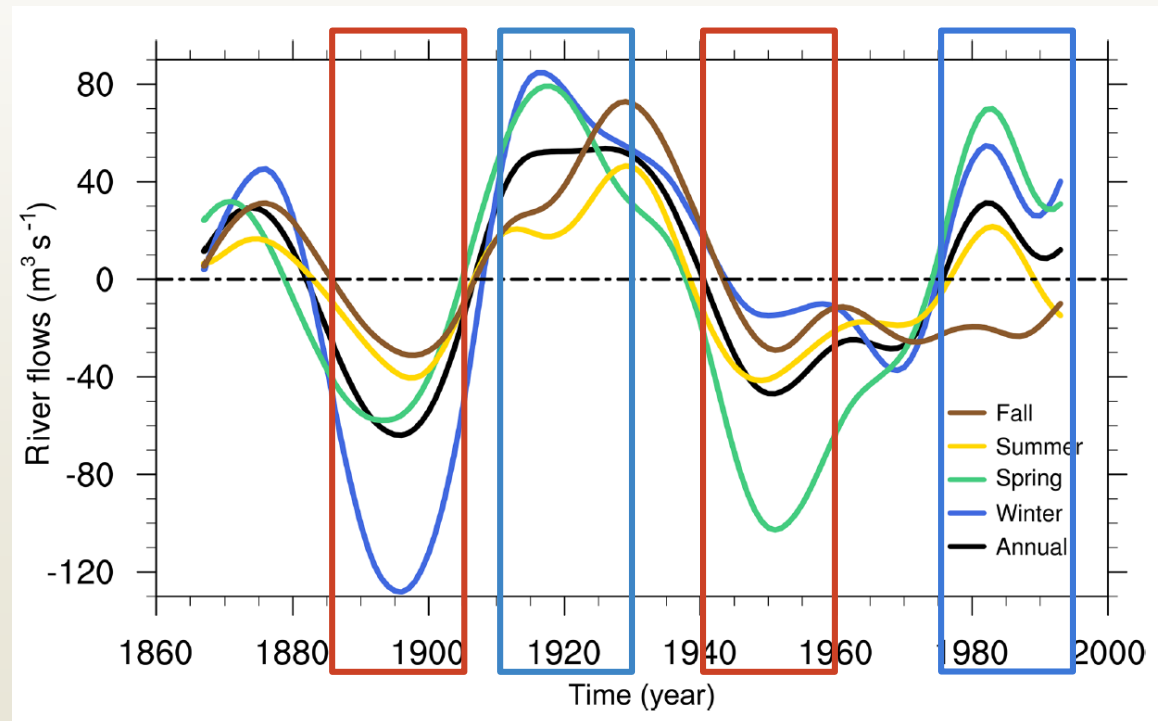
Moyenne d'ensemble pour le scénario RCP 8.5 2031-2060 versus 1961-1990

a) Changement du pourcentage de temps passé en sécheresse hydrologique  
b) Changement relatif de la sévérité des sécheresses

# Importance de la variabilité basse fréquence

Les débits s'inscrivent dans une variabilité hydroclimatique de longue période temporelle (>décennie)

écarts à la moyenne pluri-décennale des débits annuels de la Seine à Poses

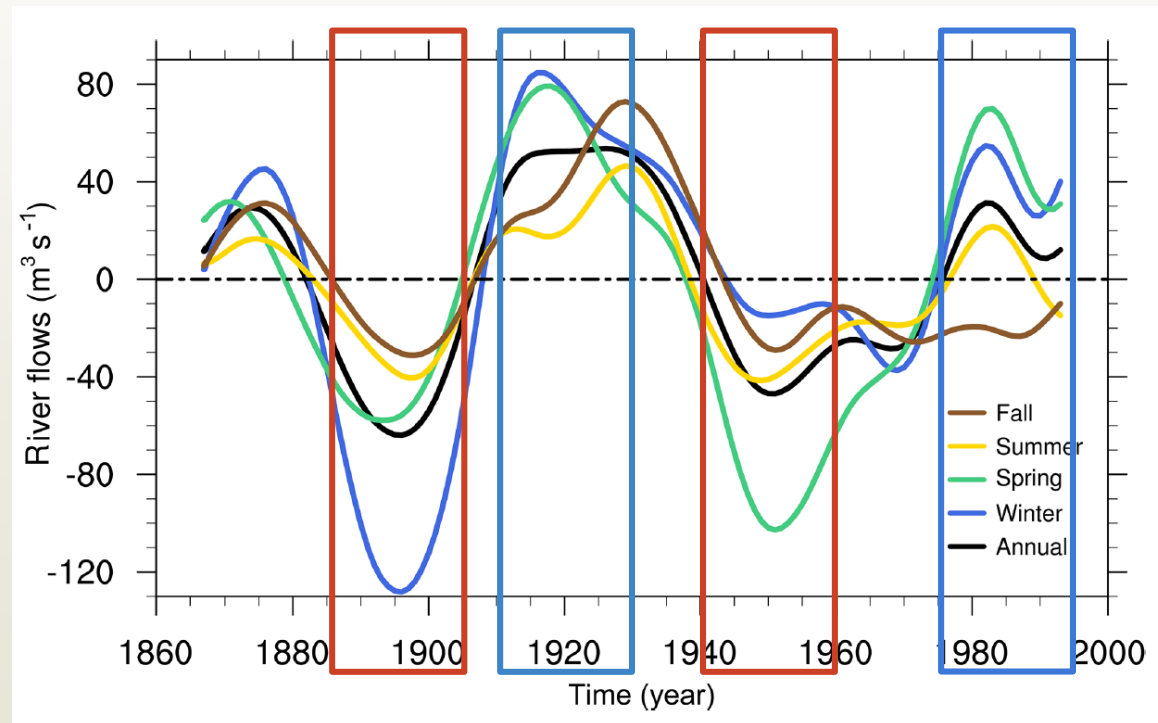


[Bonnet et al., 2020]

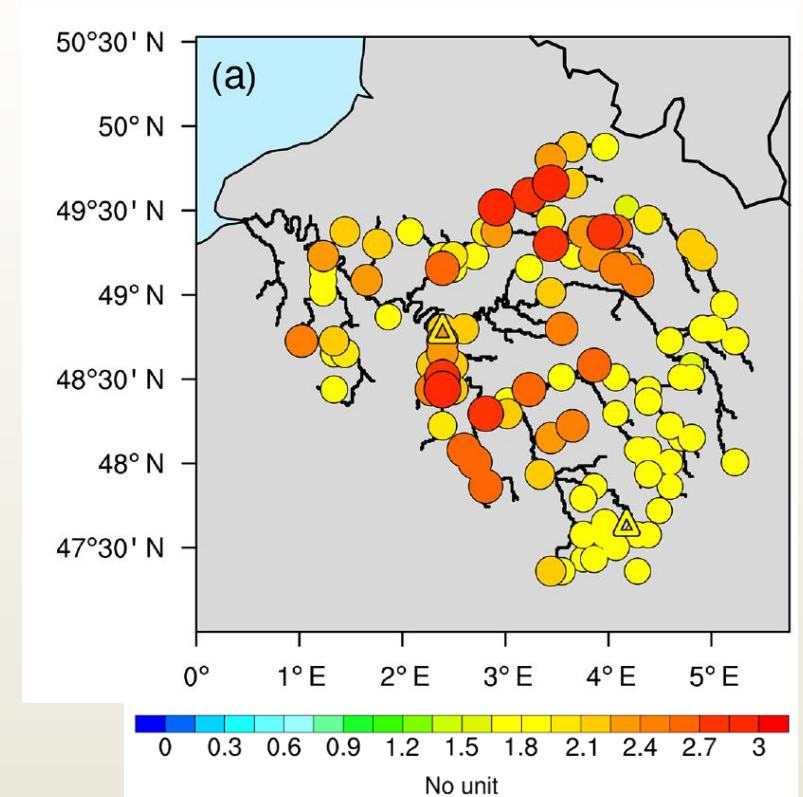
# Importance de la variabilité basse fréquence

Les débits s'inscrivent dans une variabilité hydroclimatique de longue période temporelle (>décennie)

écarts à la moyenne pluri-décennale des débits annuels de la Seine à Poses



[Bonnet et al., 2020]



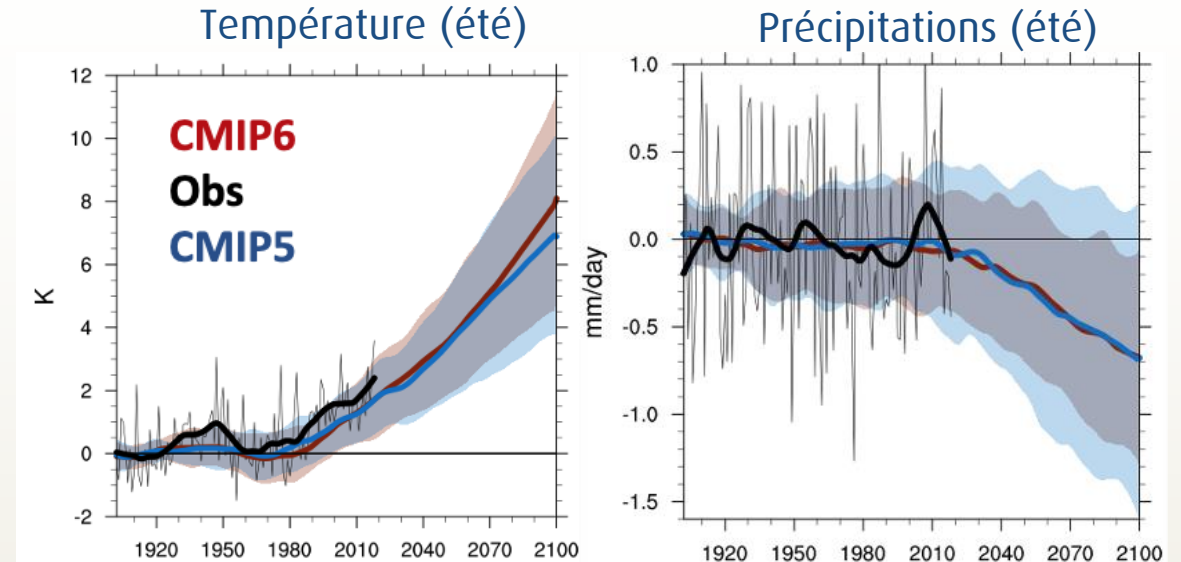
nombre de jours à fort débit en période multidécennale de fortes précipitations comparé aux périodes de faibles précipitations

# Stratégie de scénarisation

Scénarisation du changement climatique (CC) focalisée sur la variabilité basse fréquence (i.e. ~décennale) des signaux hydro-climatiques, qui est contraignante pour l'analyse de trajectoires

1. Analyse des projections climatiques de dernière génération CMIP6

## Evolution sur le bassin de la Seine pour un scénario sévère



[Boé 2020]

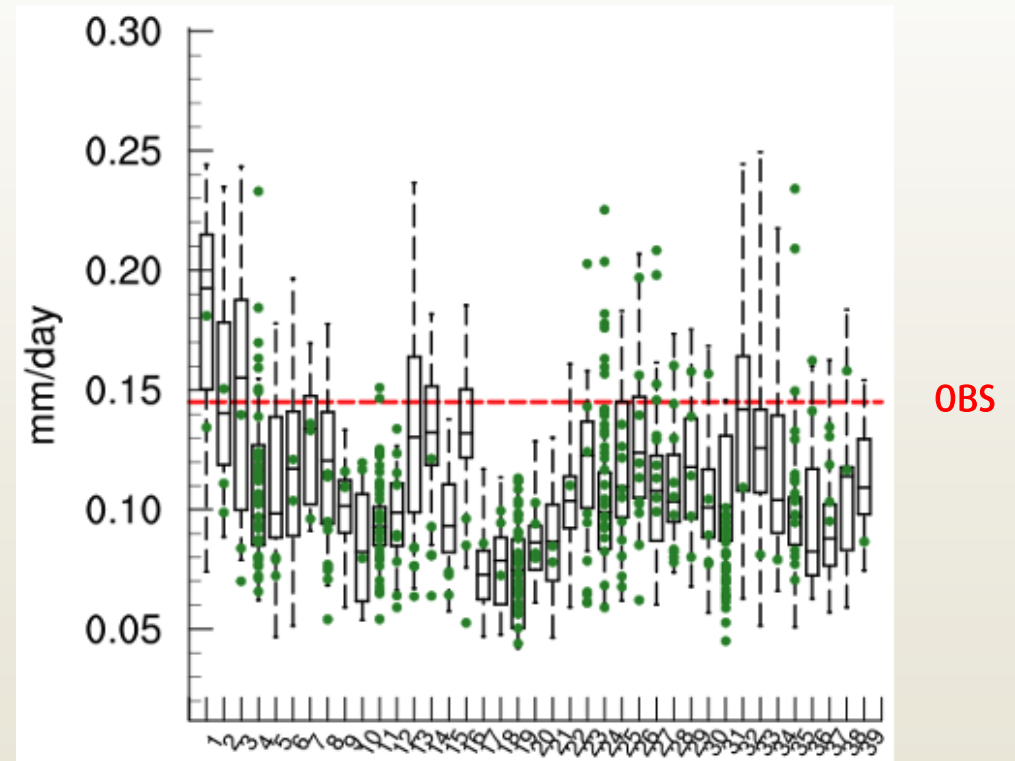
# Stratégie de scénarisation

Scénarisation du changement climatique (CC) focalisée sur la variabilité basse fréquence (i.e. ~décennale) des signaux hydro-climatiques, qui est contraignante pour l'analyse de trajectoires

1. Analyse des projections climatiques de dernière génération CMIP6
2. Sélection de projections

## Evaluation de la variabilité décennale des précipitations sur la France

Printemps  
période 1901-2014

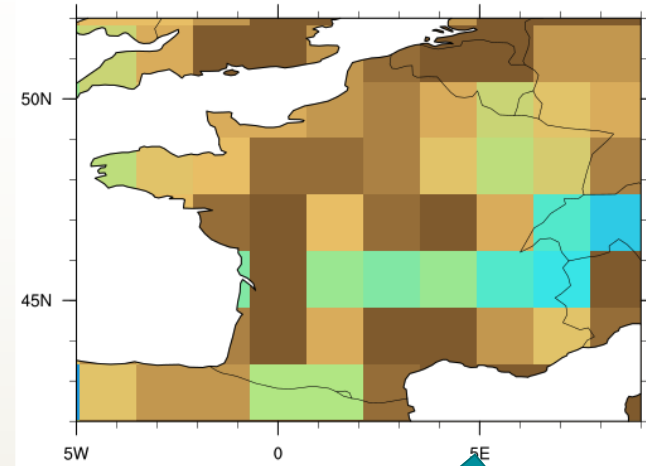


[Boé 2020]

# Stratégie de scénarisation

Scénarisation du CC focalisée sur la variabilité basse fréquence (i.e. ~décennale) des signaux hydro-climatiques, qui est contraignante pour l'analyse de trajectoires

1. Analyse des projections climatiques de dernière génération CMIP6
  2. Sélection de projections
  3. Développement d'une nouvelle méthode de régionalisation hybride statistico-dynamique
  4. Régionalisation des projections globales sélectionnées
- => Scénarios climatiques à haute résolution sur le bassin de la Seine

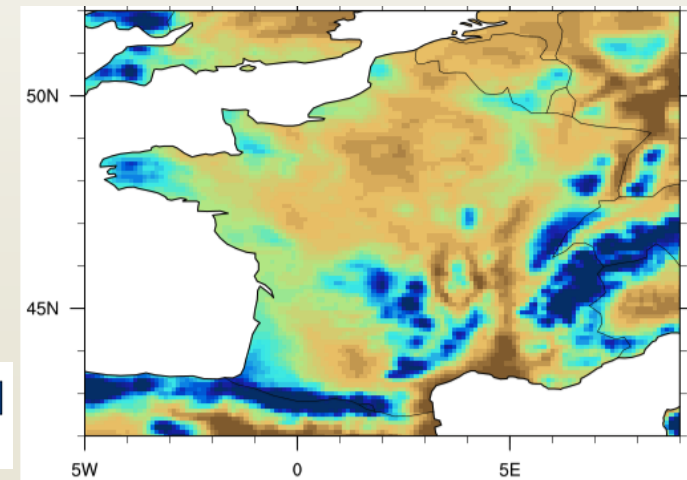
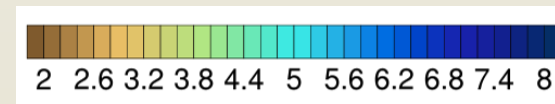


Projection climatique globale sélectionnée  
Résolution  $\approx$  150 km

Régionalisation

Scénario régionalisé  
Résolution  $\approx$  10 km

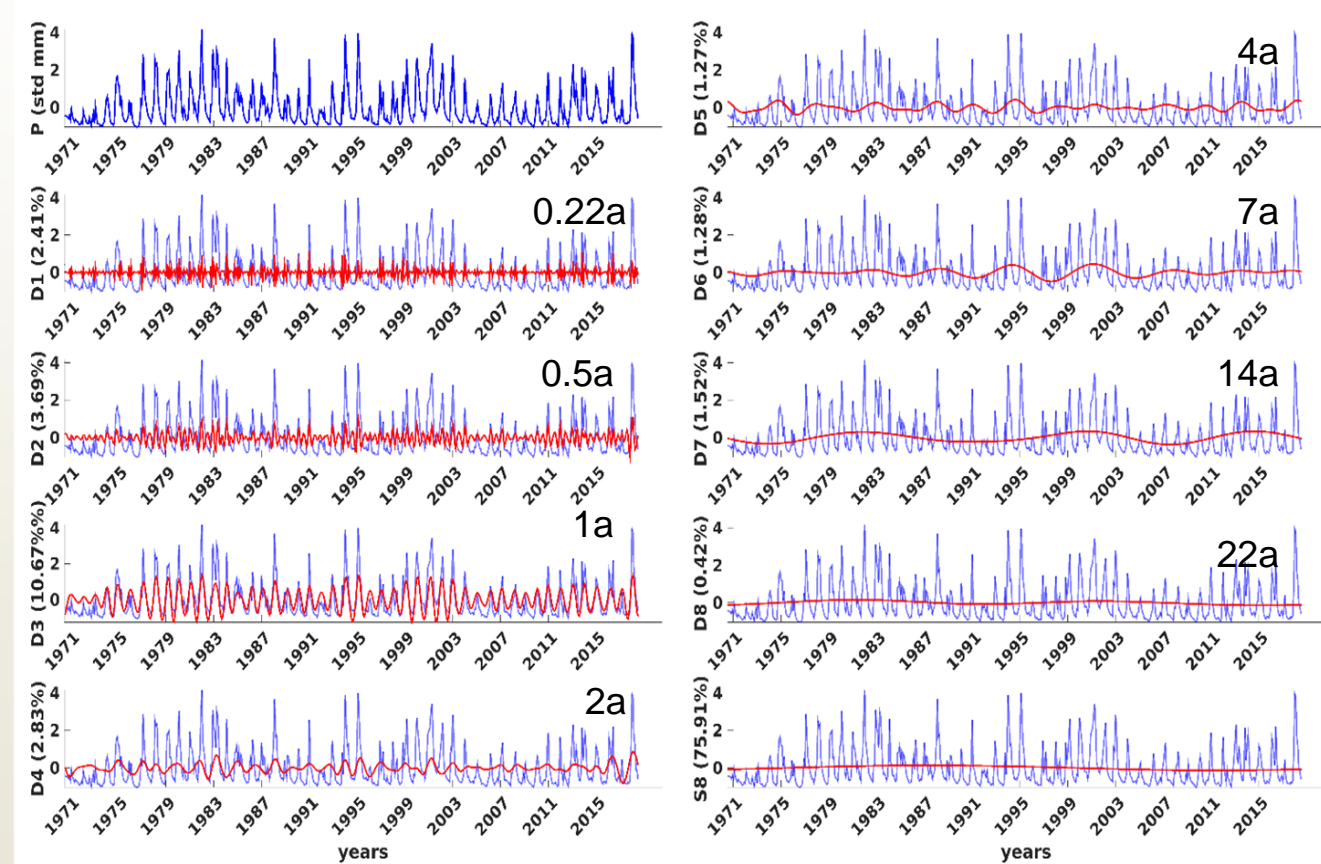
Précipitations moyennes hiver  
(mm/jour) 1971-2000



# Stratégie de scénarisation

Scénarisation du CC focalisée sur la variabilité basse fréquence (i.e. ~décennale) des signaux hydro-climatiques, qui est contraignante pour l'analyse de trajectoires

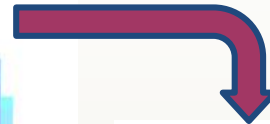
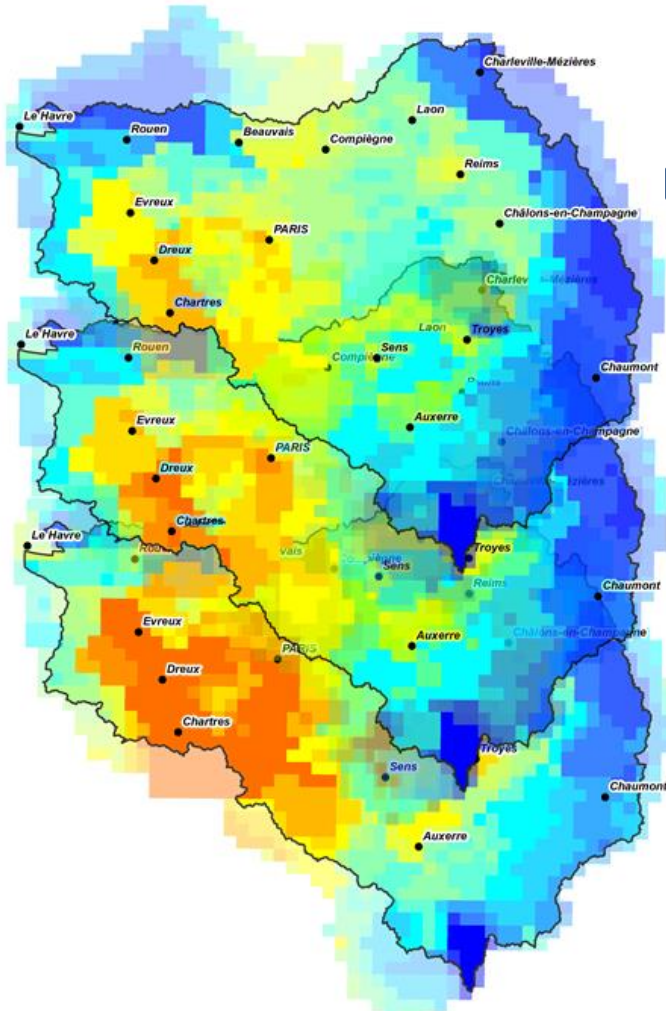
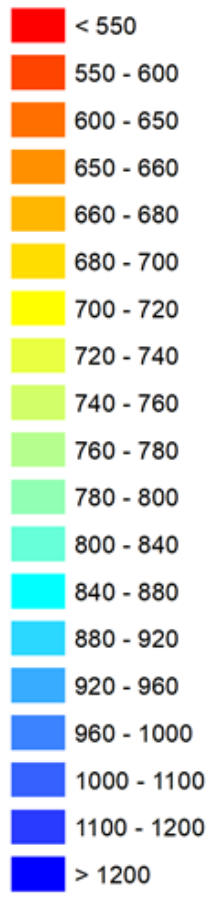
1. Analyse des projections climatiques de dernière génération CMIP6
2. Sélection de projections
3. Développement d'une nouvelle méthode de régionalisation hybride statistico-dynamique
4. Régionalisation des projections globales sélectionnées  
=> Scénarios climatiques à haute résolution sur le bassin de la Seine
5. Evaluation des incertitudes par simulation d'ensemble et par une analyse innovante multi-spectrale



# Evaluation des scénarisations par modélisation hydrologique

à l'aide du modèle CaWaQS

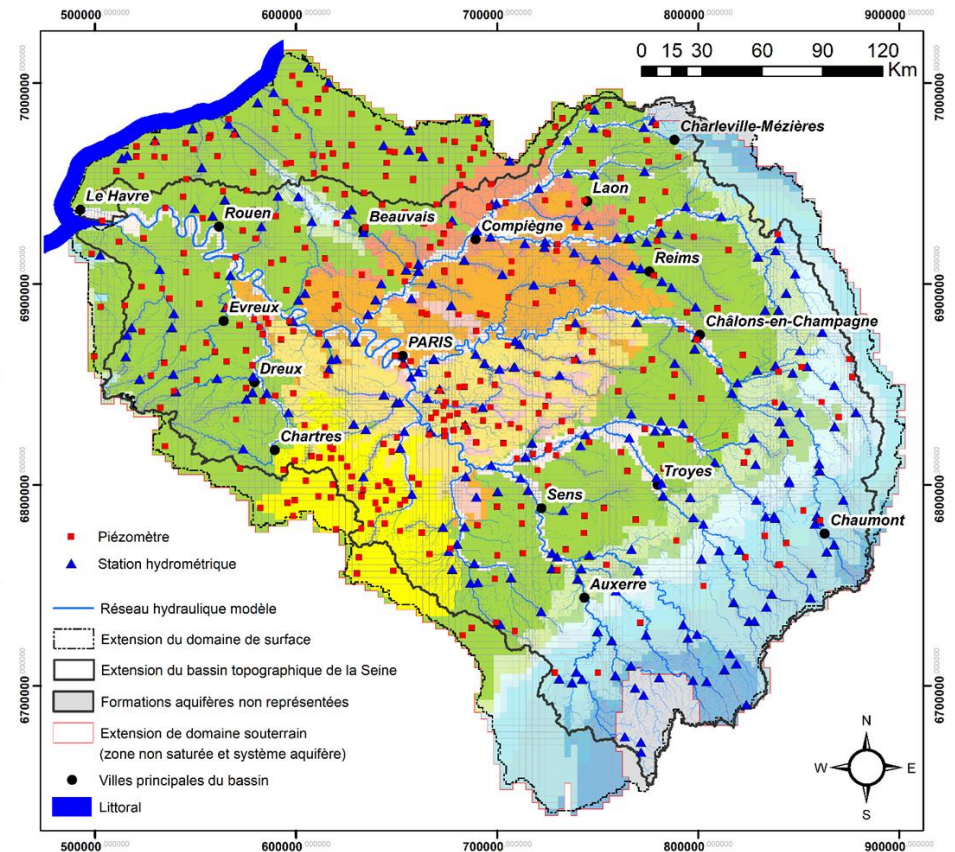
Précipitations moyennes  
annuelles (1970-2018)  
[mm/an]



## Âges des formations aquifères affleurantes

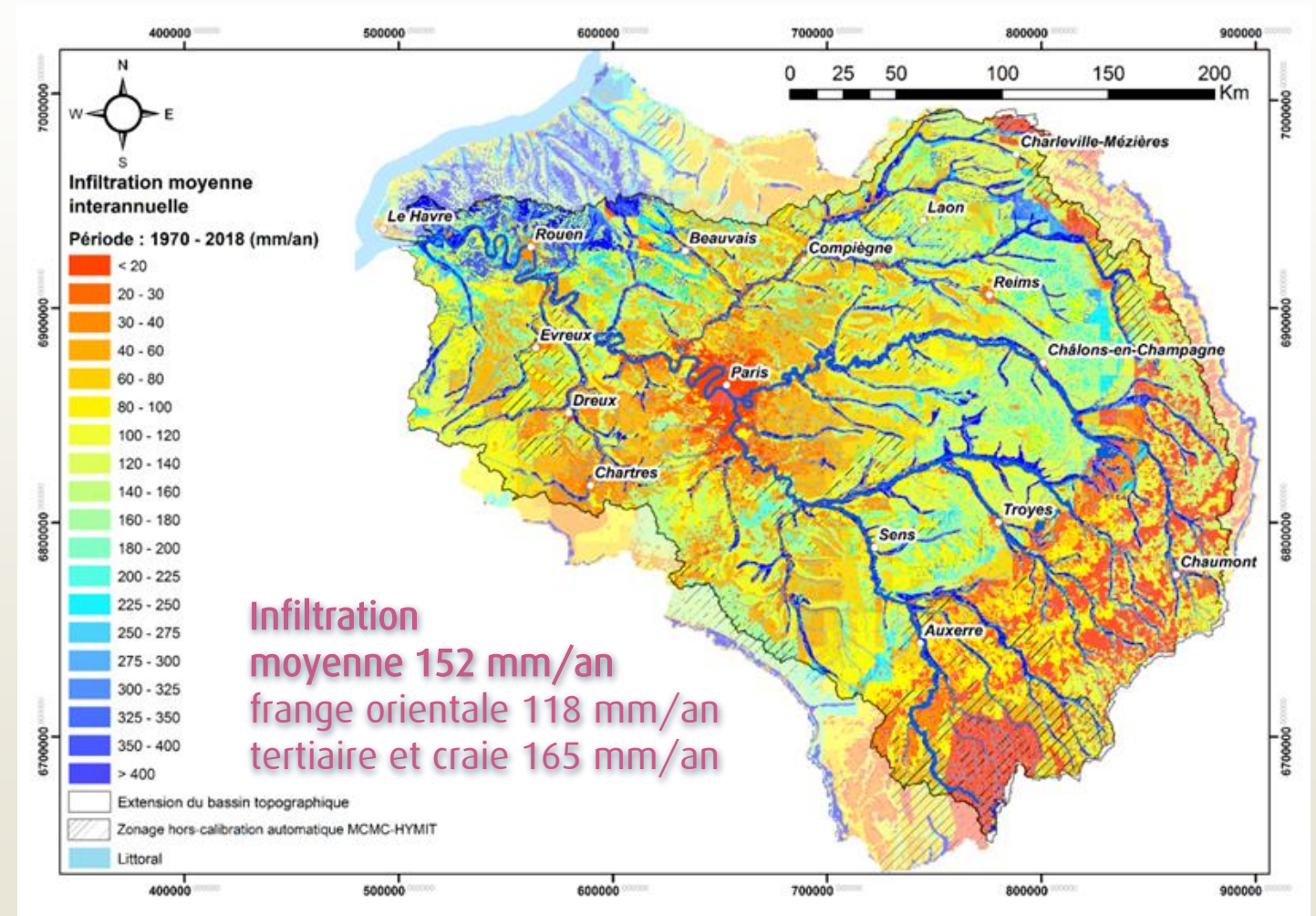
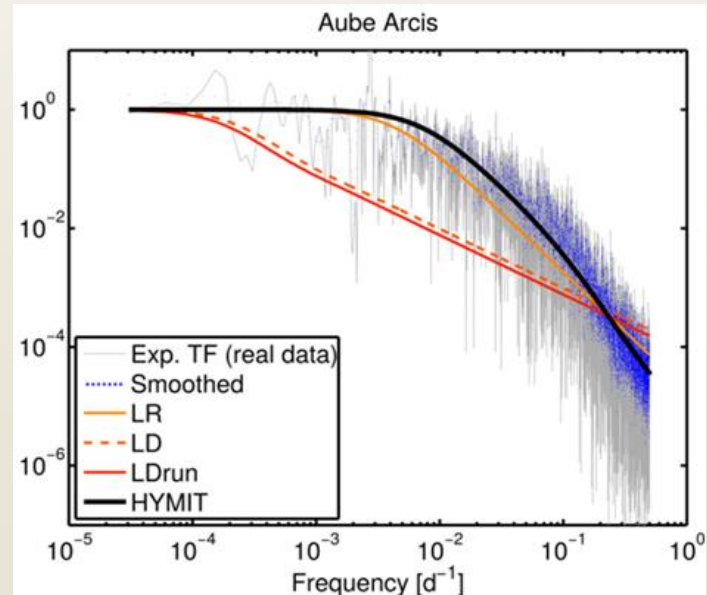
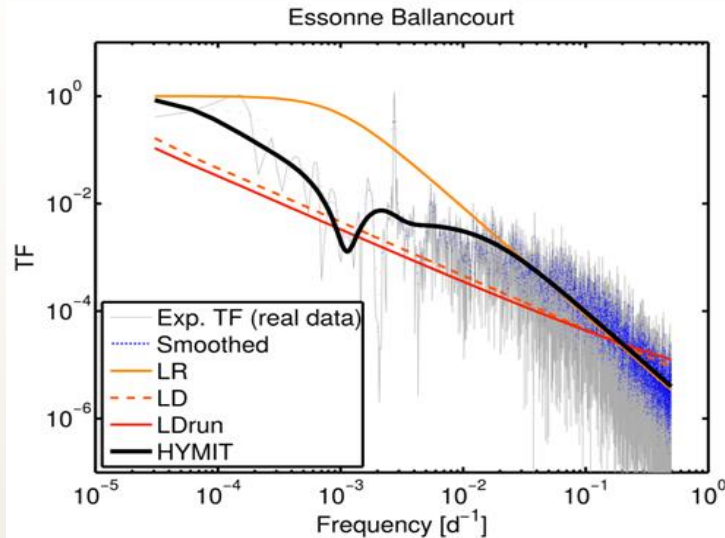
- Formations alluviales
- MIOCENE / OLIGOCENE
  - Aquitainien / Rupélien
- OLIGOCENE
  - Rupélien
- EOCENE Supérieur
  - Priabonien
- EOCENE Moyen
  - Bartonien
- PALEOCENE
  - Thanétien
- CRETACE Supérieur
  - Campanien / Santonien / Turonien / Cénomaniens
- CRETACE Inférieur
  - Gault
  - Albien
  - Néocomien
- JURASSIQUE Supérieur
  - Tithonien
  - Kimméridgien
  - Oxfordien
- JURASSIQUE Moyen
  - Callovien
  - Bathonien
  - Bajocien sup.
  - Bajocien moy. et inf.
- JURASSIQUE Inférieur
  - Lias
  - Hettangien

[Flipo 2005, Labarthe 2016, Flipo et al., 2019]



# Recalibration de CaWaQS-Seine par analyse fréquentielle HYMIT

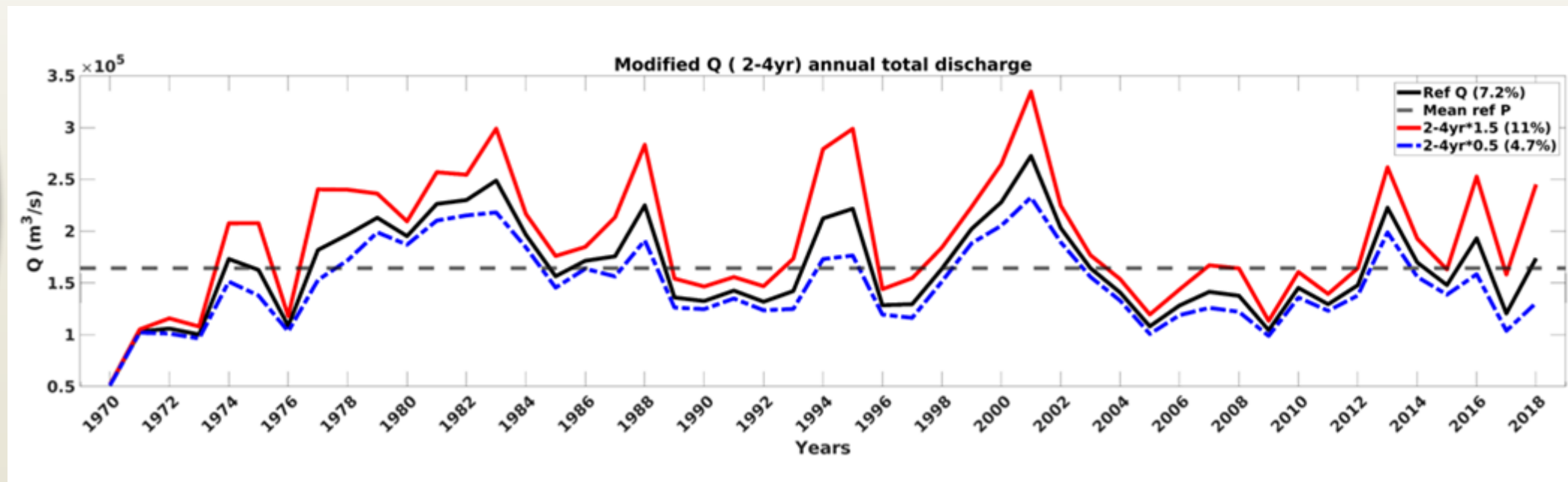
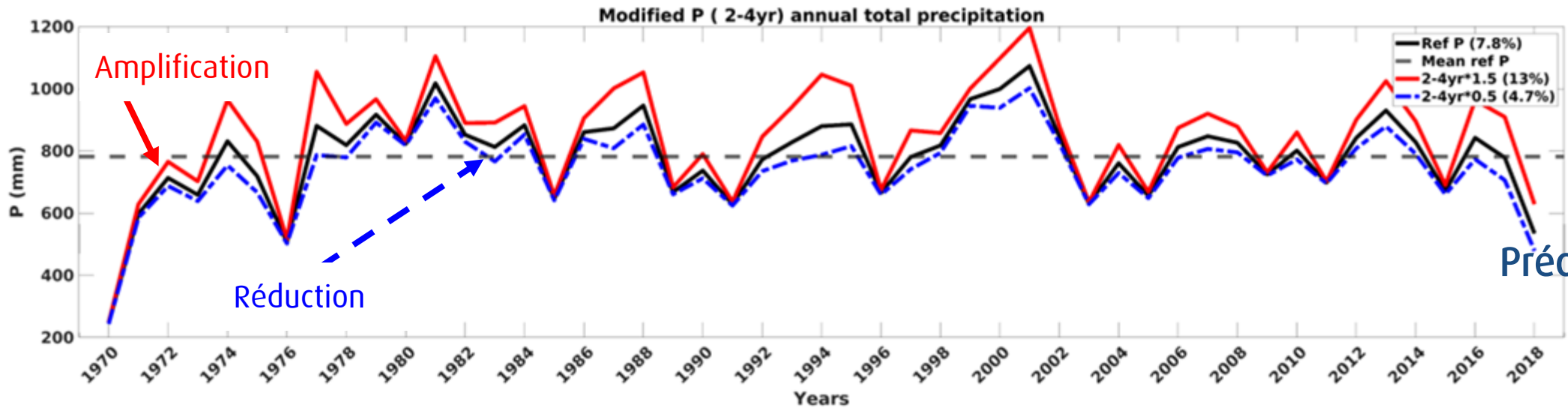
HYdrological Minimalist Transfer function [Schuite et al., 2019] sert de support à une nouvelle méthodologie d'ajustement de CaWaQS



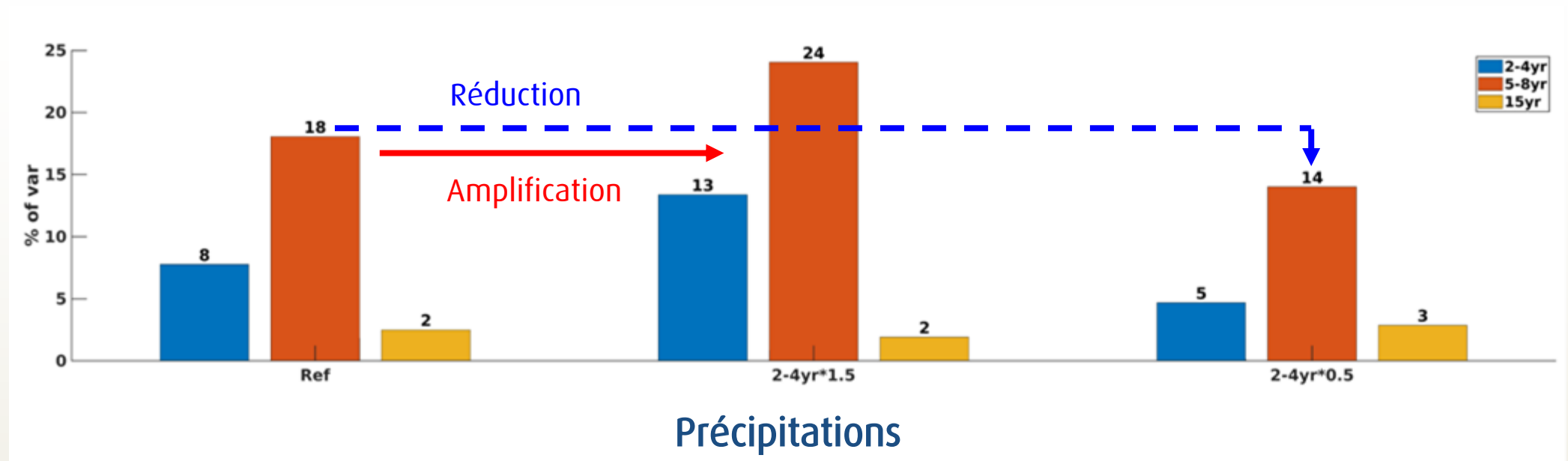
Infiltration  
moyenne 152 mm/an  
frange orientale 118 mm/an  
tertiaire et craie 165 mm/an

[Flipo et al., 2020b]

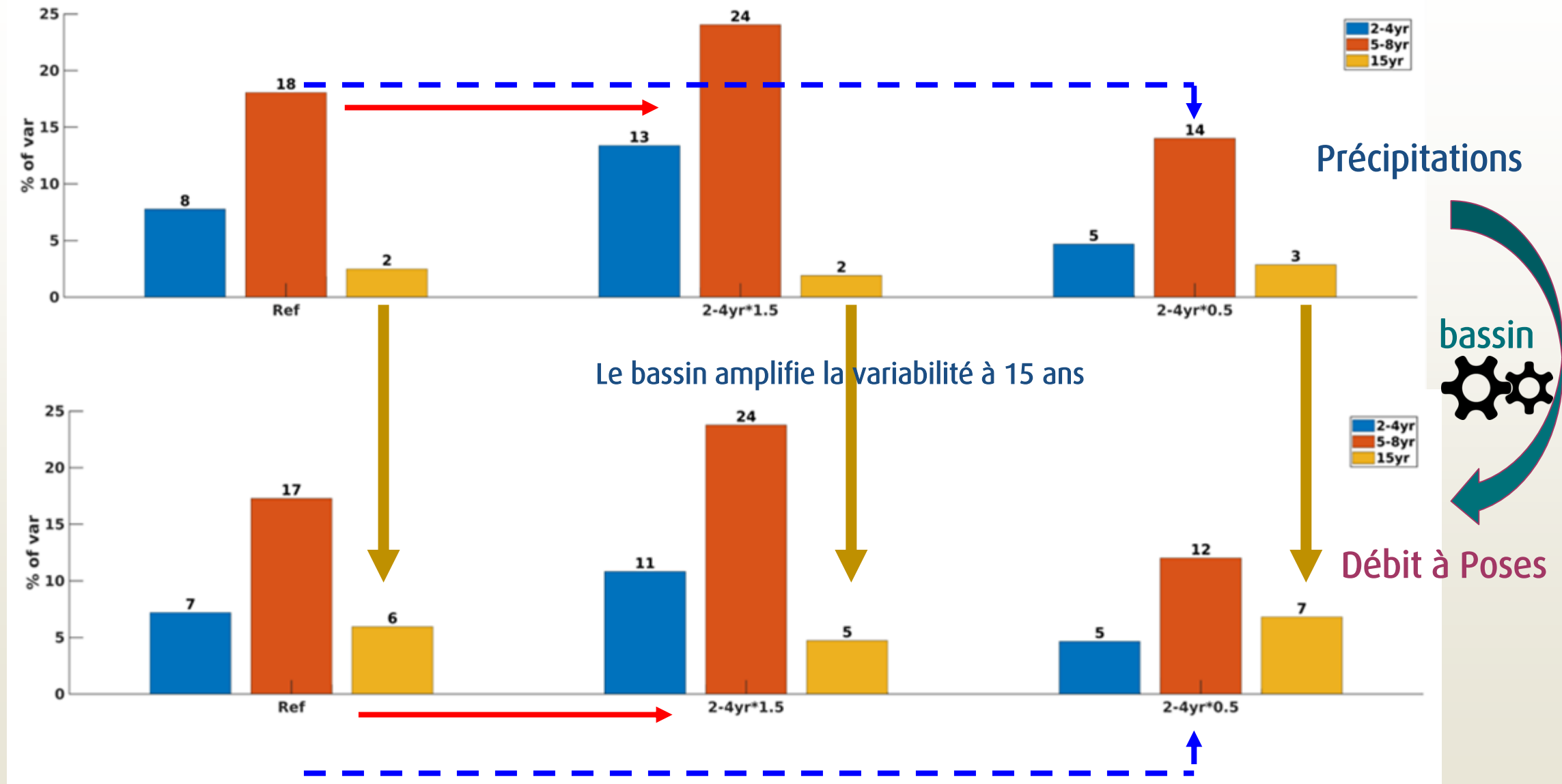
# Modification des composantes basse fréquence des pluies...



## .... Effets non linéaires sur le débit



# .... Effets non linéaires sur le débit



# Conclusions

- L'origine anthropique du réchauffement est maintenant reconnue
- En Seine, augmentation durée & intensité des sécheresses agronomiques et hydrologiques
- Incertitudes concernant la variabilité hydroclimatique à long terme (pluri-annuelle, décennale, multi-décennale)
- L'étude des projections CMIP6 a été réalisée, la sélection collective des simulations les plus pertinentes pour le bassin de la Seine va être réalisée prochainement
- Une méthodologie originale d'évaluation des incertitudes à partir d'analyses multi-spectrales des signaux hydrologiques est également mise en oeuvre
- Le modèle hydrologique et hydrogéologique complet du bassin de la Seine, CaWaQS-Seine, a été recalibré et permet d'évaluer les impacts des scénarios climatiques
- Le bassin amplifie les effets décennaux et multi-décennaux