

Trajectoires hydrologiques du bassin de la Seine : analyse critique et première sélection issue des modèles climatiques globaux CMIP6

N. Gallois^{1,2}, J. Schuite^{1,3}, N. Flipo¹

¹ Mines Paris/ ² ARMINES - Université PSL, Centre de Géosciences, Fontainebleau

³ TerraScience, Terrasson-Lavilledieu

Plusieurs difficultés...

- CMIP6 = plus de 50 modèles climatiques globaux (MCG) mis à disposition :

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
= jusqu'à **4 trajectoires d'émissions SSP** ;

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.

➔ **Énorme volume de données.**

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.
Incertitudes : ... **structurelles**

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.
Incertitudes : ... **structurelles** ... **de scénarios**

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.
Incertitudes : ... **structurelles** ...**de scénarios** ...**variabilité interne du climat.**

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires** d'émissions **SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines** de **réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.
Incertitudes : ... **structurelles** ...**de scénarios** ...**variabilité interne du climat.**
- Bassin de la Seine situé dans une **zone de transition climatique** :

Plusieurs difficultés...

- **CMIP6** = plus de **50 modèles climatiques globaux (MCG)** mis à disposition :
 - = jusqu'à **4 trajectoires d'émissions SSP** ;
 - = **d'une à plusieurs dizaines de réalisations individuelles** par MCG.
- ➔ **Énorme volume de données.** « **Sélection** » **contrainte** d'un sous-ensemble de produits climatiques.
- **MCG** souvent reconnus comme une **source majeure d'incertitude** dans les études d'impacts.
Incertitudes : ... **structurelles** ... **de scénarios** ... **variabilité interne du climat.**
- Bassin de la Seine situé dans une **zone de transition climatique** :
 - ➔ Tendances persistantes d'**origine anthropique** dans les **variables hydrologiques difficilement identifiables** à l'échelle annuelle ;
 - ➔ Rôle **dominant** de cette **variabilité interne** à l'échelle du bassin.

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - **Identifier** et **justifier** l'**exclusion** de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études **régionales** d'impacts ;

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - **Identifier** et **justifier** l'**exclusion** de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études **régionales** d'impacts ;
 - considérer des **critères d'évaluations spécifiques** à l'hydrosystème étudié.
- **Filtrage ciblé** :

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - **Identifier** et **justifier** l'**exclusion** de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études **régionales** d'impacts ;
 - considérer des **critères d'évaluations spécifiques** à l'hydrosystème étudié.
- **Filtrage ciblé :**

Représentativité

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - Identifier et justifier l'exclusion de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études régionales d'impacts ;
 - considérer des critères d'évaluations spécifiques à l'hydrosystème étudié.
- Filtrage ciblé :

Représentativité

Indépendance

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - **Identifier** et **justifier** l'**exclusion** de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études **régionales** d'impacts ;
 - considérer des **critères d'évaluations spécifiques** à l'hydrosystème étudié.
- **Filtrage ciblé :**

Représentativité

Indépendance

Réalisme

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - Identifier et justifier l'exclusion de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études régionales d'impacts ;
 - considérer des critères d'évaluations spécifiques à l'hydrosystème étudié.
- Filtrage ciblé :

Représentativité

Indépendance

Réalisme

Réalisme ?

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - **Identifier** et **justifier** l'**exclusion** de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études **régionales** d'impacts ;
 - considérer des **critères d'évaluations spécifiques** à l'hydrosystème étudié.
- **Filtrage ciblé :**

Représentativité

Indépendance

Réalisme

Réalisme ?

- **Métriques simples**
 - **Peuvent** masquer des **incohérences physiques** ou des **erreurs structurelles** ;
 - **Décorrélées** de **dynamiques climatiques de large échelle** conditionnant fortement le climat régional.

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - Identifier et justifier l'exclusion de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études régionales d'impacts ;
 - considérer des critères d'évaluations spécifiques à l'hydrosystème étudié.
- Filtrage ciblé :

Représentativité

Indépendance

Réalisme

Réalisme ?

- Métriques simples

- Peuvent masquer des incohérences physiques ou des erreurs structurelles ;
- Décorrélées de dynamiques climatiques de large échelle conditionnant fortement le climat régional.

Comment cibler et exclure les produits climatiques globaux jugés « non pertinents » à l'échelle régionale sur la base d'un critère à base physique ?

Un besoin méthodologique crucial !

- Nécessité de pouvoir :
 - Identifier et justifier l'exclusion de certains produits climatiques globaux dans le cadre d'études régionales d'impacts ;
 - considérer des critères d'évaluations spécifiques à l'hydrosystème étudié.
- Filtrage ciblé :

Représentativité

Indépendance

Réalisme

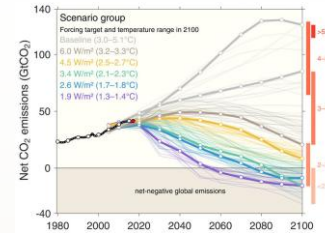
Réalisme ?

- Métriques simples
 - Peuvent masquer des incohérences physiques ou des erreurs structurelles ;
 - Décorrélées de dynamiques climatiques de large échelle conditionnant fortement le climat régional.

Comment cibler et exclure les produits climatiques globaux jugés « non pertinents » à l'échelle régionale sur la base d'un critère à base physique ?
Peut-on, *in fine*, espérer réduire l'espace d'incertitudes en termes d'impacts hydrologiques ?

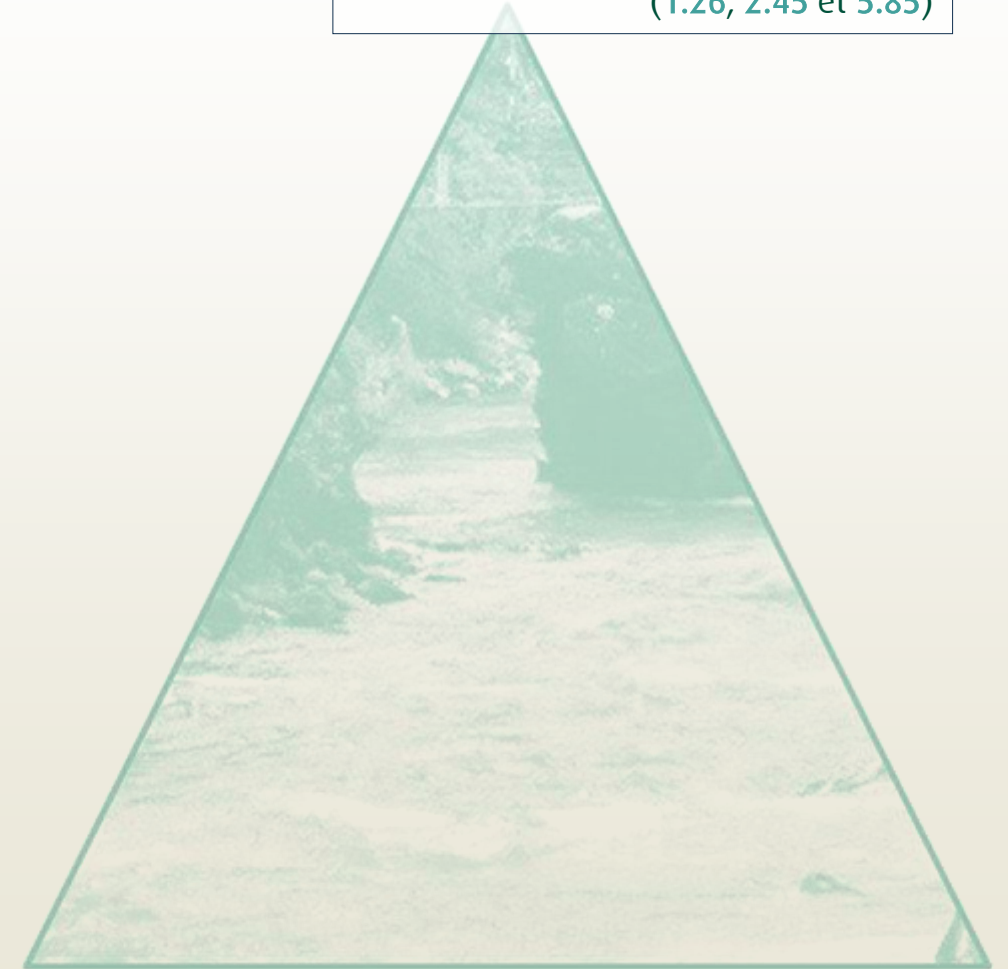
Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur.



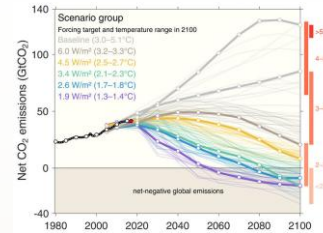
SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3 trajectoires SSP CMIP6
(1.26, 2.45 et 5.85)



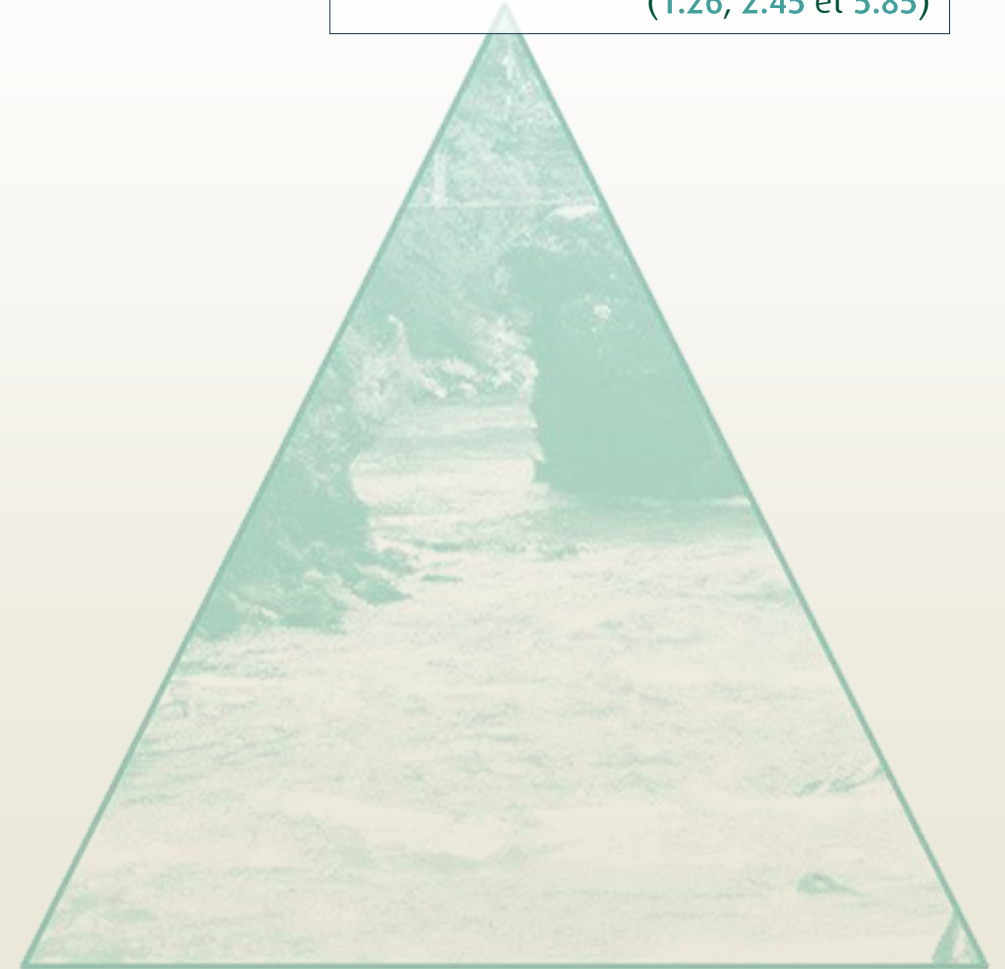
Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur.
- Disponibilité des variables climatiques



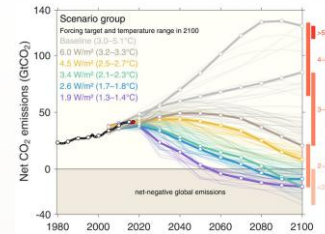
SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3 trajectoires SSP CMIP6
(1.26, 2.45 et 5.85)



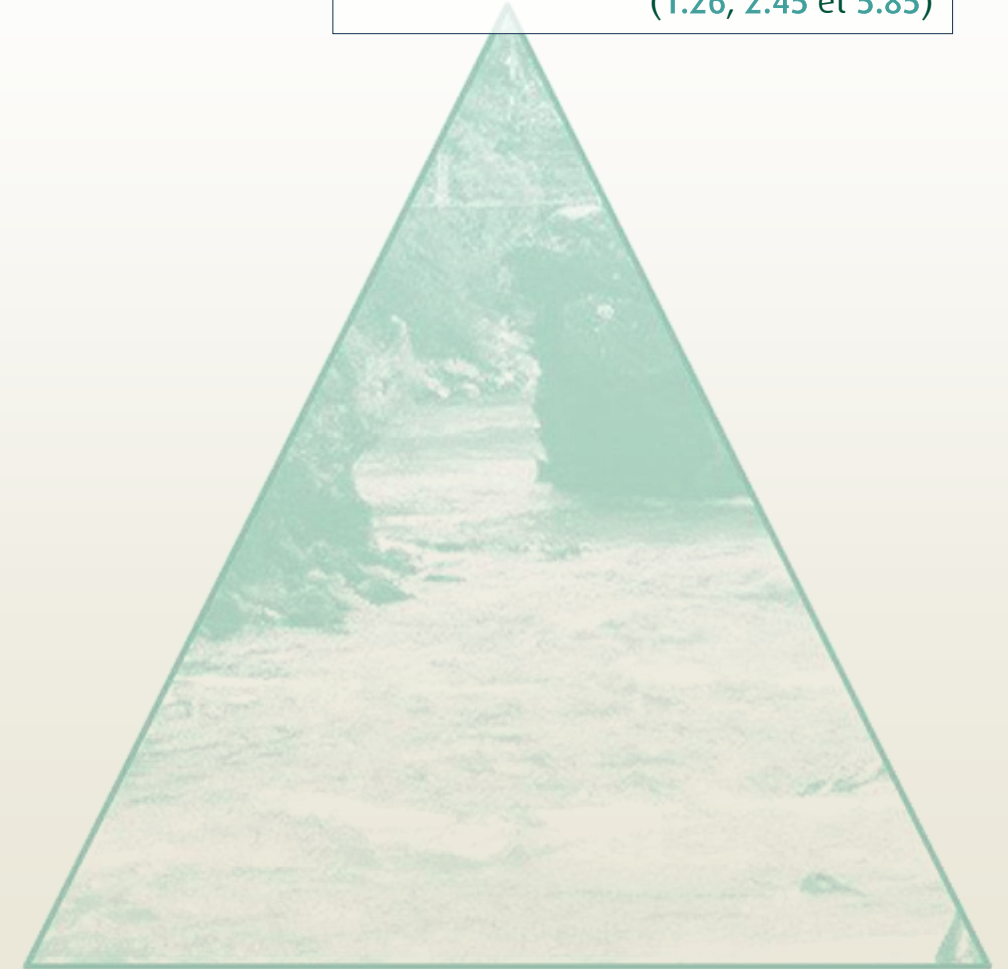
Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur.
- **Disponibilité** des variables climatiques
- **Indépendance** des MCG



SCÉNARIOS CLIMATIQUES

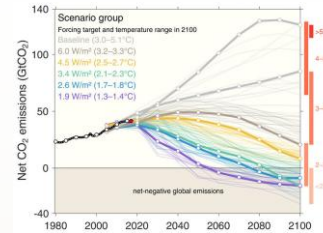
3 trajectoires SSP CMIP6
(1.26, 2.45 et 5.85)



Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

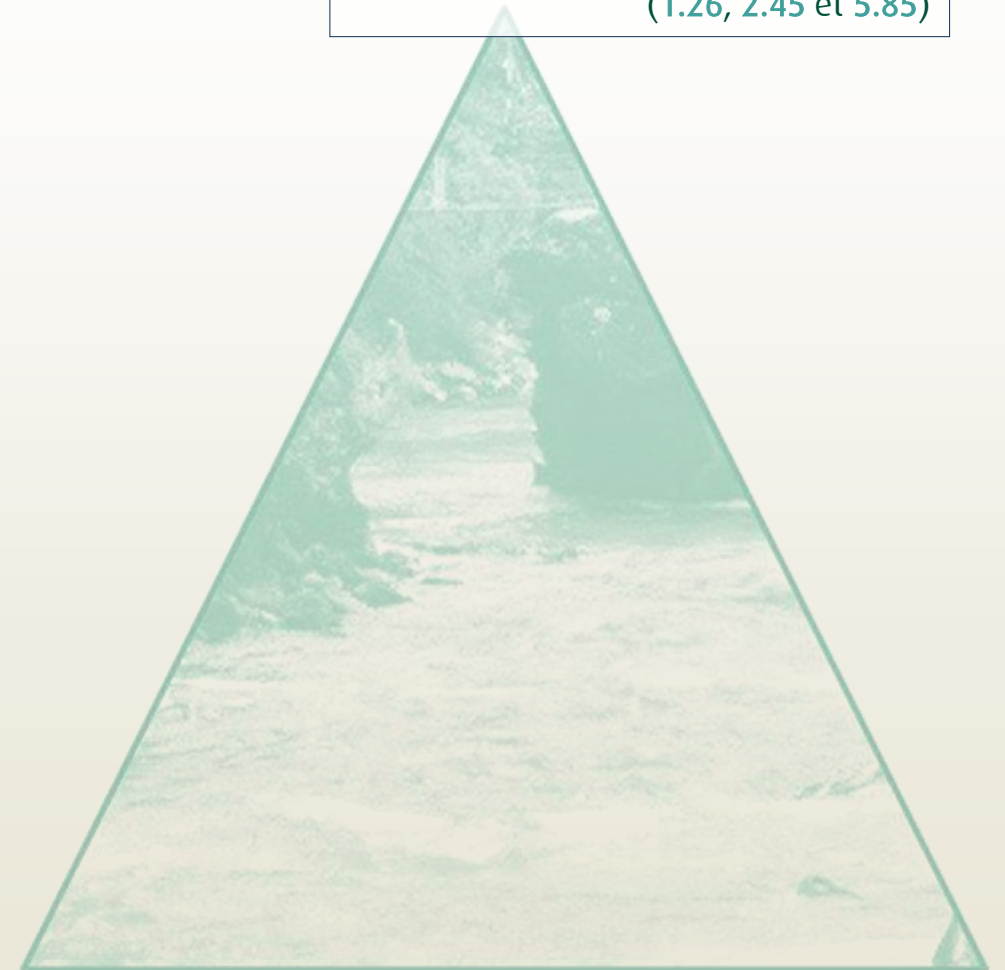
- De faiblement à fortement émetteur.
- Disponibilité des variables climatiques
- Indépendance des MCG
- Contrainte observationnelle sur les historiques de température.

(Ribes *et al.*, 2022)



SCÉNARIOS CLIMATIQUES

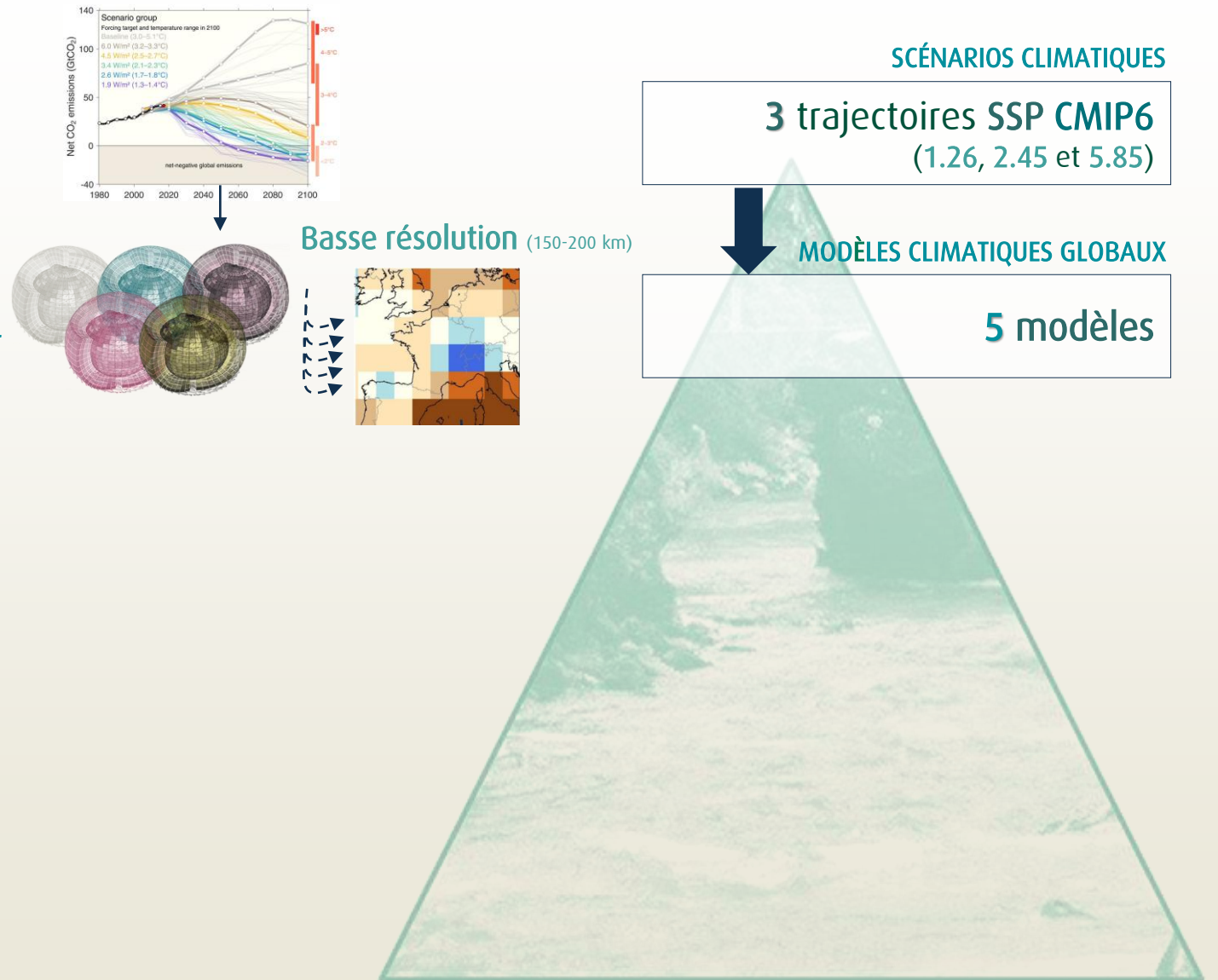
3 trajectoires SSP CMIP6
(1.26, 2.45 et 5.85)



Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur.
- **Disponibilité** des variables climatiques
- **Indépendance** des MCG
- **Contrainte observationnelle** sur les historiques de température.

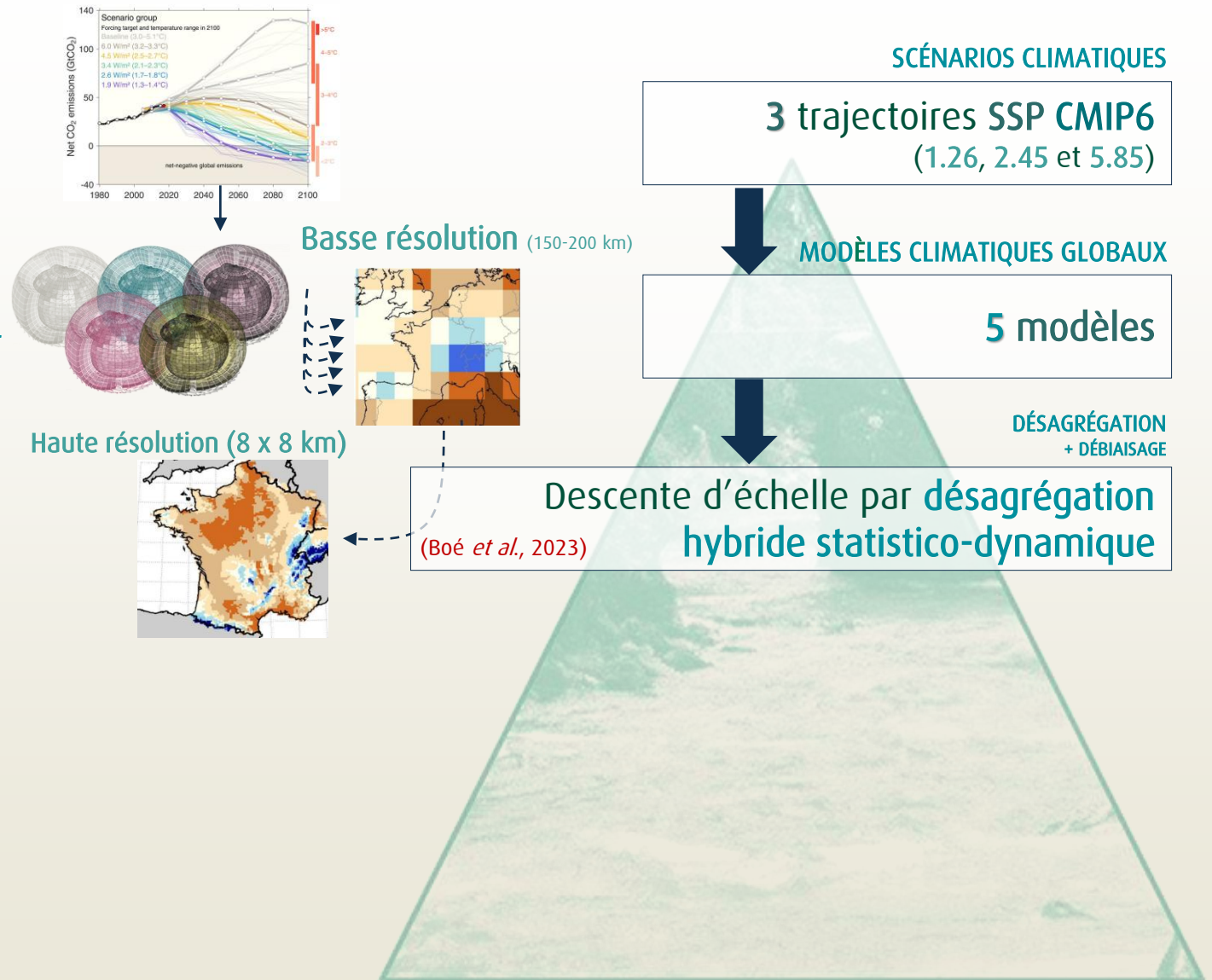
(Ribes *et al.*, 2022)



Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

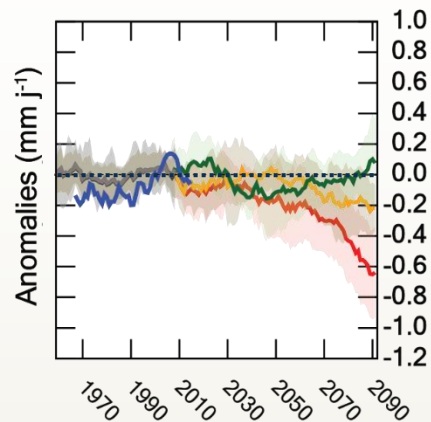
- De faiblement à fortement émetteur.
- **Disponibilité** des variables climatiques
- **Indépendance** des MCG
- **Contrainte observationnelle** sur les historiques de température.

(Ribes *et al.*, 2022)

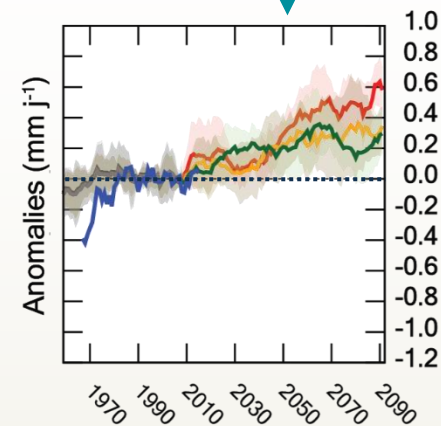


Un premier échantillon représentatif des tendances CMIP6

Précipitations Été



Précipitations Hiver

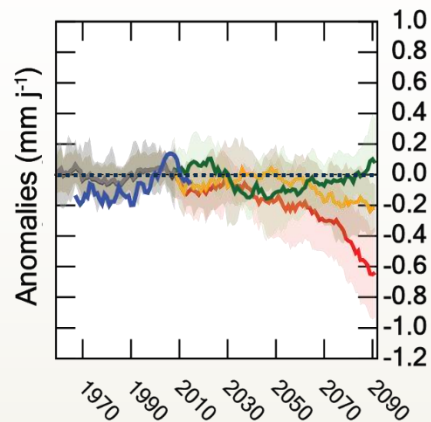


5 produits désagrégés

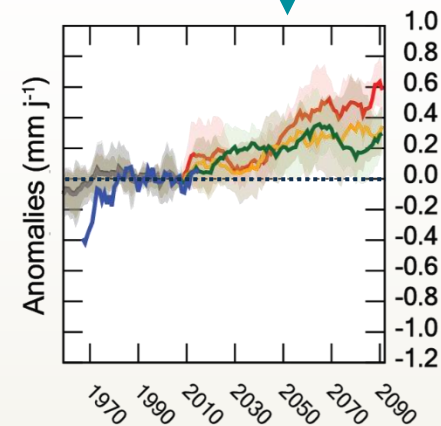
— SSP1-2.6 — SSP2-4.5 — SSP5-8.5 — Période historique — Obs. SAFRAN

Un premier échantillon représentatif des tendances CMIP6

Précipitations Été

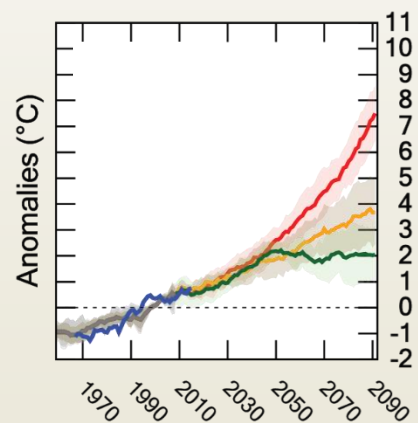


Précipitations Hiver

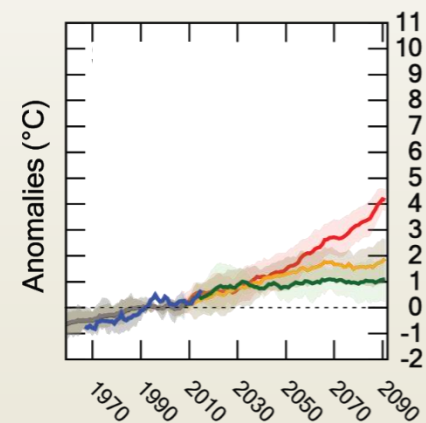


5 produits désagrégés

Températures Été



Températures Hiver



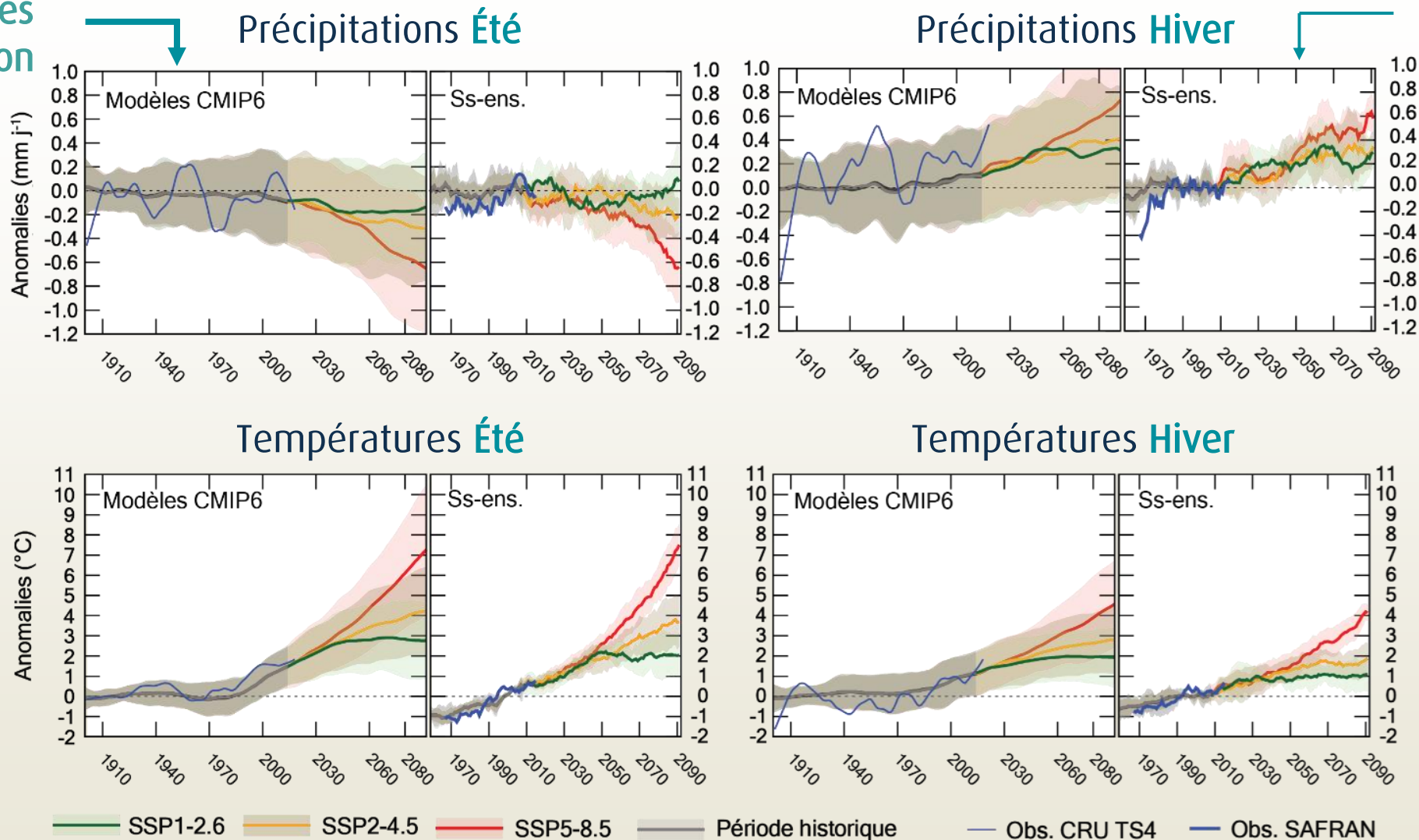
— SSP1-2.6 — SSP2-4.5 — SSP5-8.5 — Période historique

— Obs. SAFRAN

Un premier échantillon représentatif des tendances CMIP6

36 modèles
basse-résolution

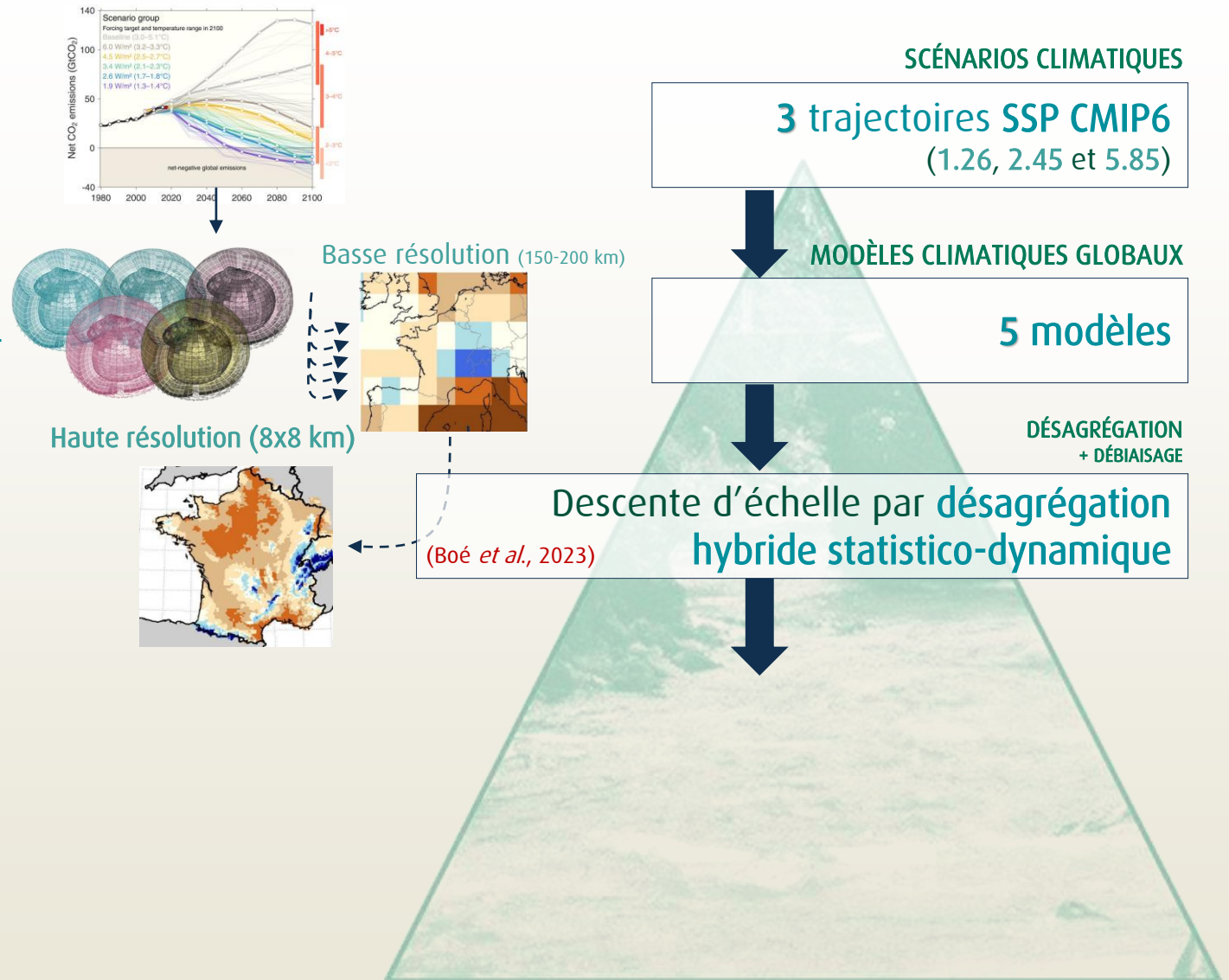
5 produits
désagrégés



Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur
- Disponibilité des variables climatiques
- Indépendance
- Contrainte observationnelle sur les historiques de température.

(Ribes *et al.*, 2022)



Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

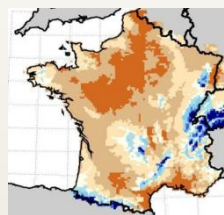
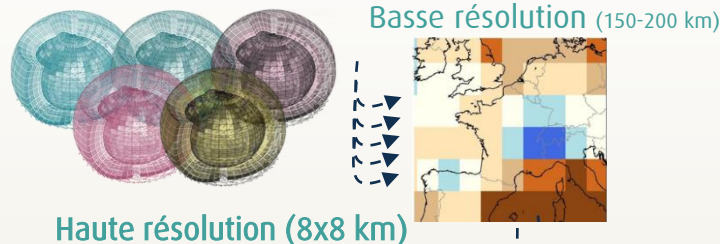
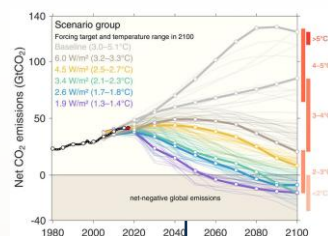
- De faiblement à fortement émetteur
- Disponibilité des variables climatiques
- Indépendance
- Contrainte observationnelle sur les historiques de température.

(Ribes *et al.*, 2022)

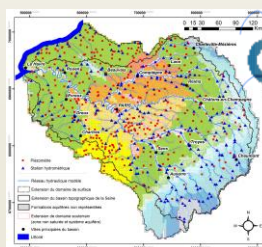
- Calibré dans le domaine fréquentiel et validé dans le domaine temporel :

- 221 stations hydrométriques
- 269 piézomètres

(Flipo *et al.*, 2023, 2024)



Descente d'échelle par désagrégation hybride statistico-dynamique (Boé *et al.*, 2023)



CaWaQS 3.x Seine

SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3 trajectoires SSP CMIP6 (1.26, 2.45 et 5.85)

MODÈLES CLIMATIQUES GLOBAUX

5 modèles

DÉSAGRÉGATION + DÉBIASAGE

MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Application distribuée CaWaQS-Seine (Simulations 1950-2100)

Une chaîne séquentielle de modélisation d'impacts

- De faiblement à fortement émetteur
- Disponibilité des variables climatiques
- Indépendance
- Contrainte observationnelle sur les historiques de température.

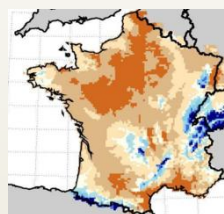
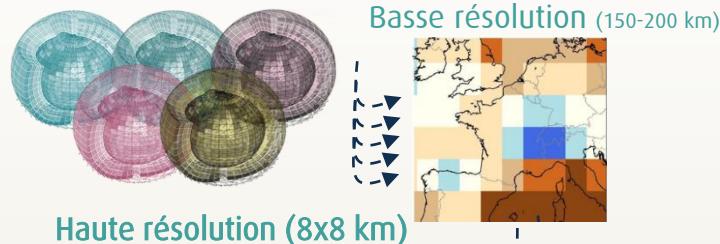
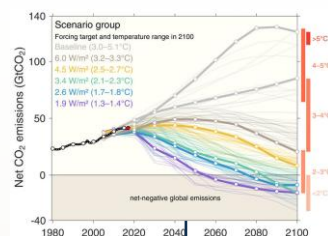
(Ribes *et al.*, 2022)

- Calibré dans le domaine fréquentiel et validé dans le domaine temporel :

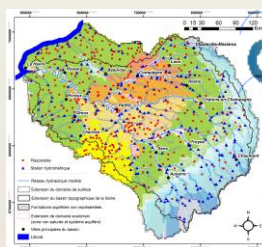
- 221 stations hydrométriques
- 269 piézomètres

(Flipo *et al.*, 2023, 2024)

- Sous forme de trajectoires continues d'aléas hydrologiques.



(Boé *et al.*, 2023)



CaWaQS^{3.x}
Seine

Q, h, p_{eff}, etc.

SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3 trajectoires SSP CMIP6
(1.26, 2.45 et 5.85)

MODÈLES CLIMATIQUES GLOBAUX

5 modèles

DÉSAGRÉGATION
+ DÉBIASAGE

Descente d'échelle par désagrégation
hybride statistico-dynamique

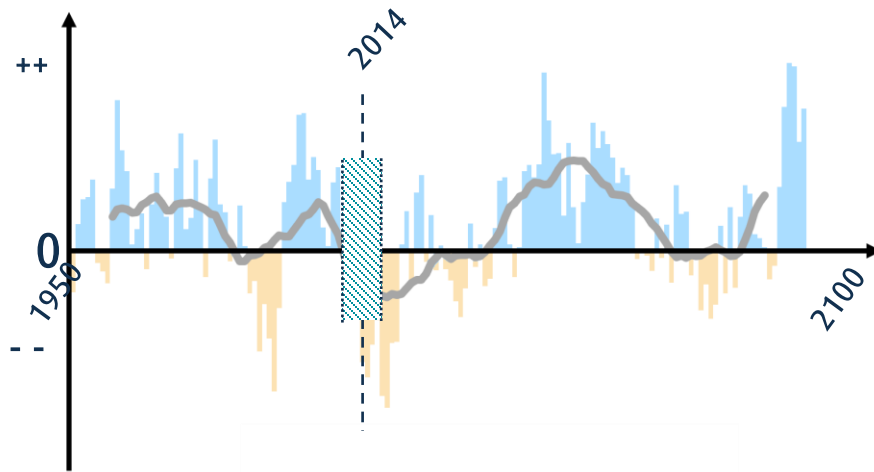
MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE
RÉGIONAL

Application distribuée CaWaQS-Seine
(Simulations 1950-2100)

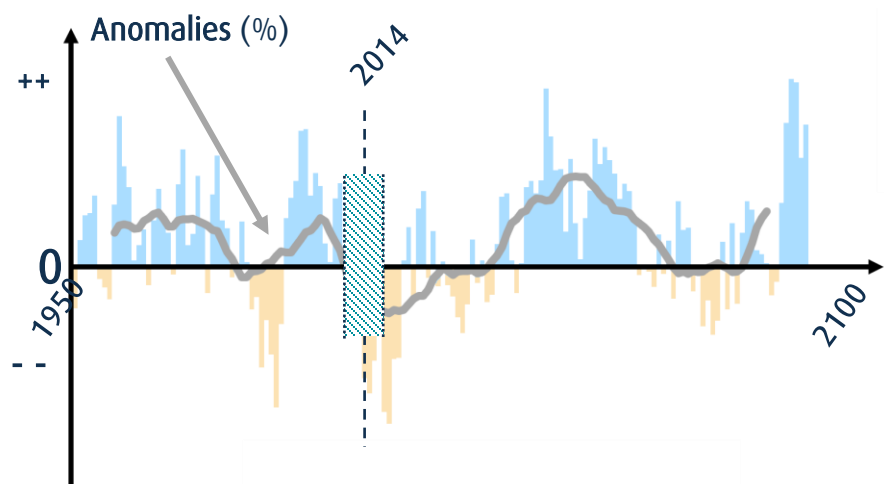
Analyses d'impacts multi-variables

- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.

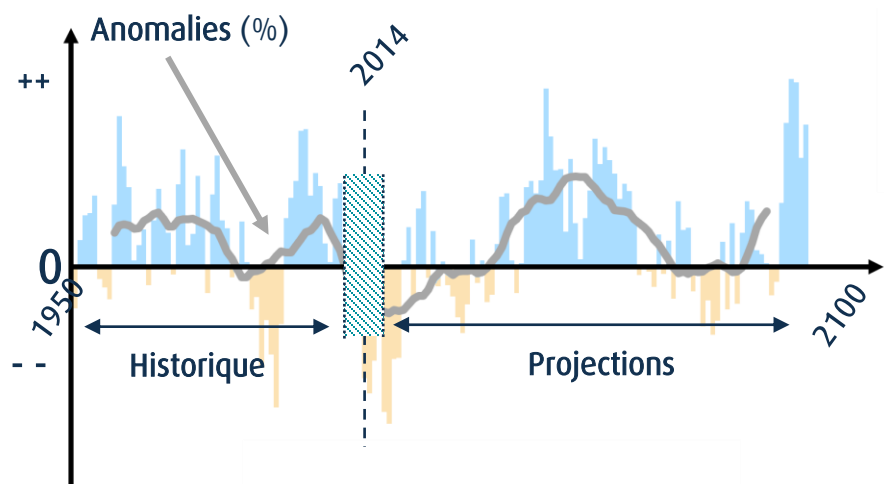
- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.



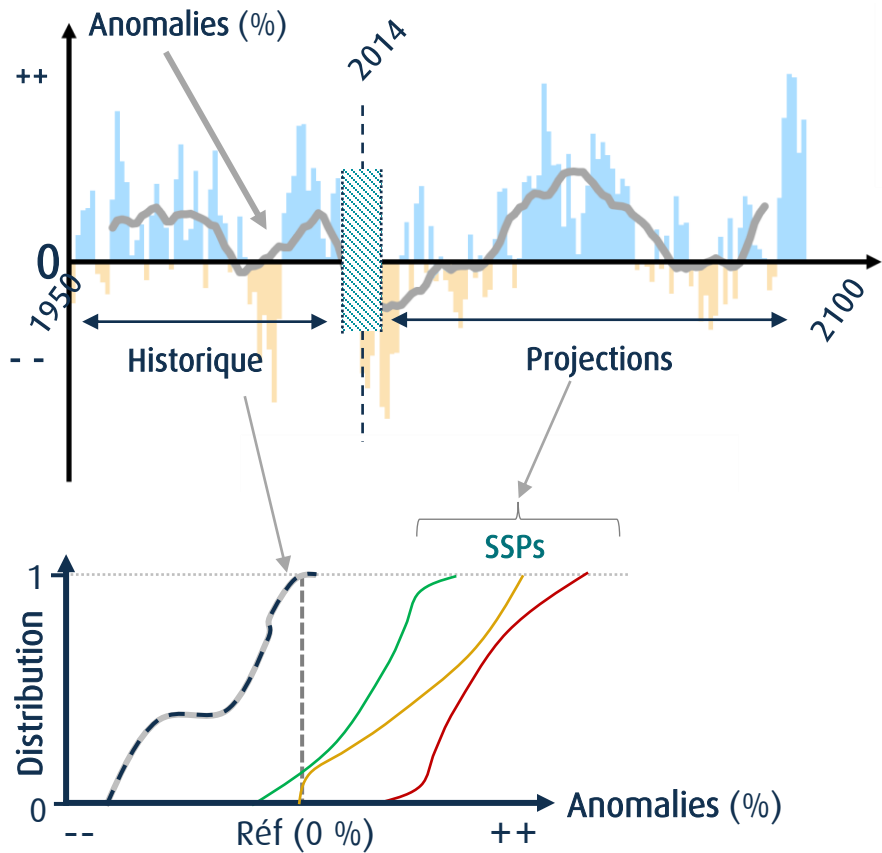
- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.



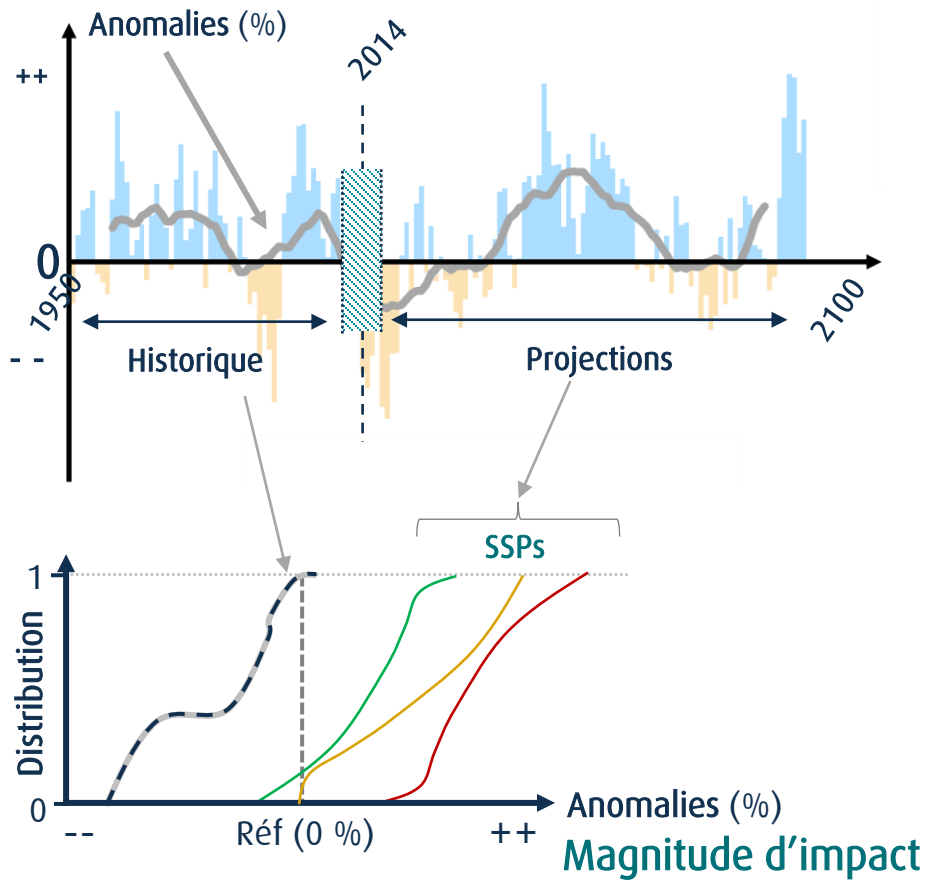
- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.



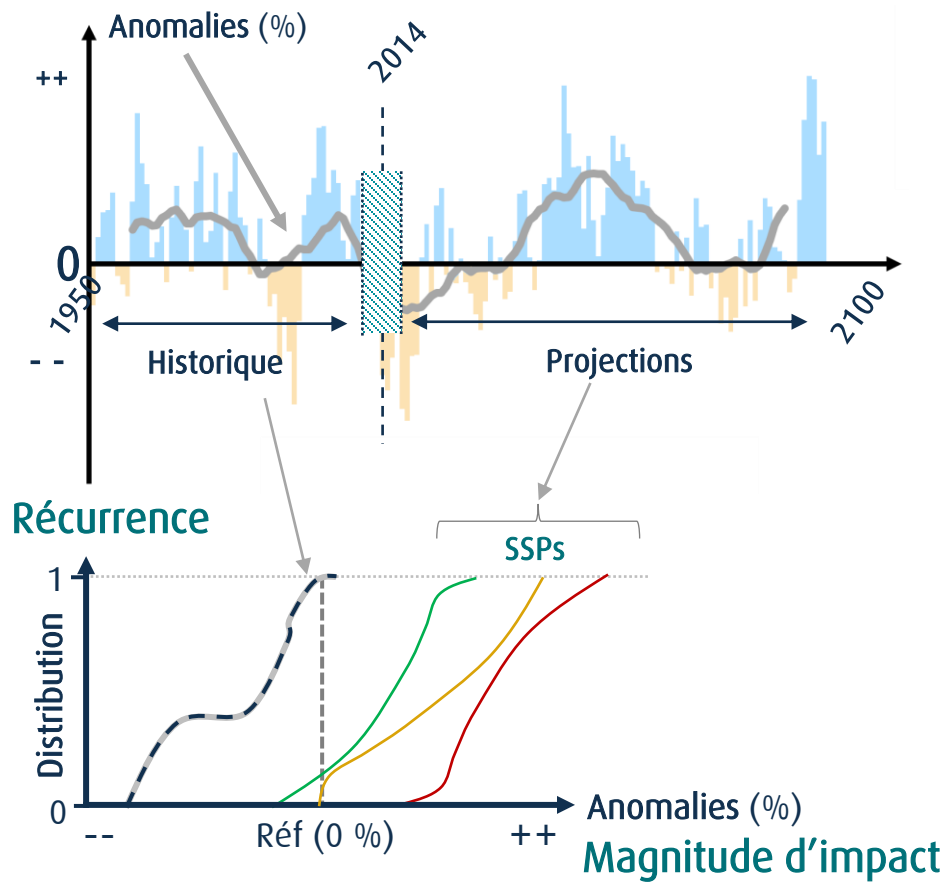
- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.



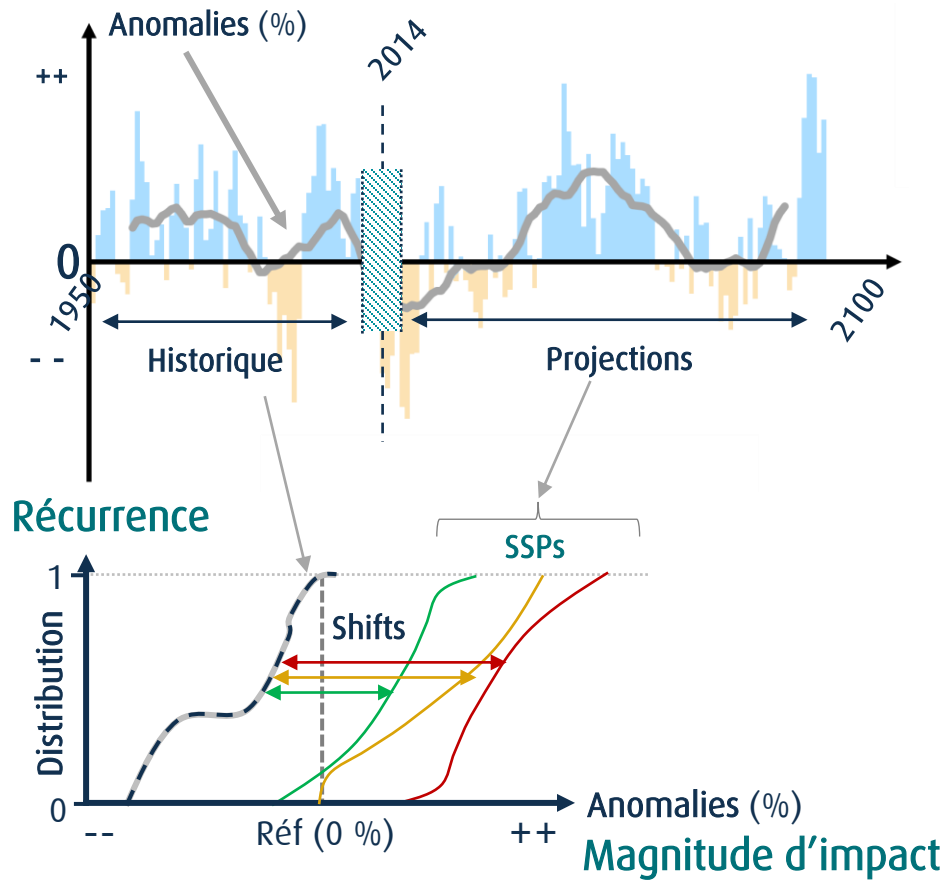
- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.



- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.

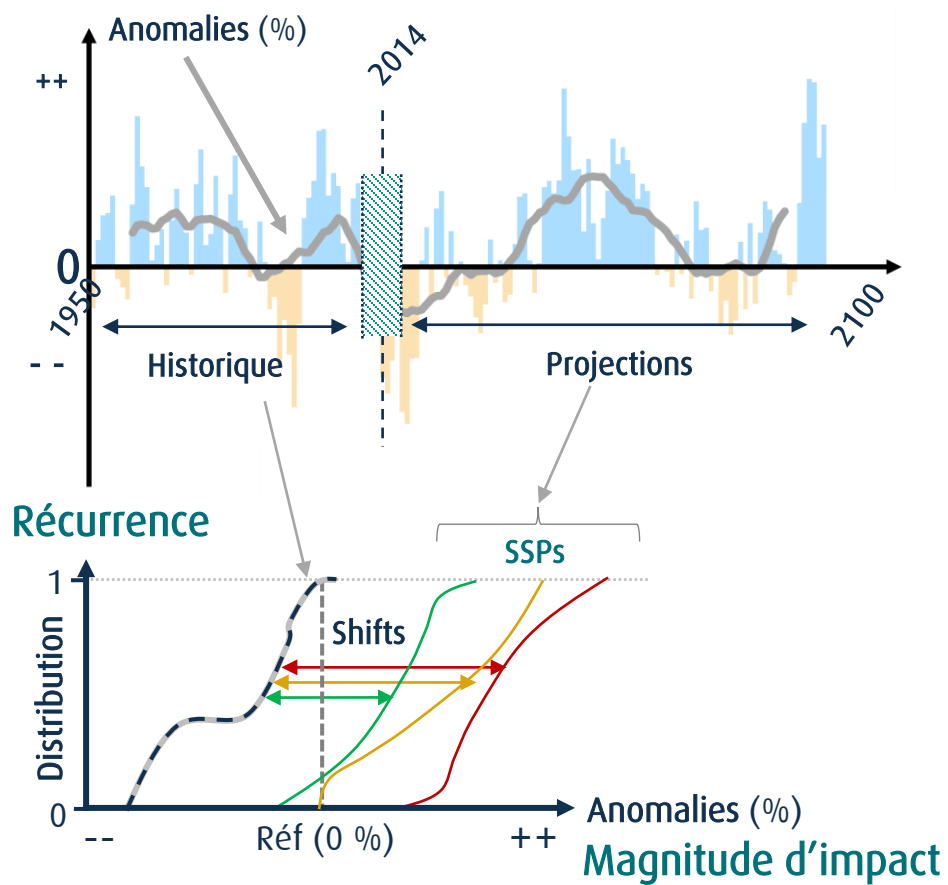


- Approche en **trajectoires continues d'aléas** hydrologiques.

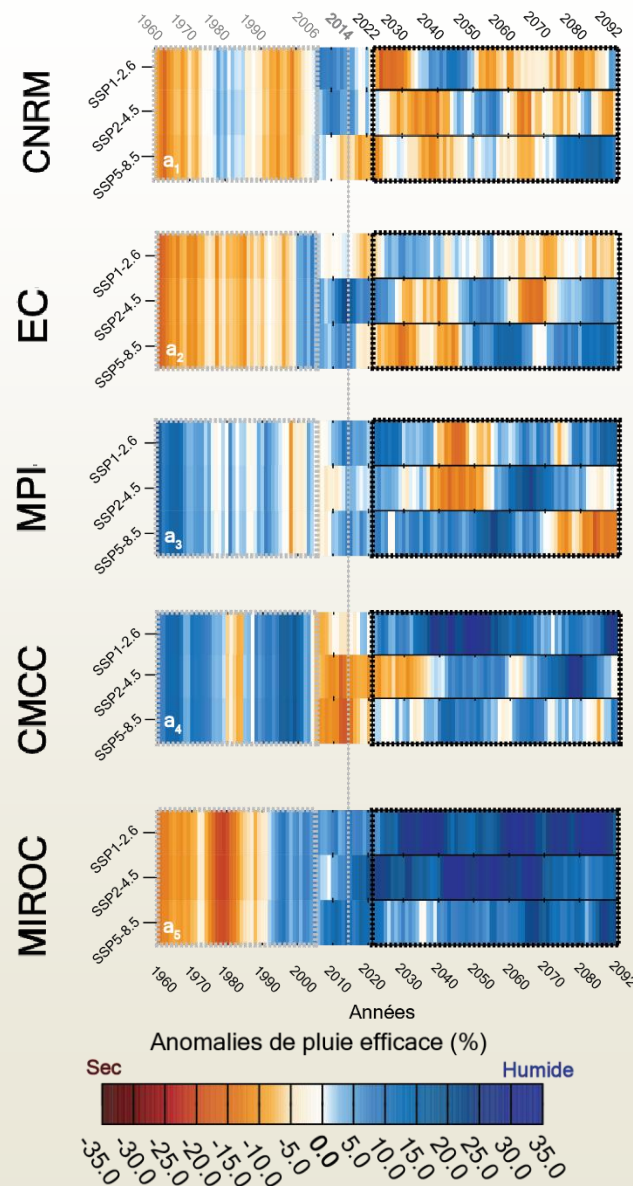


Une grande diversité de trajectoires hydro-climatiques

- Approche en **trajectoires continues d'aléas hydrologiques**.

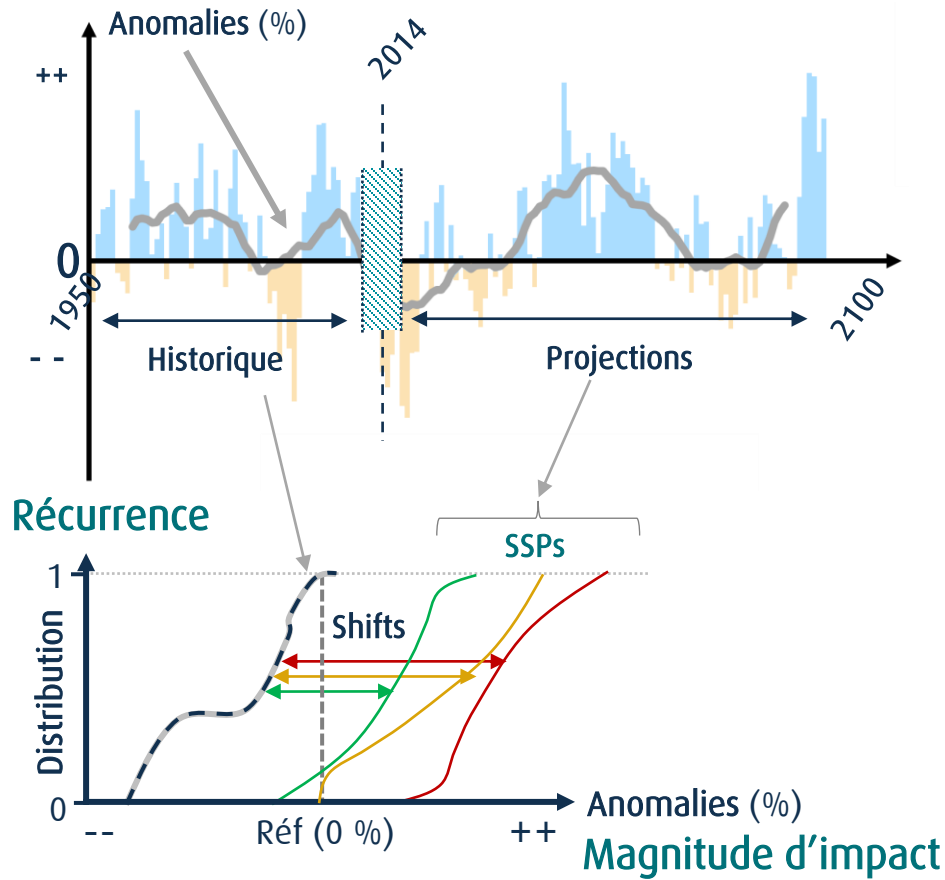


- Pluie efficace** sur le bassin amont de la Seine à Vernon

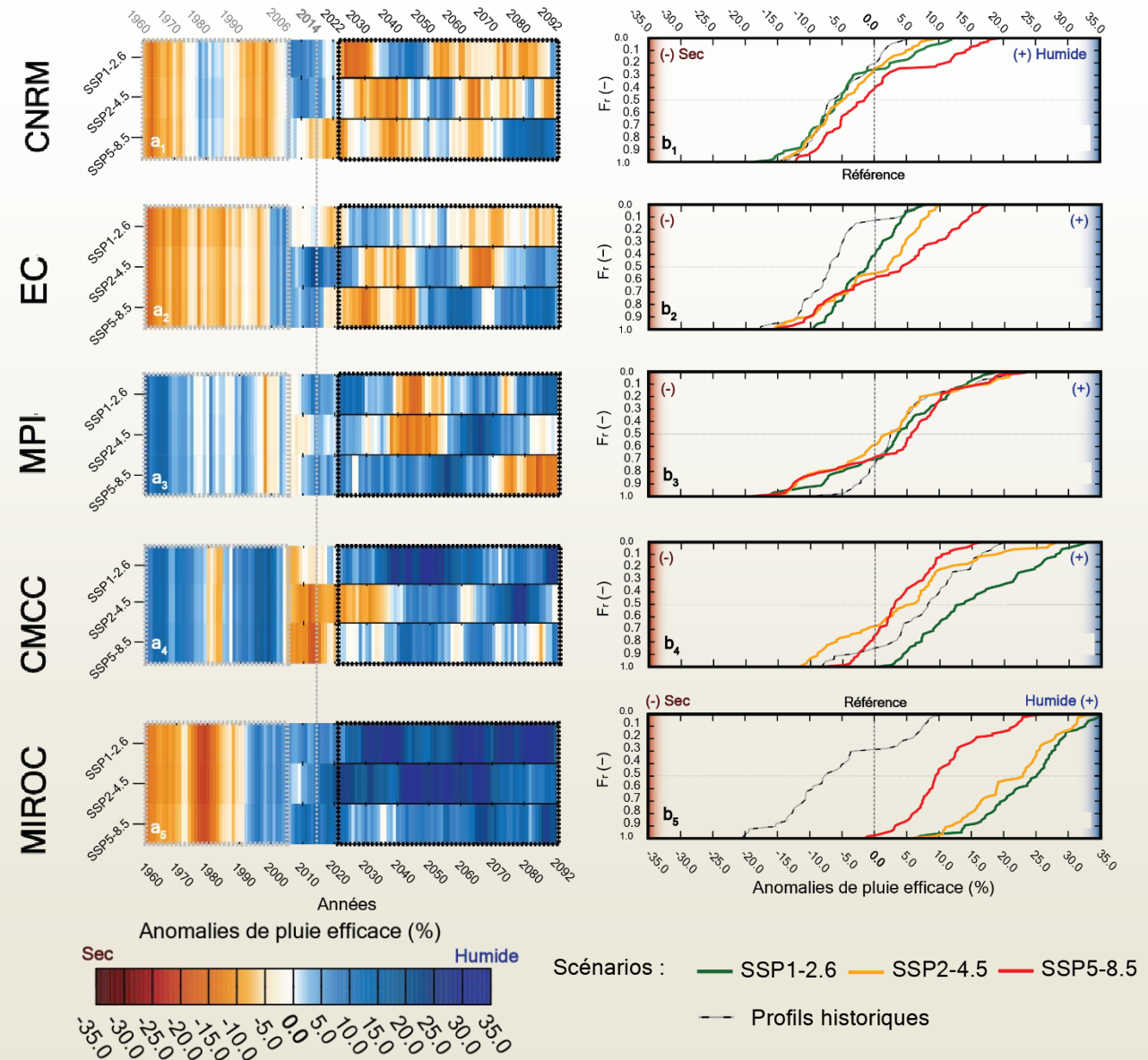


Une grande diversité de trajectoires hydro-climatiques

- Approche en trajectoires continues d'aléas hydrologiques.



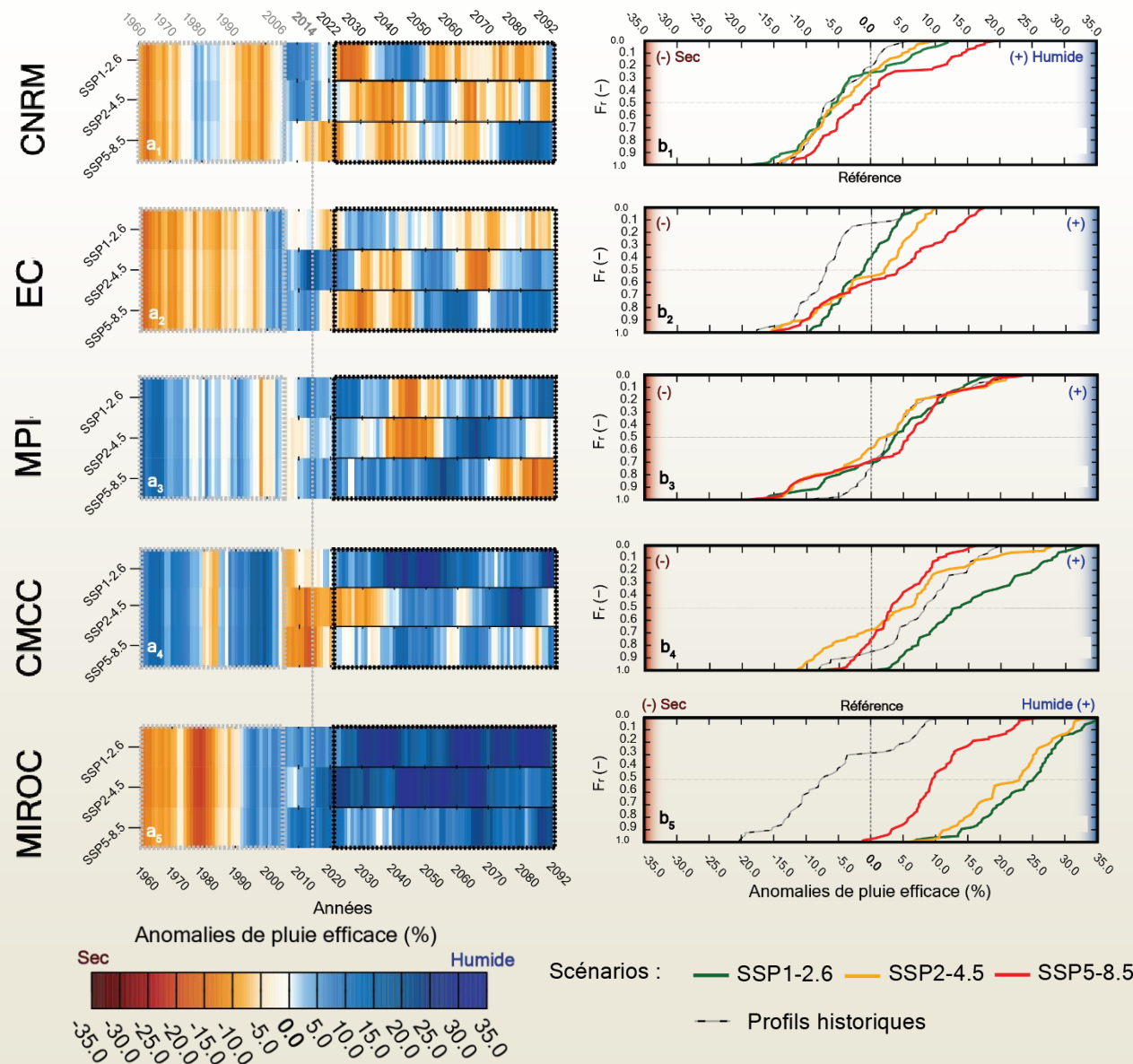
- Pluie efficace sur le bassin amont de la Seine à Vernon



Une grande diversité de trajectoires hydro-climatiques

- Approche en trajectoires continues d'aléas hydrologiques.
- Trois observations :
 - Des trajectoires futures **divergentes** et un **large spectre** général d'impact ;
 - Des impacts SSP **fortement variables** selon les **produits climatiques** ;
 - Une **variabilité temporelle** à **périodes contrastées**.

■ Pluie efficace sur le bassin amont de la Seine à Vernon

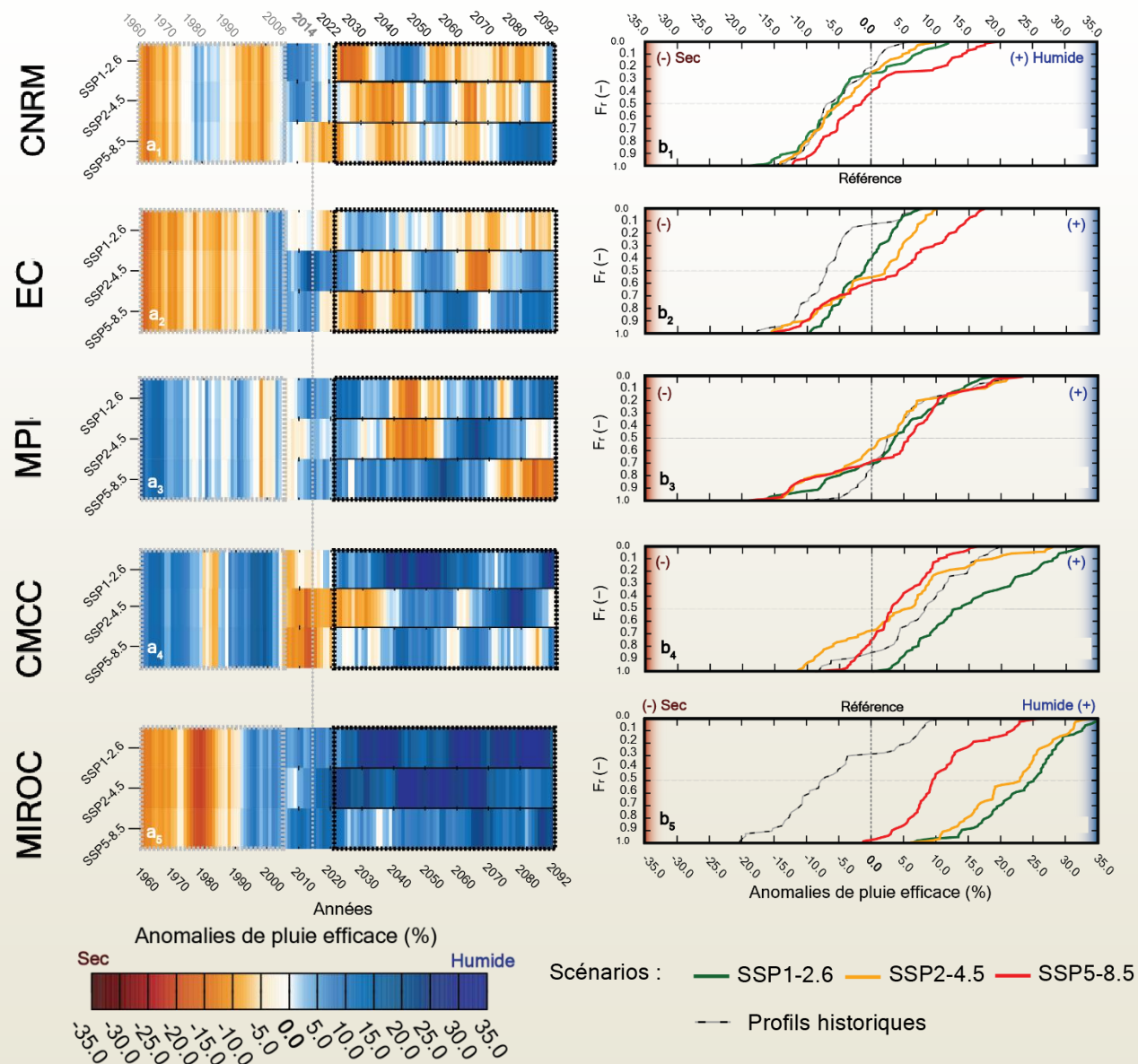


Une grande diversité de trajectoires hydro-climatiques

- Approche en trajectoires continues d'aléas hydrologiques.
- Trois observations :
 - Des trajectoires futures **divergentes** et un **large spectre** général d'impact ;
 - Des impacts SSP **fortement variables** selon les **produits climatiques** ;
 - Une **variabilité temporelle** à **périodes contrastées**.

→ Est-il possible d'évaluer la **pertinence** de ces champs de contraintes à **l'échelle régionale** du bassin de la Seine ?

Pluie efficace sur le bassin amont de la Seine à Vernon

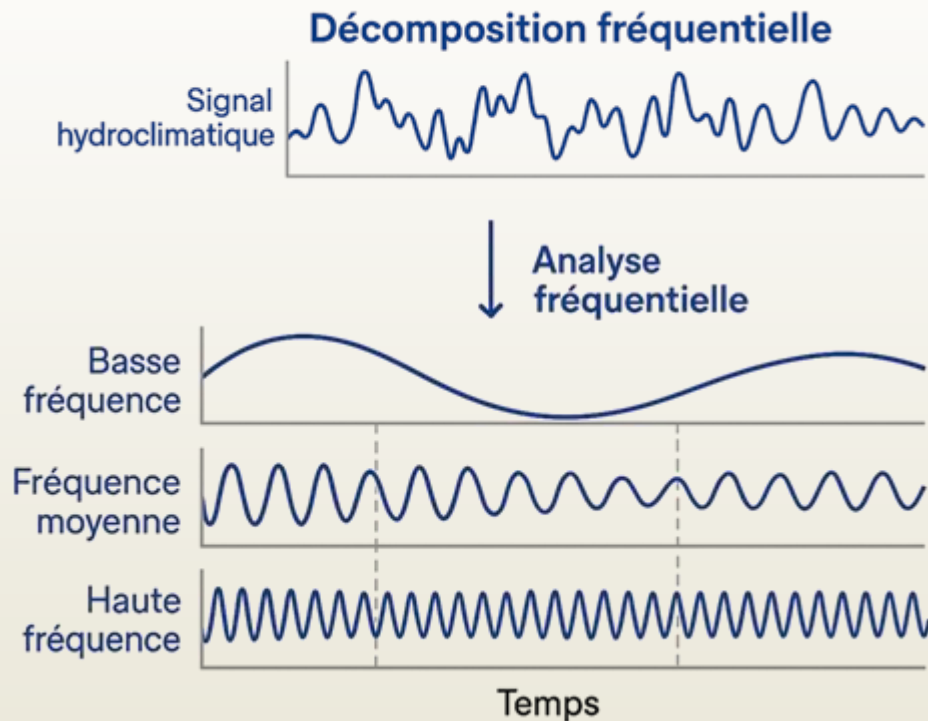


Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conservent la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.

Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conserver la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.



Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conserver la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.
- Conditionne les **fluctuations long-terme** du système aquifère...

Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conservent la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.
- Conditionne les **fluctuations long-terme** du système aquifère...
- ...et des débits **de base des rivières** (= composante d'origine phréatique).

(Gallois et Flipo, 2022; Flipo *et al.*, 2023, 2024)

Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conservent la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.
 - Conditionne les **fluctuations long-terme** du système aquifère...
 - ...et des débits **de base des rivières** (= composante d'origine phréatique).
- Variabilité basse fréquence (= **inter-décennale**) :
 - **persistante observée** de période **15-17 ans** ;
 - résulte de l'**influence de processus climatiques de large-échelle** (Oscillation Nord-Atlantique).

(Gallois et Flipo, 2022; Flipo *et al.*, 2023, 2024)

(Masséi *et al.*, 2017)

Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conserver la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.
- Conditionne les **fluctuations long-terme** du système aquifère...
- ...et des débits **de base des rivières** (= composante d'origine phréatique).
- Variabilité basse fréquence (= **inter-décennale**) :
 - **persistante observée** de période **15-17 ans** ;
 - résulte de l'**influence de processus climatiques de large-échelle** (Oscillation Nord-Atlantique).

(Gallois et Flipo, 2022; Flipo *et al.*, 2023, 2024)

(Masséi *et al.*, 2017)

→ Métrique fondée sur des **marqueurs hydro-climatiques** issus de **processus large-échelle**.

Un socle de connaissances sur le bassin

- Hydrosystèmes régionaux = Filtres passe-bas
 - Conserver la **variabilité basse-fréquence (BF)** présente dans les champs de précipitations.
- Conditionne les **fluctuations long-terme** du système aquifère...
- ...et des débits **de base des rivières** (= composante d'origine phréatique).

(Gallois et Flipo, 2022; Flipo *et al.*, 2023, 2024)

- Variabilité basse fréquence (= **inter-décennale**) :
 - **persistante observée** de période **15-17 ans** ;
 - résulte de l'**influence de processus climatiques de large-échelle** (Oscillation Nord-Atlantique).

(Masséi *et al.*, 2017)

→ Métrique fondée sur des **marqueurs hydro-climatiques** issus de **processus large-échelle**.

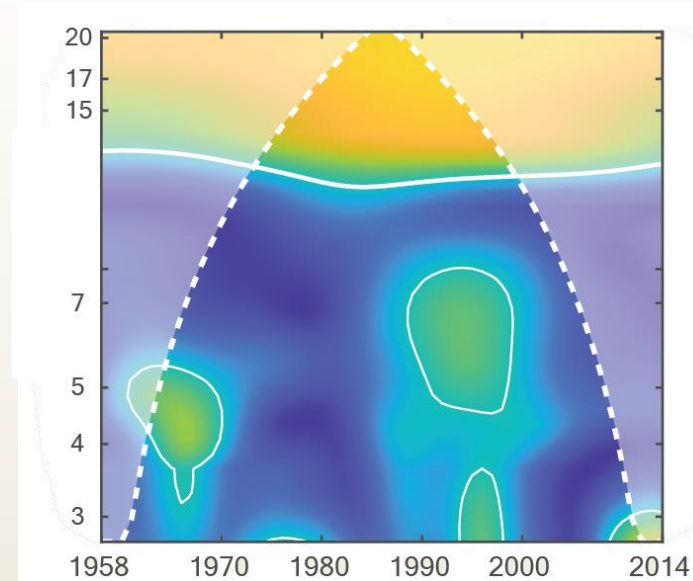
→ Variabilité BF présente dans les précipitations historiques de MCG ?

- Analyse comparative des spectres fréquentiels des **précipitations SAFRAN** et **MCG historique**.

Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

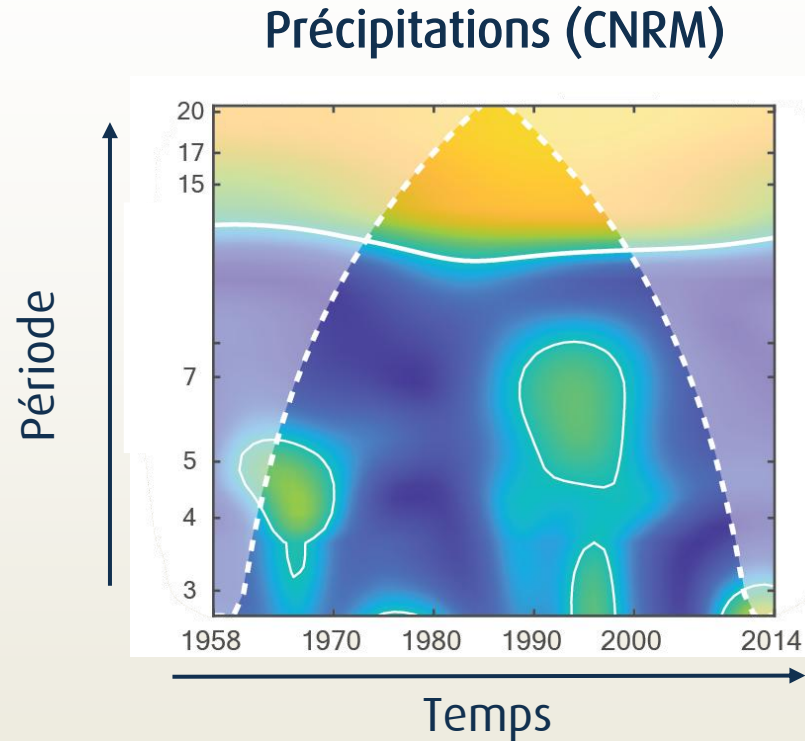
- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)

Précipitations (CNRM)



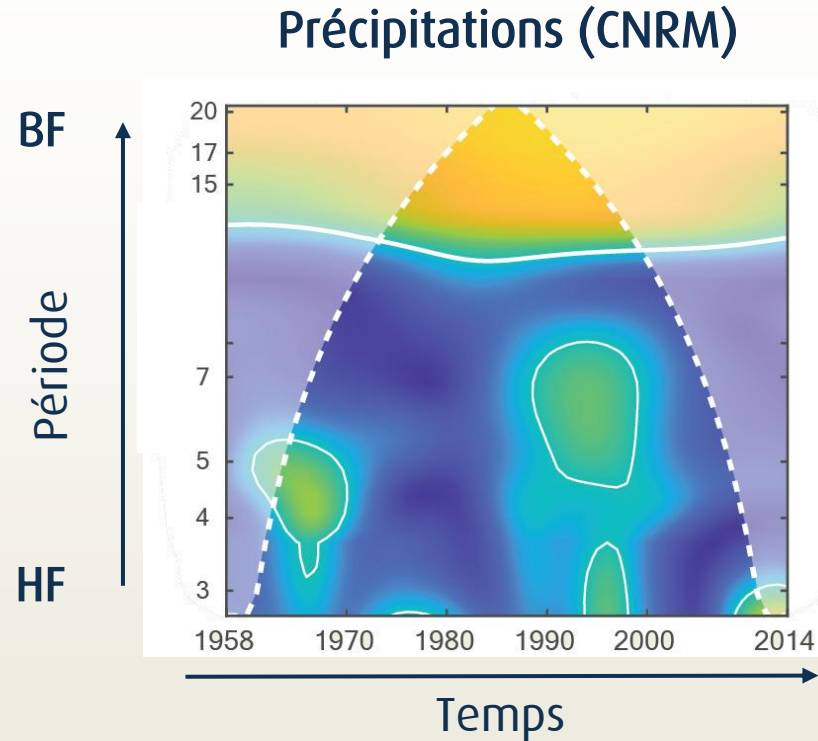
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)



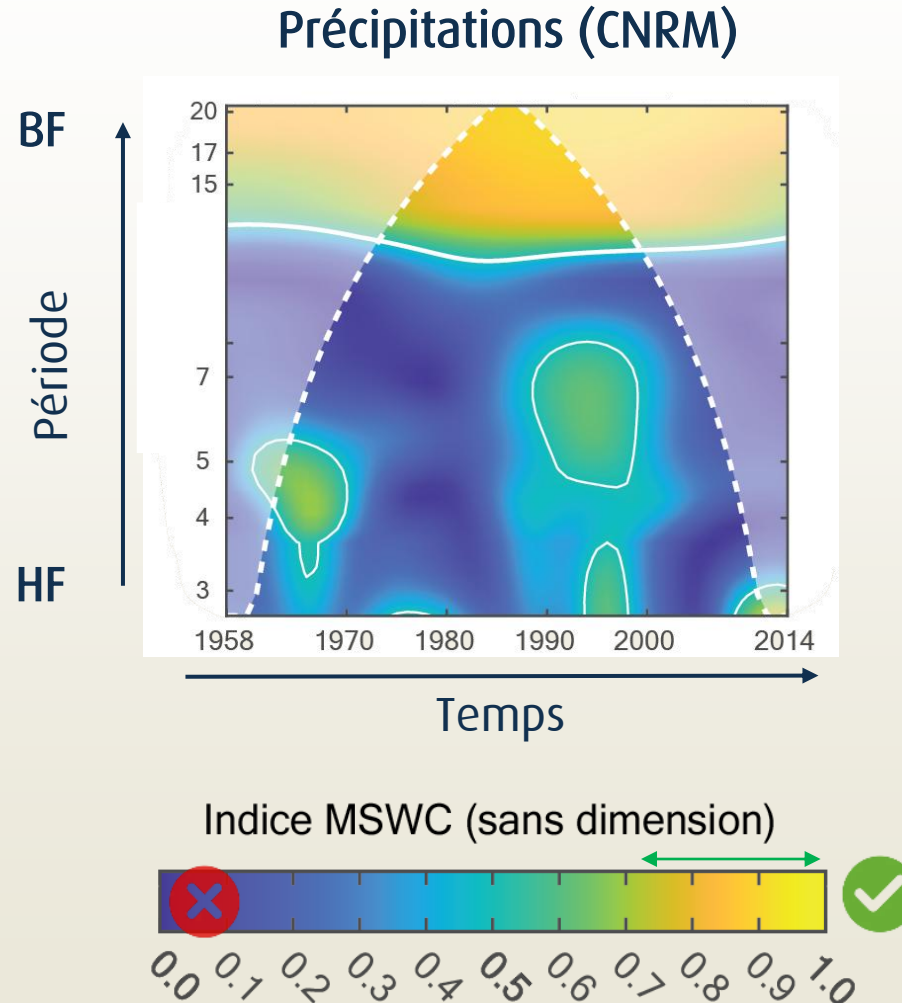
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)



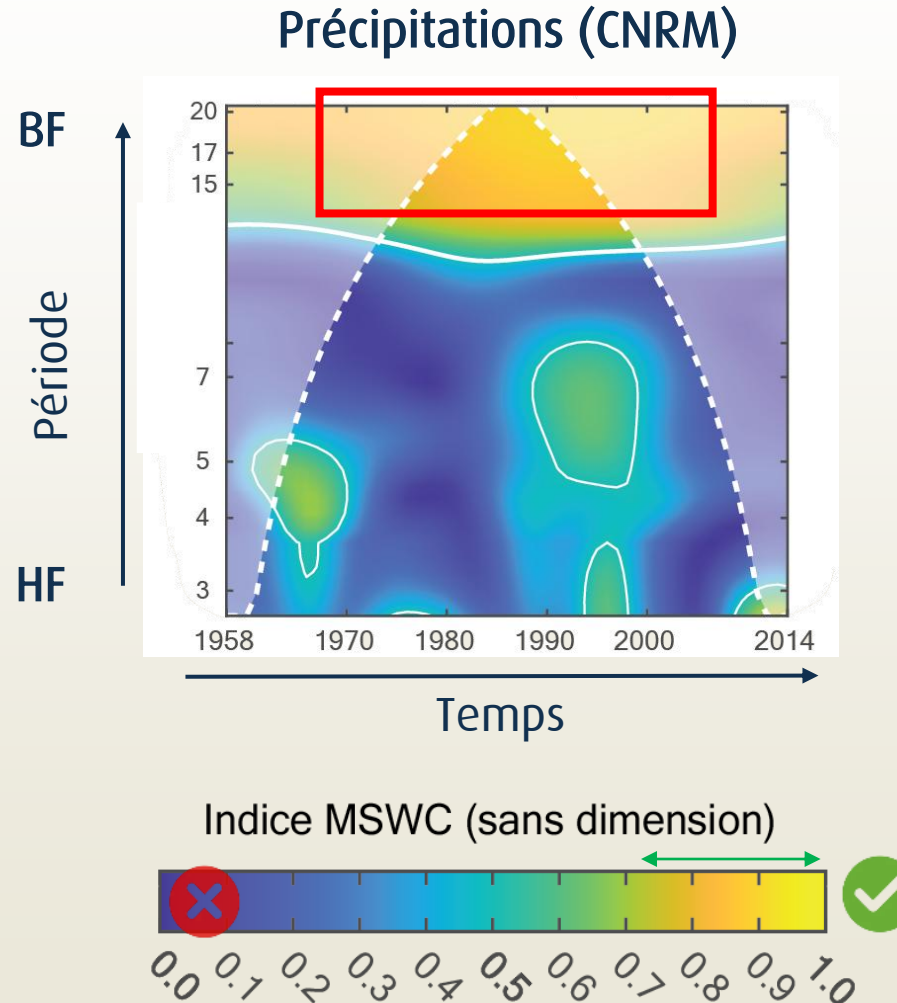
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)



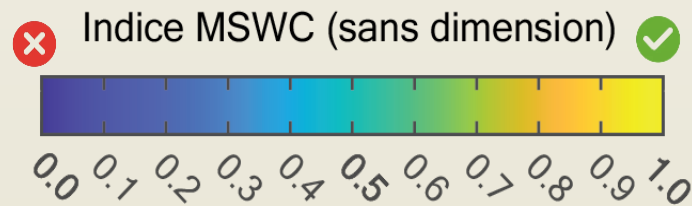
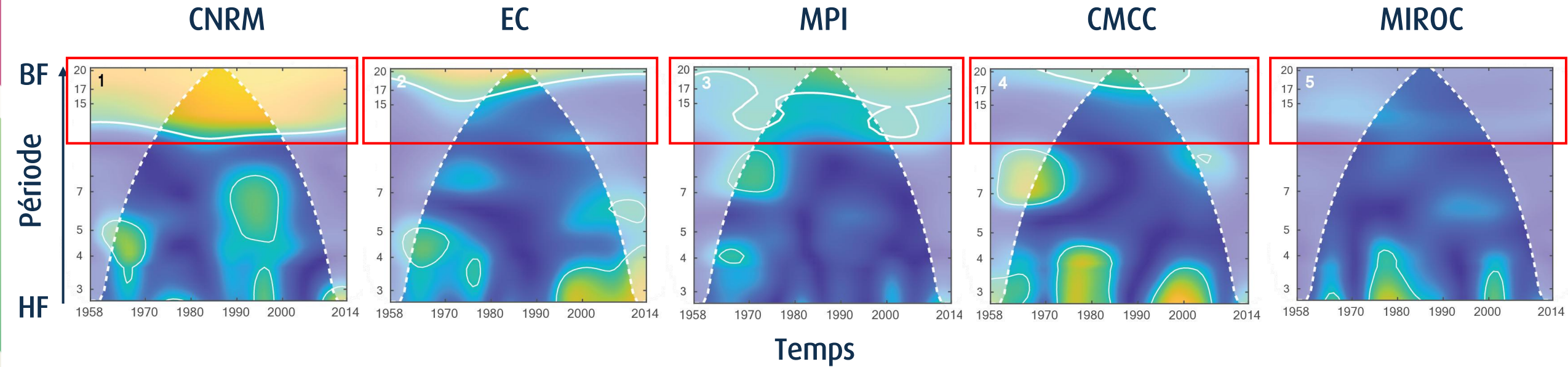
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)



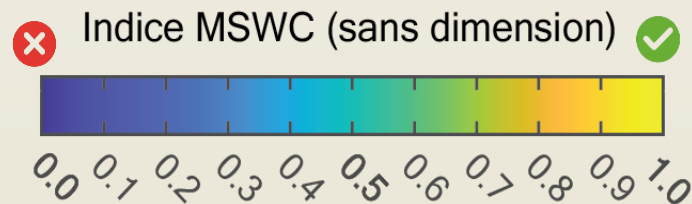
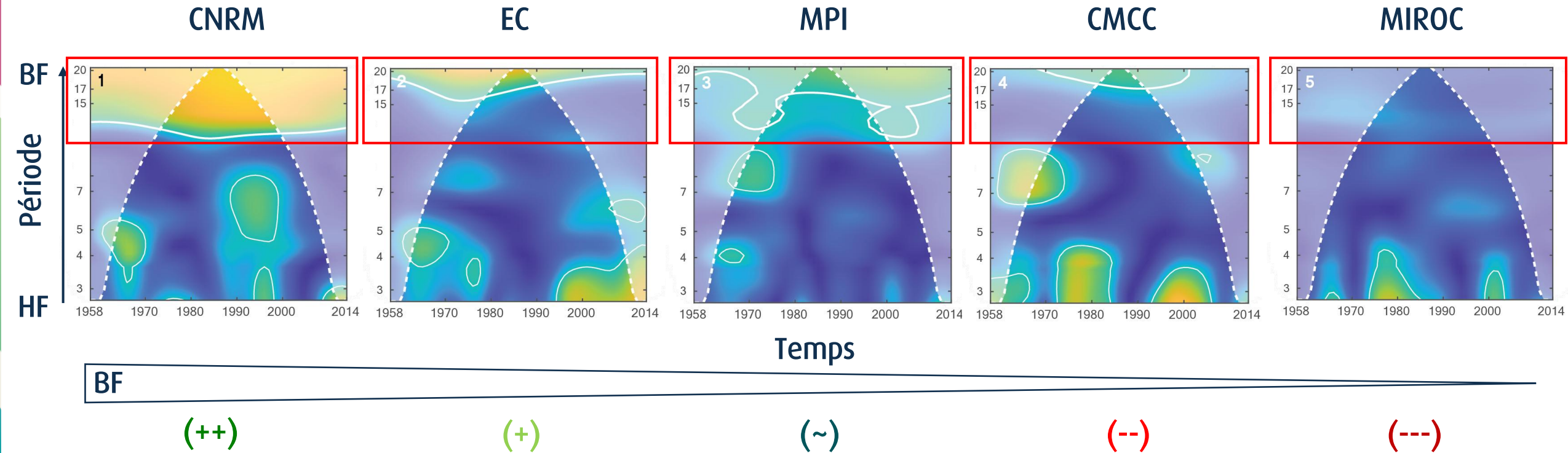
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de **cohérence** par **décomposition en ondelettes continues** dans le plan temps-fréquence (MSWC)



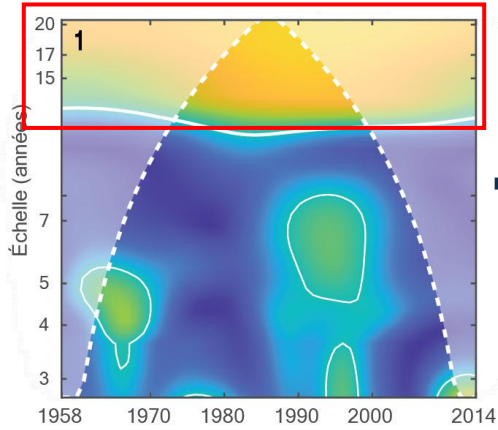
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

- Analyse de cohérence par décomposition en ondelettes continues dans le plan temps-fréquence (MSWC)



Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

CNRM
(++)

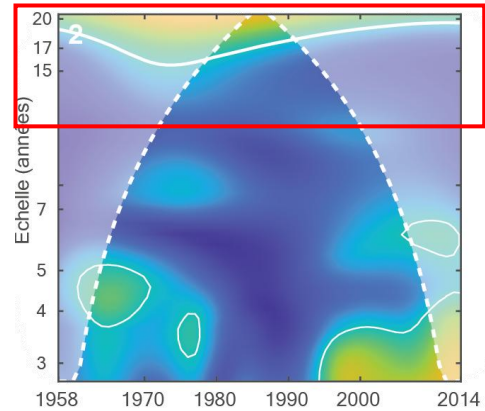


Anomalies
simulées

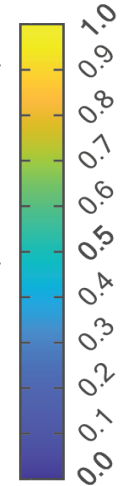


Piézométrie de
subsurface

EC
(+)

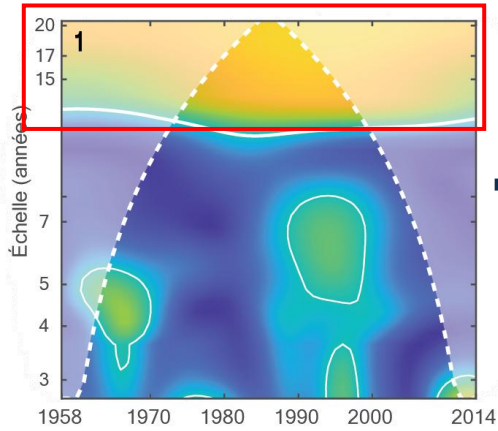


Indice MSWC (sans dimension)



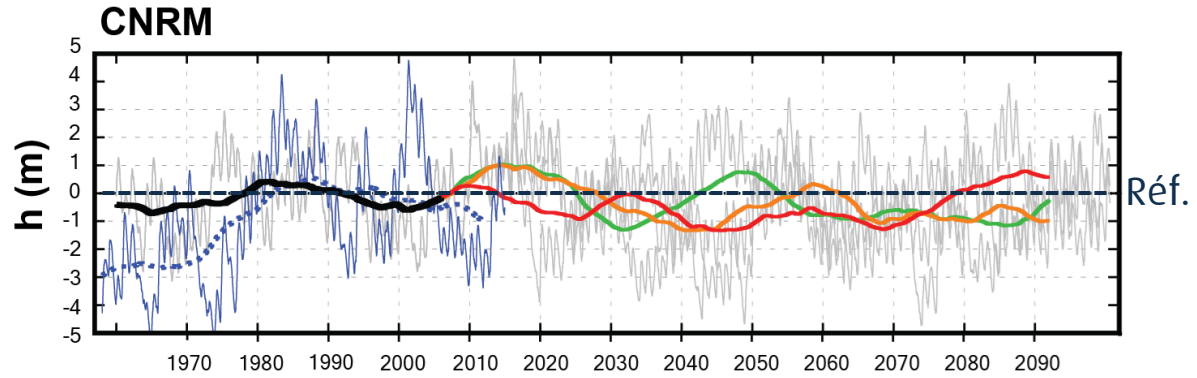
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

CNRM
(++)

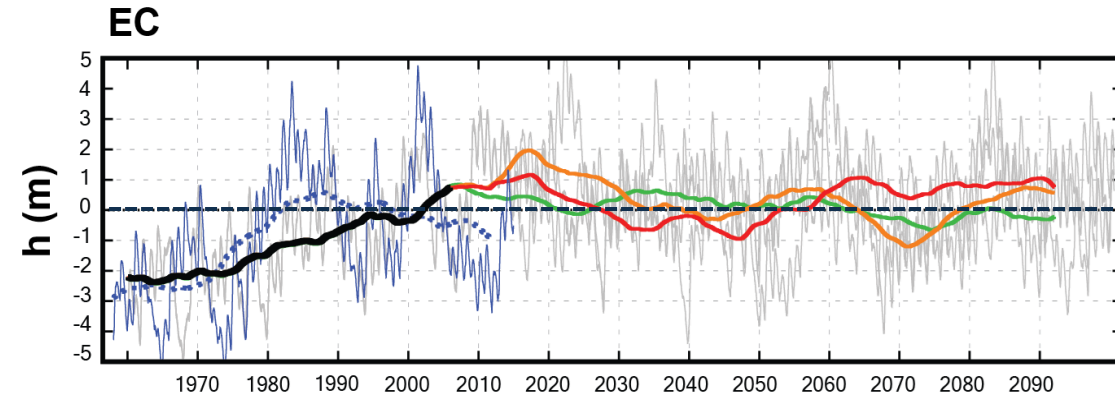
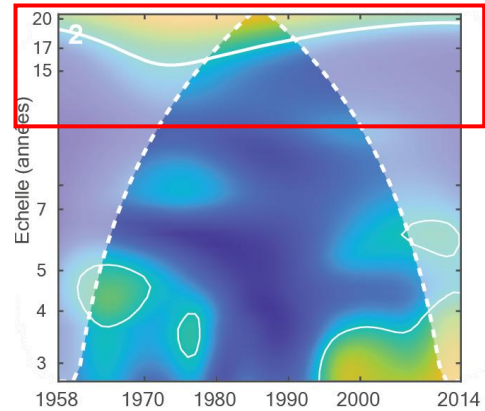


Anomalies simulées

→
Piézométrie de subsurface



EC
(+)



Signaux d'anomalies MCG :

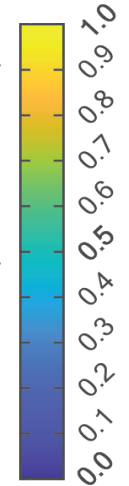
- Historique
- SSP1-2.6
- SSP2-4.5
- SSP5-8.5

Forçage SAFRAN :

- Signal d'anomalies
- Signal journalier

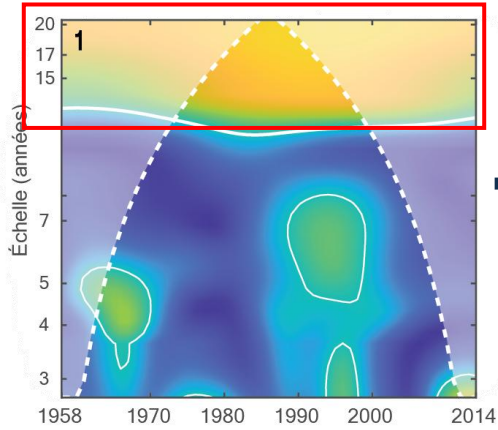


Indice MSWC (sans dimension)



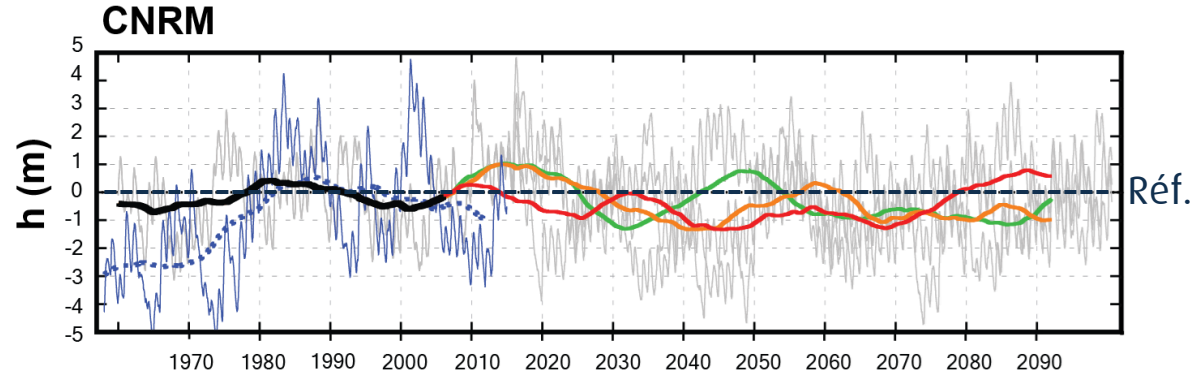
Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

CNRM
(++)

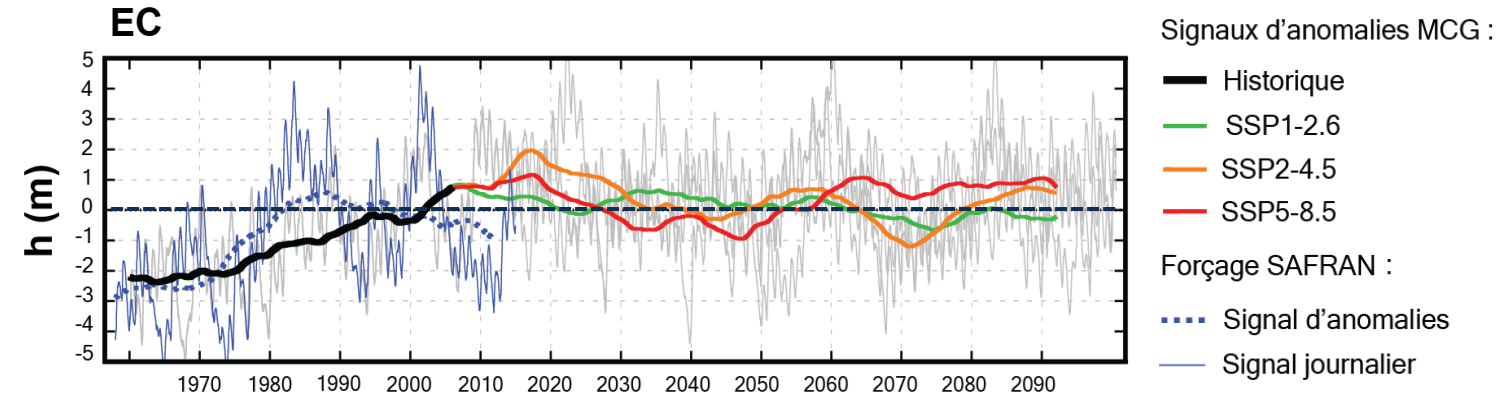
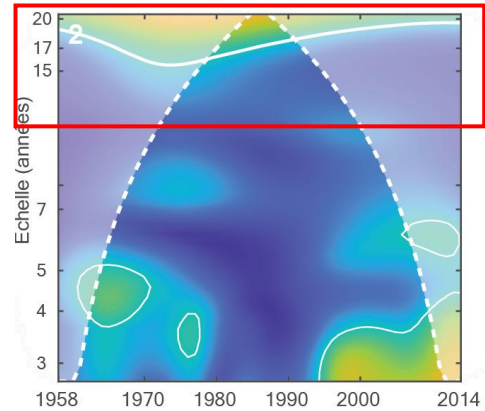


Anomalies
simulées

→
Piézométrie de
subsurface



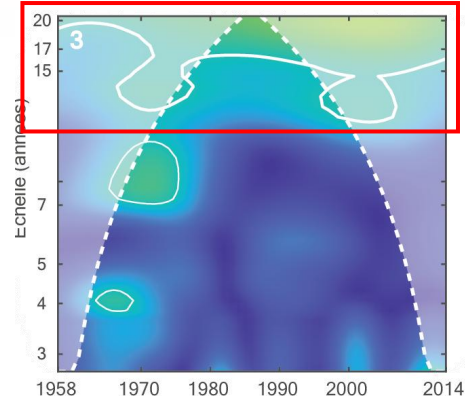
EC
(+)



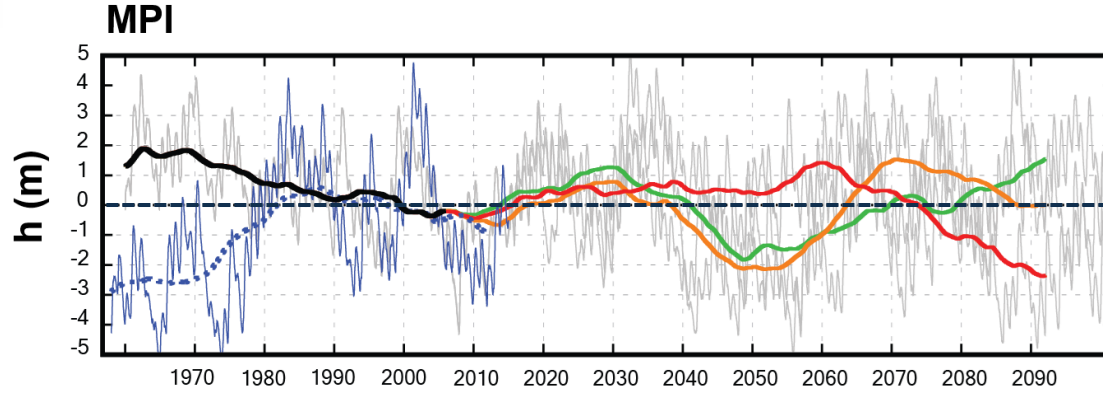
- **Relative stabilité** projetée autour de la valeur de référence ;
- Anomalies d'amplitude d'ordre **métrique** ;
- Variabilité temporelle **discernable**.

Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

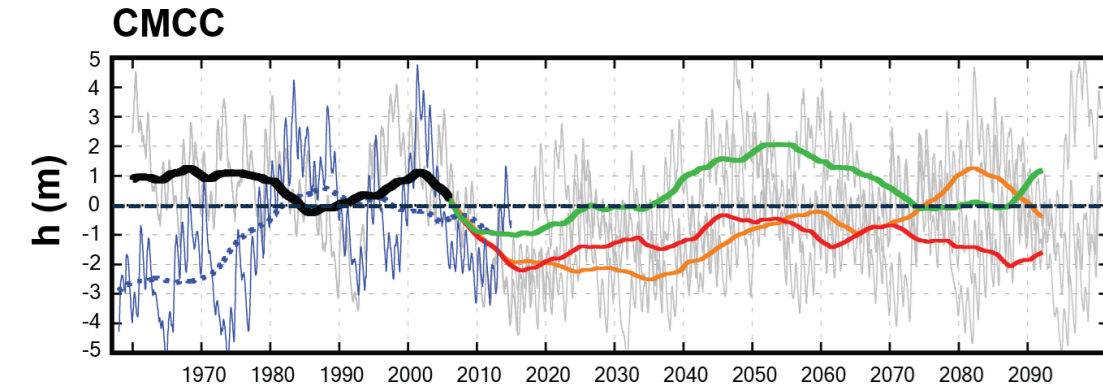
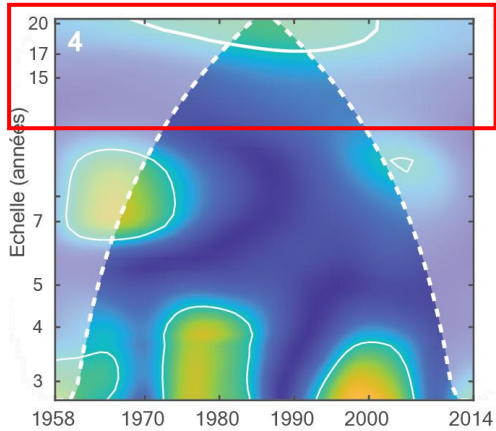
MPI
(~)



Anomalies simulées
→
Piézométrie de subsurface



CMCC
(--)



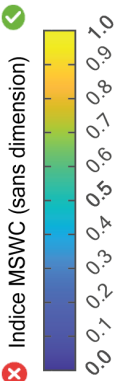
- Anomalies pluri-métriques.
- Variabilité pluri-décennale.

Signaux d'anomalies MCG :

- Historique
- SSP1-2.6
- SSP2-4.5
- SSP5-8.5

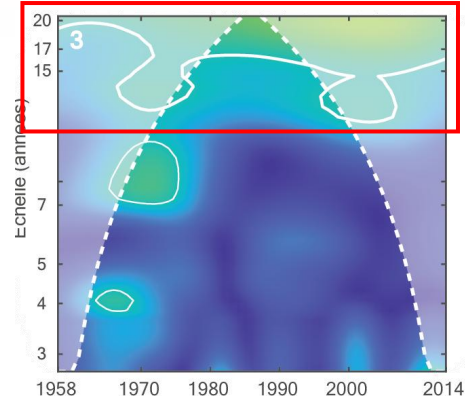
Forçage SAFRAN :

- Signal d'anomalies
- Signal journalier

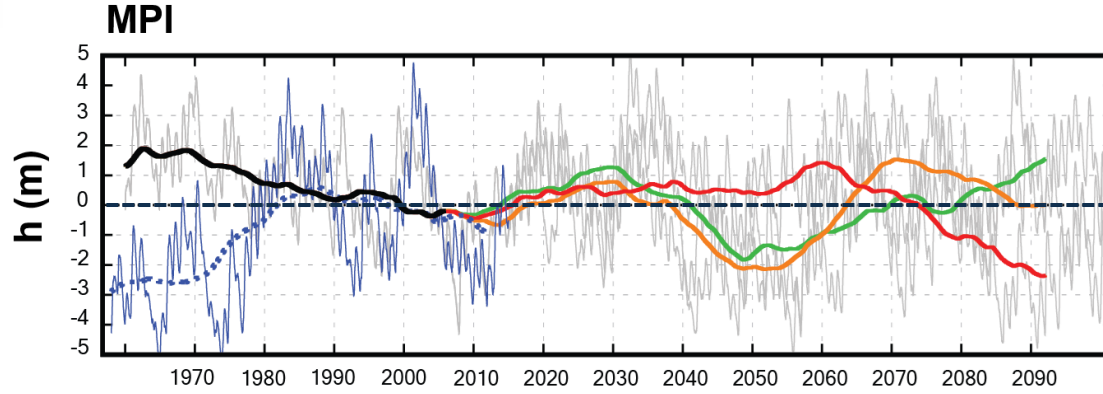


Un filtrage régional « *process-based* » des champs de précipitations

MPI
(~)



Anomalies simulées
→
Piézométrie de subsurface



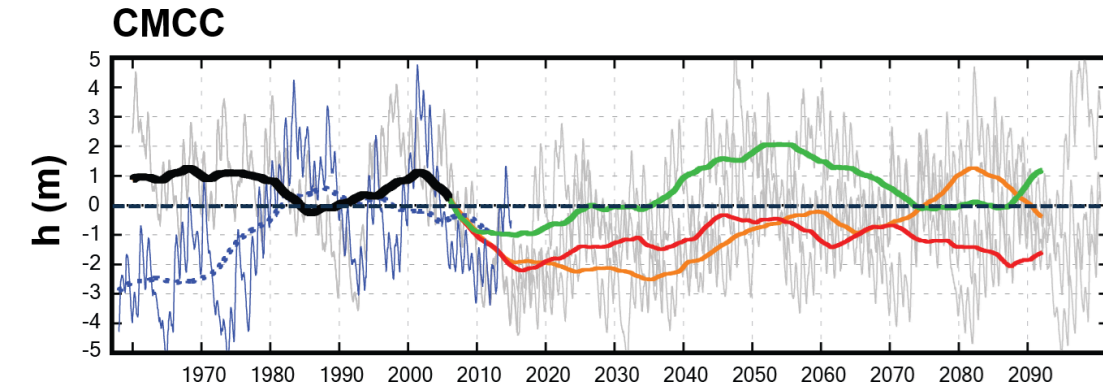
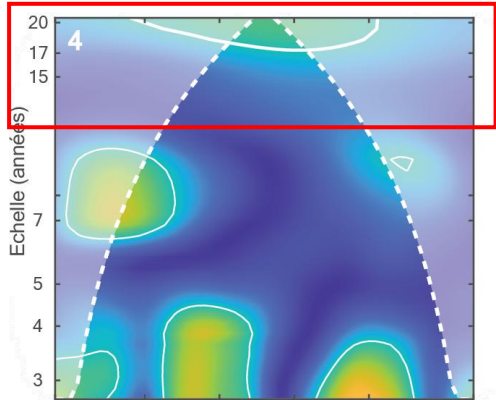
- Anomalies pluri-métriques.

- Variabilité pluri-décennale.

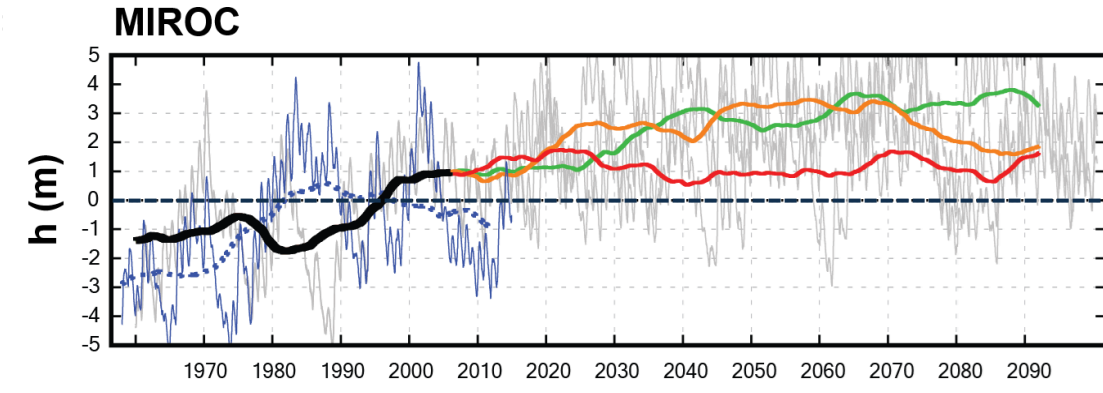
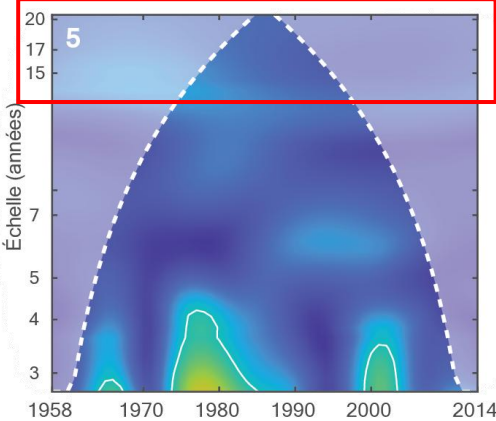
- Projections humides persistantes.

- Variabilité temporelle difficilement discernable.

CMCC
(--)



MIROC
(---)

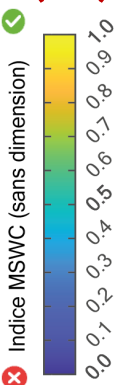


Signaux d'anomalies MCG

- Historique
- SSP1-2.6
- SSP2-4.5
- SSP5-8.5

Forçage SAFRAN :

- Signal d'anomalies
- Signal journalier



Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Première **analyse d'impact multi-variables** (Gallois *et al.*, 2025)

Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Première **analyse d'impact multi-variables** (Gallois *et al.*, 2025)

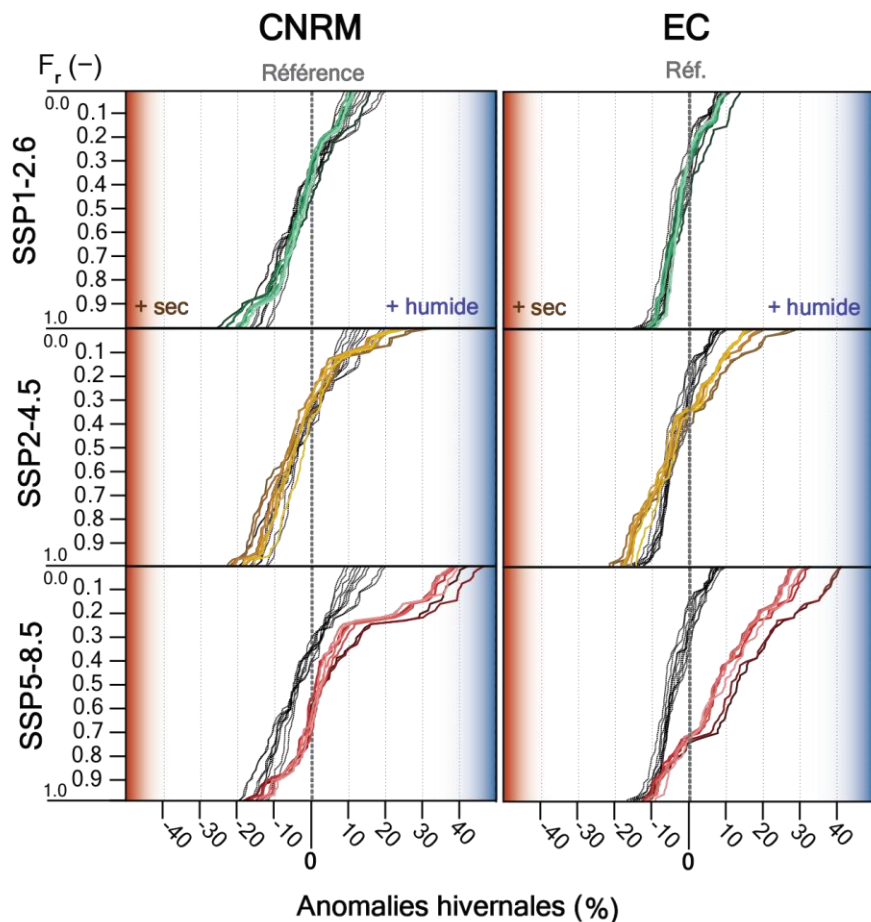
Débits moyens hivernaux et
estivaux

Durées des périodes
d'été et intensités

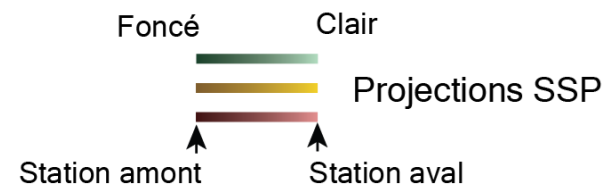
Débits de crues
majeures ($T_{\text{retour}} = 10$ ans)

Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Anomalies de débits moyens hivernaux le long de la Seine.

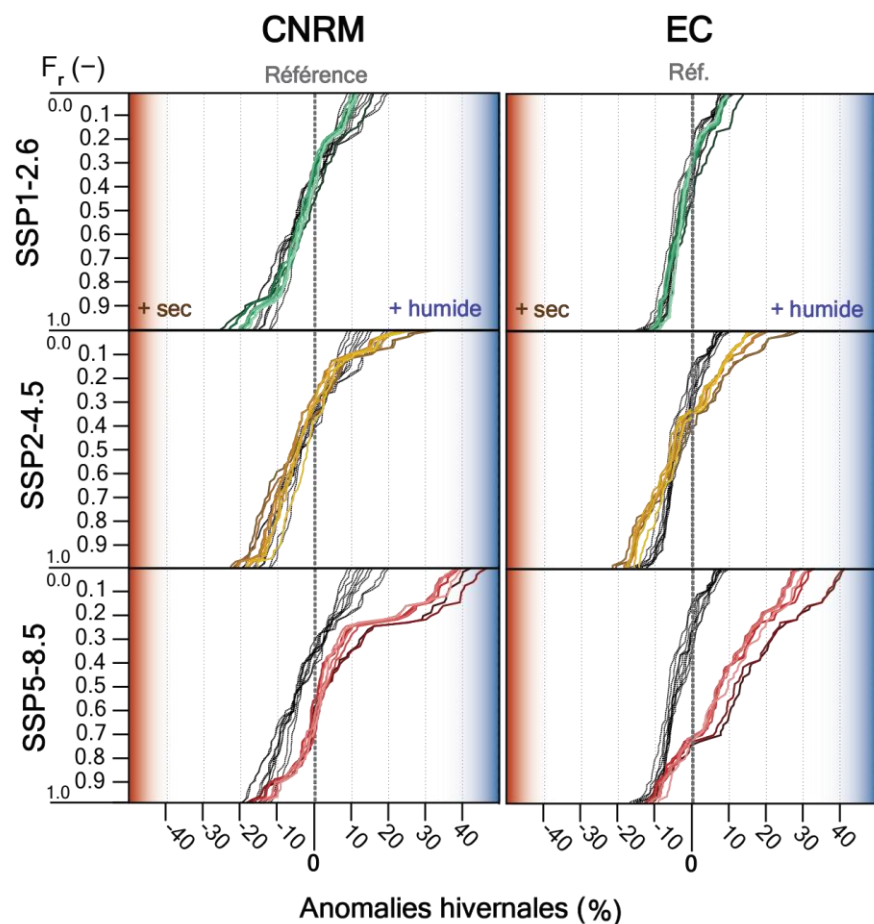


..... Profils historiques MCG

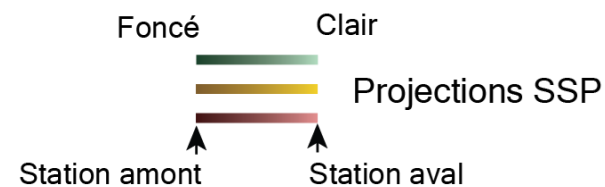


Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Anomalies de débits moyens hivernaux le long de la Seine.



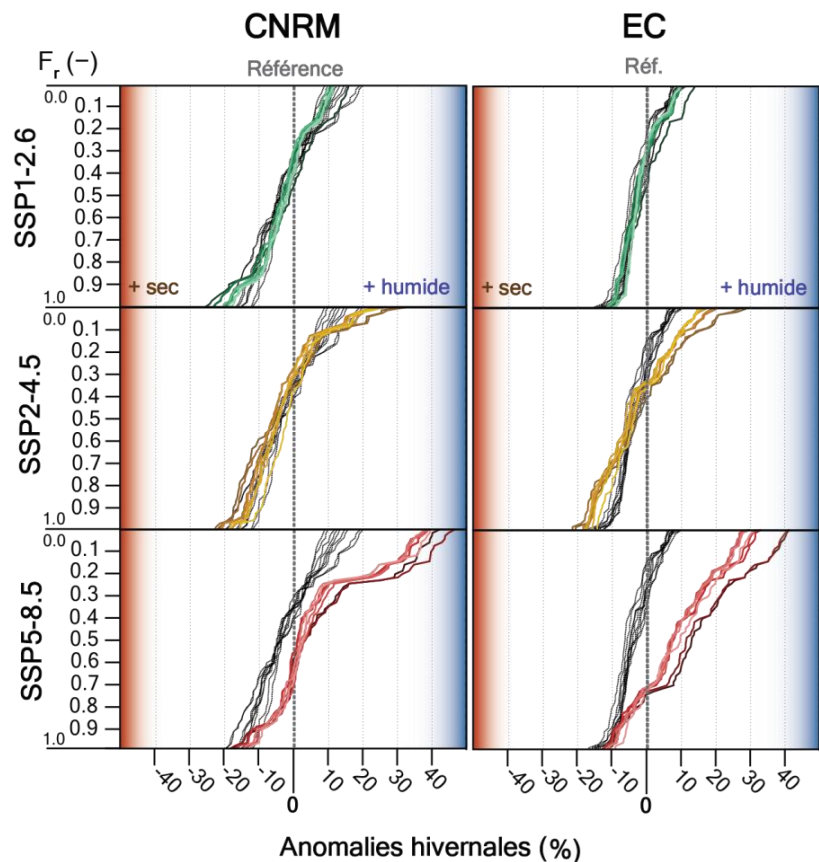
..... Profils historiques MCG



- **Accroissement** des écarts aux profils historiques en **l'absence de mesures d'atténuation**.
- Impacts les plus forts portés sur **l'amont ruisselant Jurassique du bassin**.

Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Anomalies de débits moyens hivernaux le long de la Seine.



BF

(++)

(+)

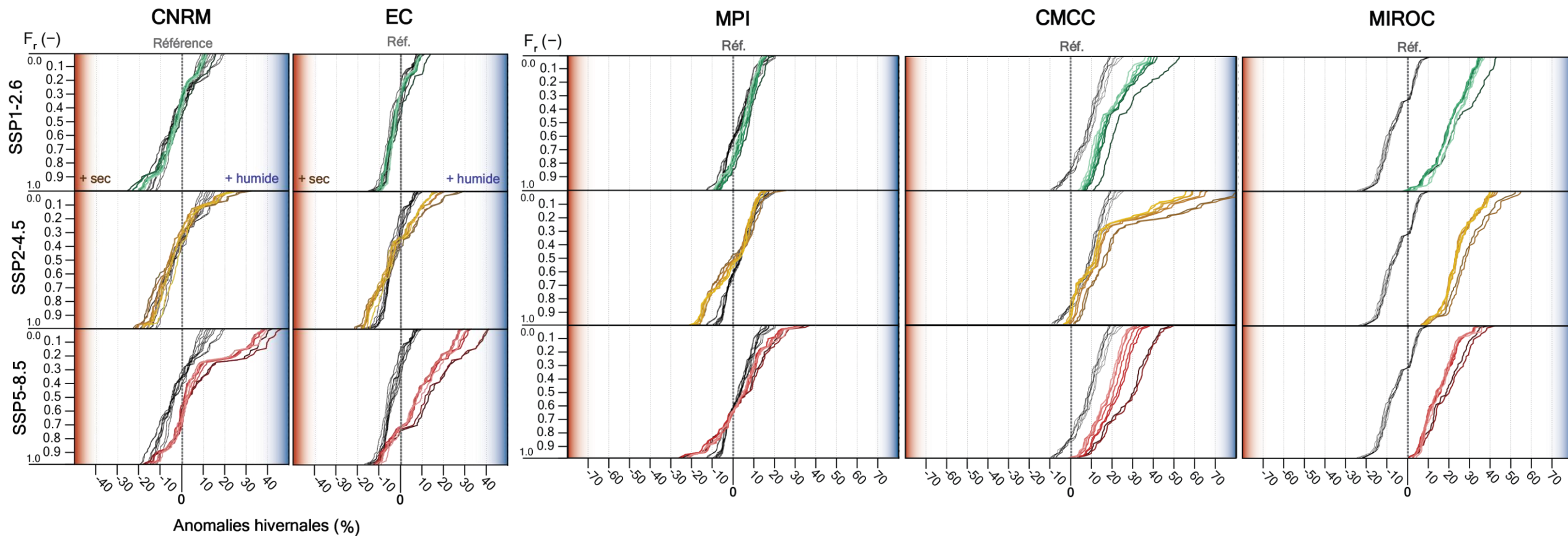
(~)

(--)

(---)

Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

- Anomalies de débits moyens hivernaux le long de la Seine.



BF

(++)

(+)

(~)

(--)

(---)

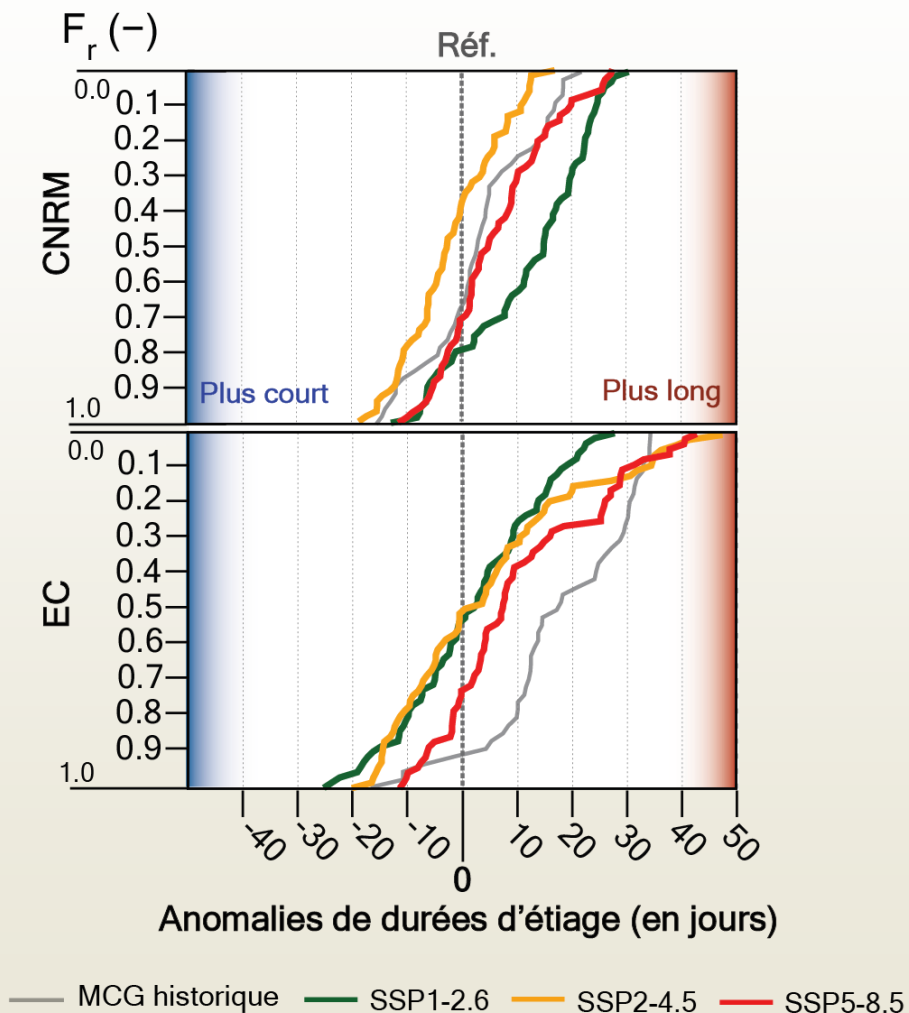
Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

■ Anomalies sur les durées de période d'été

Exemple de la Seine à Vernon

CNRM:

- SSP5-8.5 = historique
- SSP1-2.6 et 2-4.5 = variations confinées dans une plage de ± 10 jours.



Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

■ Anomalies sur les durées de période d'été

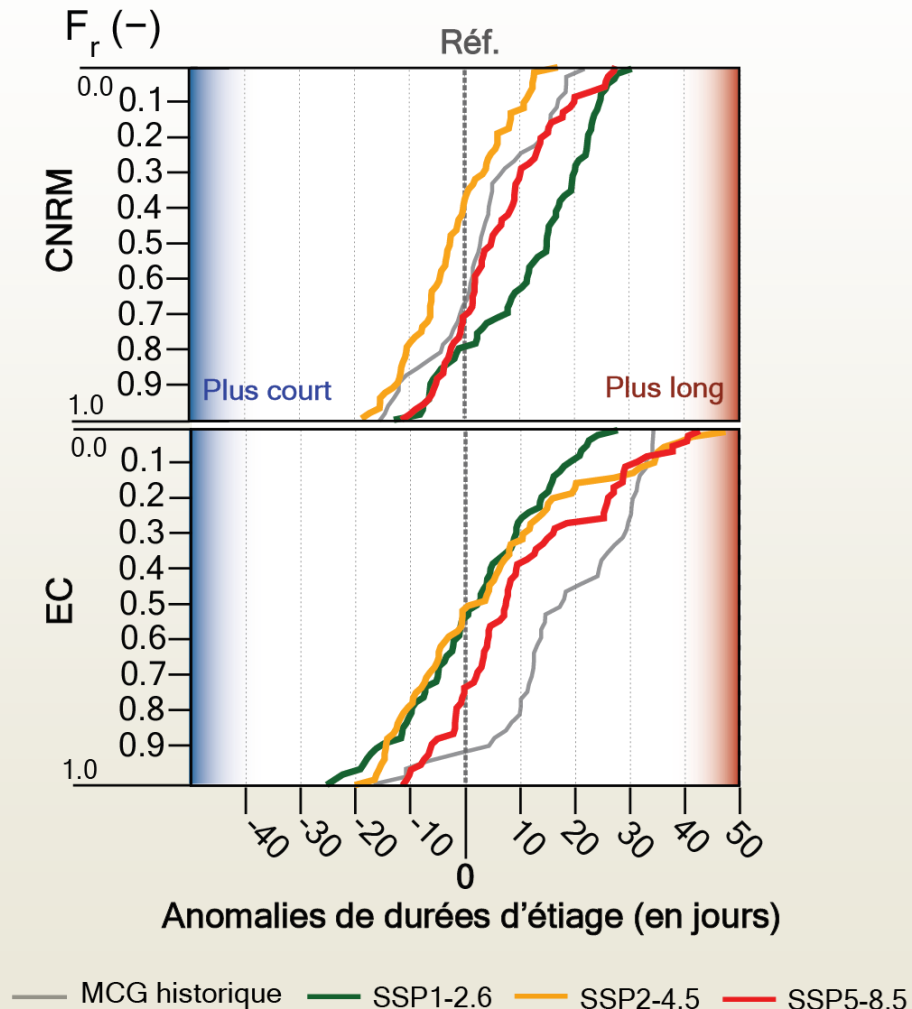
Exemple de la Seine à Vernon

CNRM:

- SSP5-8.5 = historique
- SSP1-2.6 et 2-4.5 = variations confinées dans une plage de **±10 jours**.

EC :

- SSP1-2.6 et 2-4.5 = Raccourcissements récurrents d'environ 15 à 20 jours.
- SSP5-8.5 : Diminution plus modérée, inférieure à 10 jours.



Vers des quantifications plus sensibles des impacts saisonniers

■ Anomalies sur les durées de période d'été

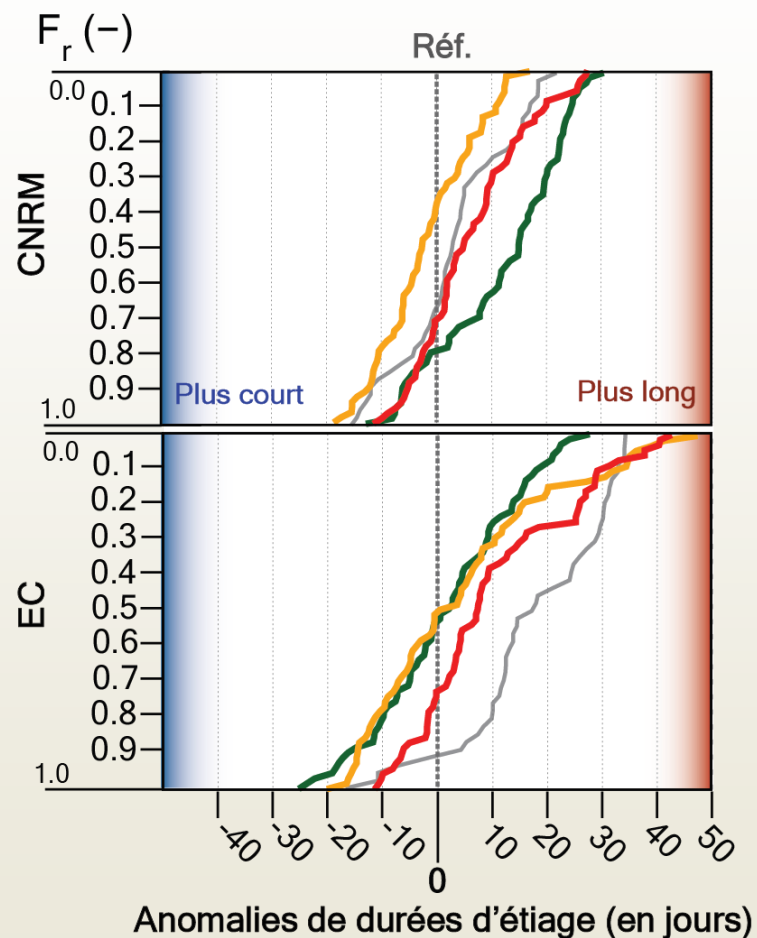
Exemple de la Seine à Vernon

CNRM:

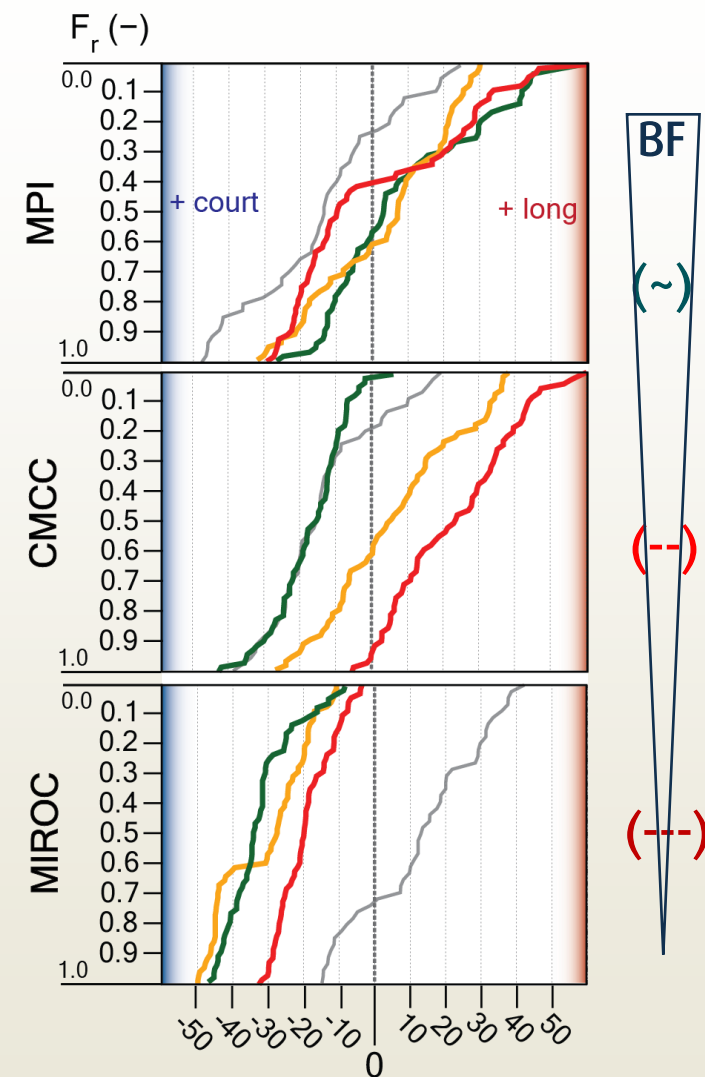
- SSP5-8.5 = historique
- SSP1-2.6 et 2-4.5 = variations confinées dans une plage de ± 10 jours.

EC :

- SSP1-2.6 et 2-4.5 = Raccourcissements récurrents d'environ 15 à 20 jours.
- SSP5-8.5 : Diminution plus modérée, inférieure à 10 jours.



— MCG historique — SSP1-2.6 — SSP2-4.5 — SSP5-8.5



De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et **exclure** les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !
 - Méthodologie de filtrage multicritères ;
 - Évaluation critique « process-based » régionalement adaptée.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- Méthodologie de filtrage multicritères ;
 - Évaluation critique « process-based » régionalement adaptée.
 - Filtrage justifié de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de certains types d'impact hydrologiques sur le bassin.
→ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- Méthodologie de filtrage multicritères ;
 - Évaluation critique « process-based » régionalement adaptée.
 - Filtrage justifié de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de certains types d'impact hydrologiques sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer réduire l'espace d'incertitudes en termes d'impacts hydrologiques ?

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- Méthodologie de filtrage multicritères ;
 - Évaluation critique « process-based » régionalement adaptée.
 - Filtrage justifié de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de certains types d'impact hydrologiques sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer réduire l'espace d'incertitudes en termes d'impacts hydrologiques ?

- Suffisant ?
Non !

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- Méthodologie de filtrage multicritères ;
 - Évaluation critique « process-based » régionalement adaptée.
 - Filtrage justifié de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de certains types d'impact hydrologiques sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer réduire l'espace d'incertitudes en termes d'impacts hydrologiques ?

- Suffisant ?
Non !
 - Premier échantillon satisfaisant trop restreint ➔ source de confiance excessive.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- **Méthodologie de filtrage multicritères ;**
 - Évaluation critique « **process-based** » régionalement adaptée.
 - **Filtrage justifié** de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de **certain types d'impact hydrologiques** sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer **réduire l'espace d'incertitudes** en termes d'**impacts hydrologiques** ?

- Suffisant ?
Non !
 - Premier échantillon satisfaisant trop restreint ➔ source de confiance excessive.
 - **Analyse exhaustive** des réalisations MCG exploitables **régionalement compatibles** afin :
 - d'identifier et exclure les MCG **structurellement inadaptés**. (Bonnet *et al.*, 2024)
 - d'exclure les membres climatiques avec variabilité inter-décennale mal restituée.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- **Méthodologie de filtrage multicritères** ;
 - Évaluation critique « **process-based** » régionalement adaptée.
 - **Filtrage justifié** de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de **certain types d'impact hydrologiques** sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer **réduire l'espace d'incertitudes** en termes d'**impacts hydrologiques** ?

- Suffisant ?
Non !
 - Premier échantillon satisfaisant trop restreint ➔ source de confiance excessive.
 - **Analyse exhaustive** des réalisations MCG exploitables **régionalement compatibles** afin :
 - d'identifier et exclure les MCG **structurellement inadaptés**. (Bonnet *et al.*, 2024)
 - d'exclure les membres climatiques avec variabilité inter-décennale mal restituée.
 - Quantification des **incertitudes**.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- **Méthodologie de filtrage multicritères ;**
 - Évaluation critique « **process-based** » régionalement adaptée.
 - **Filtrage justifié** de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de **certain types d'impact hydrologiques** sur le bassin.
→ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer **réduire l'espace d'incertitudes** en termes d'**impacts hydrologiques** ?

- Suffisant ?
Non !
 - Premier échantillon satisfaisant trop restreint → source de confiance excessive.
 - **Analyse exhaustive** des réalisations MCG exploitables **régionalement compatibles** afin :
 - d'identifier et exclure les MCG **structurellement inadaptés**. (Bonnet *et al.*, 2024)
 - d'exclure les membres climatiques avec variabilité inter-décennale mal restituée.
 - Quantification des **incertitudes**.
 - **Fiabilisation des projections hydrologiques** sur le bassin de la Seine en appui à l'élaboration de scénarios avancés.

De nouvelles perspectives phase 9 !

Cibler et exclure les produits climatiques globaux non pertinents à l'échelle régionale ?

- Possible ?
Oui !

- **Méthodologie de filtrage multicritères ;**
 - Évaluation critique « **process-based** » régionalement adaptée.
 - **Filtrage justifié** de certaines incertitudes inhérentes aux MCG impactant les amplitudes de **certain types d'impact hydrologiques** sur le bassin.
 - ➔ Effet souhaitable au vu des défis politiques et de gestion régionale de la ressource.

Espérer **réduire l'espace d'incertitudes** en termes d'**impacts hydrologiques** ?

- Suffisant ?
Non !
 - Premier échantillon satisfaisant trop restreint ➔ source de confiance excessive.
 - **Analyse exhaustive** des réalisations MCG exploitables **régionalement compatibles** afin :
 - d'identifier et exclure les MCG **structurellement inadaptés**. (Bonnet *et al.*, 2024)
 - d'exclure les membres climatiques avec variabilité inter-décennale mal restituée.
 - Quantification des **incertitudes**.
 - **Fiabilisation des projections hydrologiques** sur le bassin de la Seine en appui à l'élaboration de scénarios avancés.
 - Nouvelle **série de désagréations CMIP6 prévue en 2026**.

Merci de votre attention !

Références PIREN-Seine

- (Gallois *et al.*, 2025) Gallois, N., Boé, J., Schuite, J., Flipo, N. (2025). Sélection de trajectoires hydrologiques régionales issues de modèles climatiques globaux : Cadre méthodologique et analyse critique appliquée au bassin de la Seine, rapport annuel PIREN-Seine, 49p.
- (Flipo *et al.*, 2024) Flipo, N., Gallois, N., Boé, J. (2024). Trajectoires hydrologiques du bassin de la Seine, Fascicule #23 du PIREN-Seine, *In*: Coffret anniversaire des 35 ans du PIREN-Seine (1989-2024), ISBN : 978-2-490463-28-2, ARCEAU-IdF, 80p.
- (Boé *et al.*, 2023) Boé, J., Mass, A., Deman, J. (2023). A simple hybrid statistical-dynamical downscaling method for emulating regional climate models over Western Europe. Evaluation, application, and role of added value?, *Climate Dynamics*, 61, 271-294, doi:10.1007/s00382-022-06552-2.
- (Flipo *et al.*, 2023) Flipo, N., Gallois, N., Schuite, J. (2023). Regional coupled surface-subsurface hydrological model fitting based on a spatially distributed minimalist reduction of frequency domain discharge data. *Geoscientific Model Development*, 16, 353-381, doi:10.5194/gmd-16-353-2023.
- (Gallois et Flipo, 2022) Gallois, N., Flipo, N. (2022). Éléments de caractérisation d'évolution long-terme du fonctionnement du réseau hydrographique du bassin de la Seine (1900-2100). Rapport annuel PIREN-Seine phase 8, Centre de Géosciences, Mines Paris, PSL Université, 27p.

Références externes

- (Bonnet *et al.*, 2024) Bonnet, R., McKenna C.-M., Maycock A.-C. (2024). Model spread in multidecadal North Atlantic Oscillation variability connected to stratosphere-troposphere coupling, *Weather and Climate Dynamics*, 5(3), 913-926, doi:10.5194/wcd-5-913-2024.
- (Ribes *et al.*, 2022) Ribes, A., Boé, J., Qasmi, S., Dubuisson, B., Douville, H., Terray, L. (2022). An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. *Earth System Dynamics*, 13(4):1397-1415, doi:10.5194/esd-13-1397-2022.
- (Masséi *et al.*, 2017) Masséi, N., Dieppois, B., Hannah, D.-M. *et al.* (2017). Multi-time-scale hydroclimate dynamics of a regional watershed and links to large-scale atmospheric circulation: Application to the Seine river catchment, France. *Journal of Hydrology*, 546, 262-275, doi:10.1016/j.jhydrol.2017.01.008.