

Evaluer les impacts du changement climatique sur le fonctionnement hydro-biogéochimique de la Seine

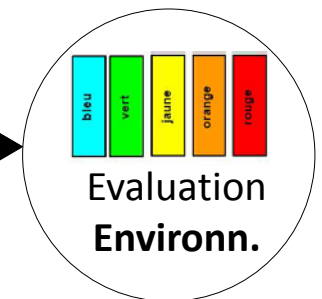
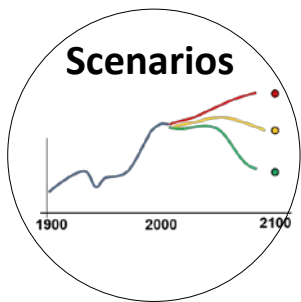
*Mélanie Raimonet, Vincent Thieu, Marie Silvestre, Ludovic Oudin,
Christophe Rabouille, Gilles Billen, Josette Garnier*



- METIS, IPSL, Pierre & Marie Curie University, Paris, France
- FIRE, Fédération Île-de-France de Recherche en Environnement, Paris, France
- LSCE, IPSL, Paris-Saclay University, Gif-sur-Yvette, France

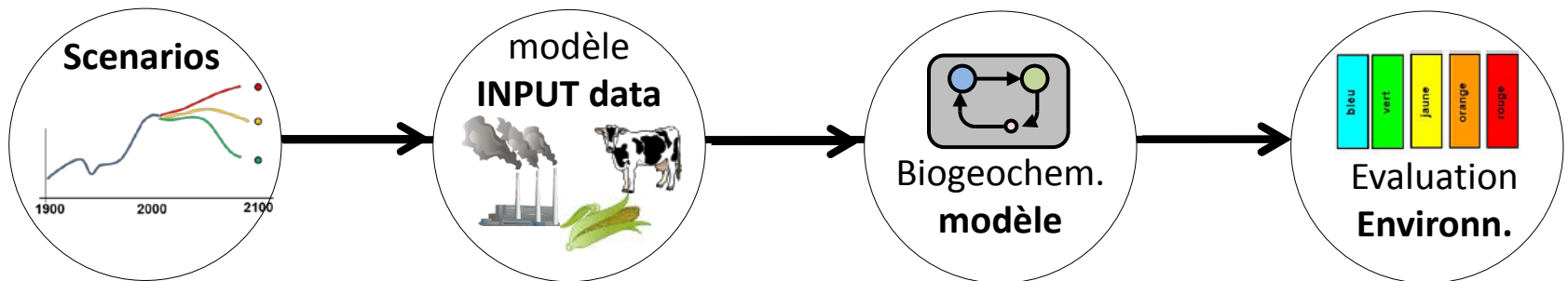
Introduction

- La Prospective PIREN :
 - Approche couplée des évolutions possibles des systèmes **urbain** et **agricole** et de leurs conséquences en matière de qualité de l'hydrosystème, sous contrainte de **changement climatique**



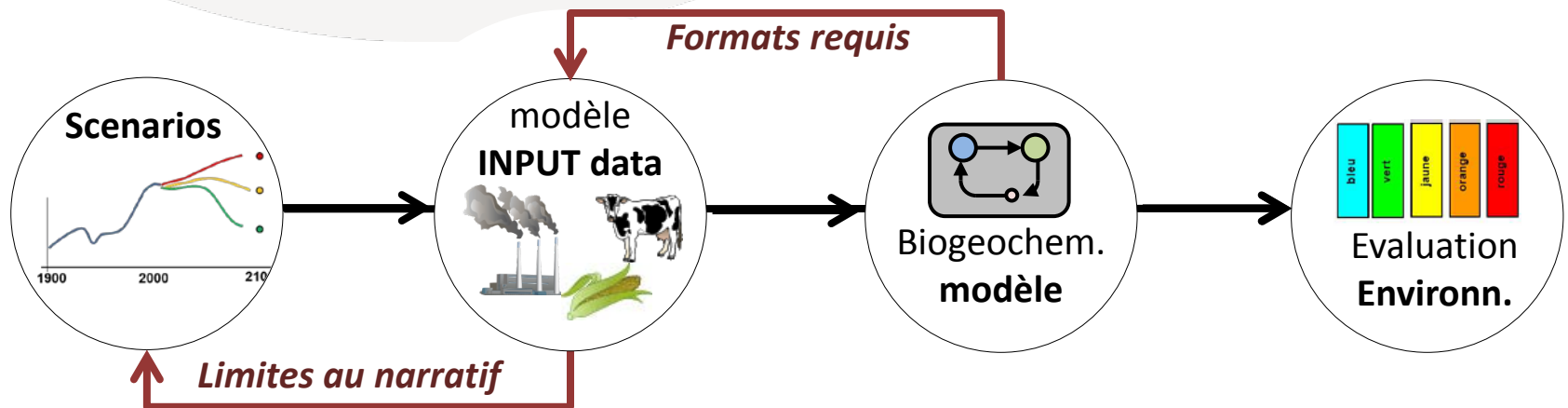
Introduction

- La Prospective PIREN :
 - Approche couplée des évolutions possibles des systèmes **urbain** et **agricole** et de leurs conséquences en matière de qualité de l'hydrosystème, sous contrainte de **changement climatique**
- Challenges pour les outils de modélisation associés:
 - intégrer la nature et l'intensité des activités humaines dans les bassins
 - disposer d'une résolution spatiale et temporelle « *suffisante* »



Introduction

- La Prospective PIREN :
 - Approche couplée des évolutions possibles des systèmes **urbain** et **agricole** et de leurs conséquences en matière de qualité de l'hydrosystème, sous contrainte de **changement climatique**
- Challenges pour les outils de modélisation associés :
 - intégrer la nature et l'intensité des activités humaines dans les bassins
 - disposer d'une résolution spatiale et temporelle « *suffisante* »
 - adéquation entre le formalisme des outils de modélisation et les besoins de la scénarisation (modulation des données d'entrée des modèles)

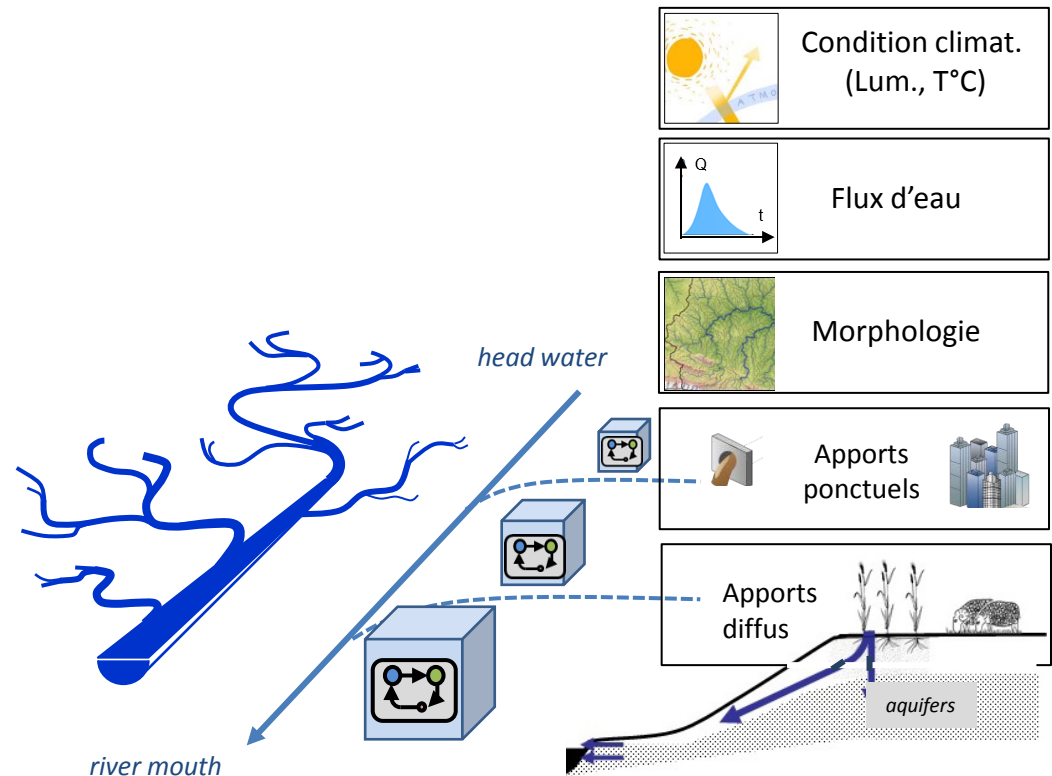
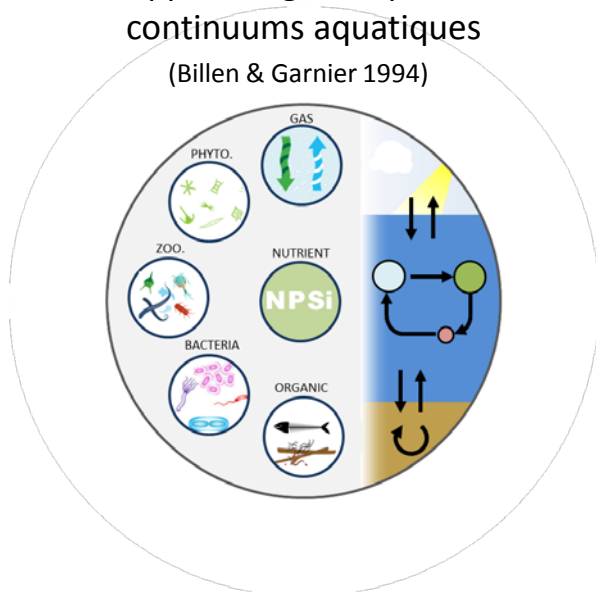


Introduction

- Notre expertise sur le fonctionnement biogéochimique des hydrosystèmes :
 - Approche déterministe du fonctionnement microscopique des écosystèmes aquatiques : le modèle Riverstrahler (METIS)

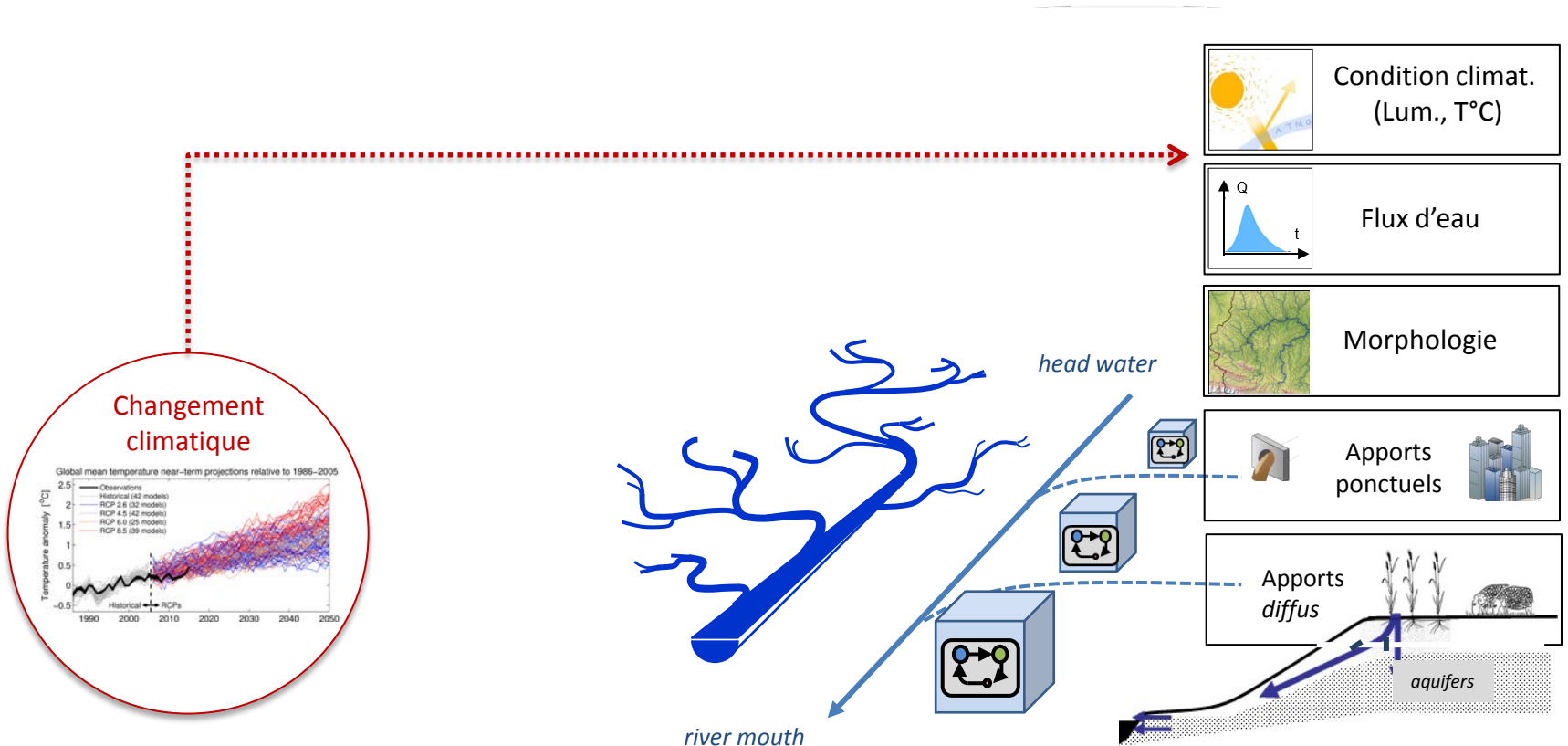
Approche générique du continnum aquatiques

(Billen & Garnier 1994)



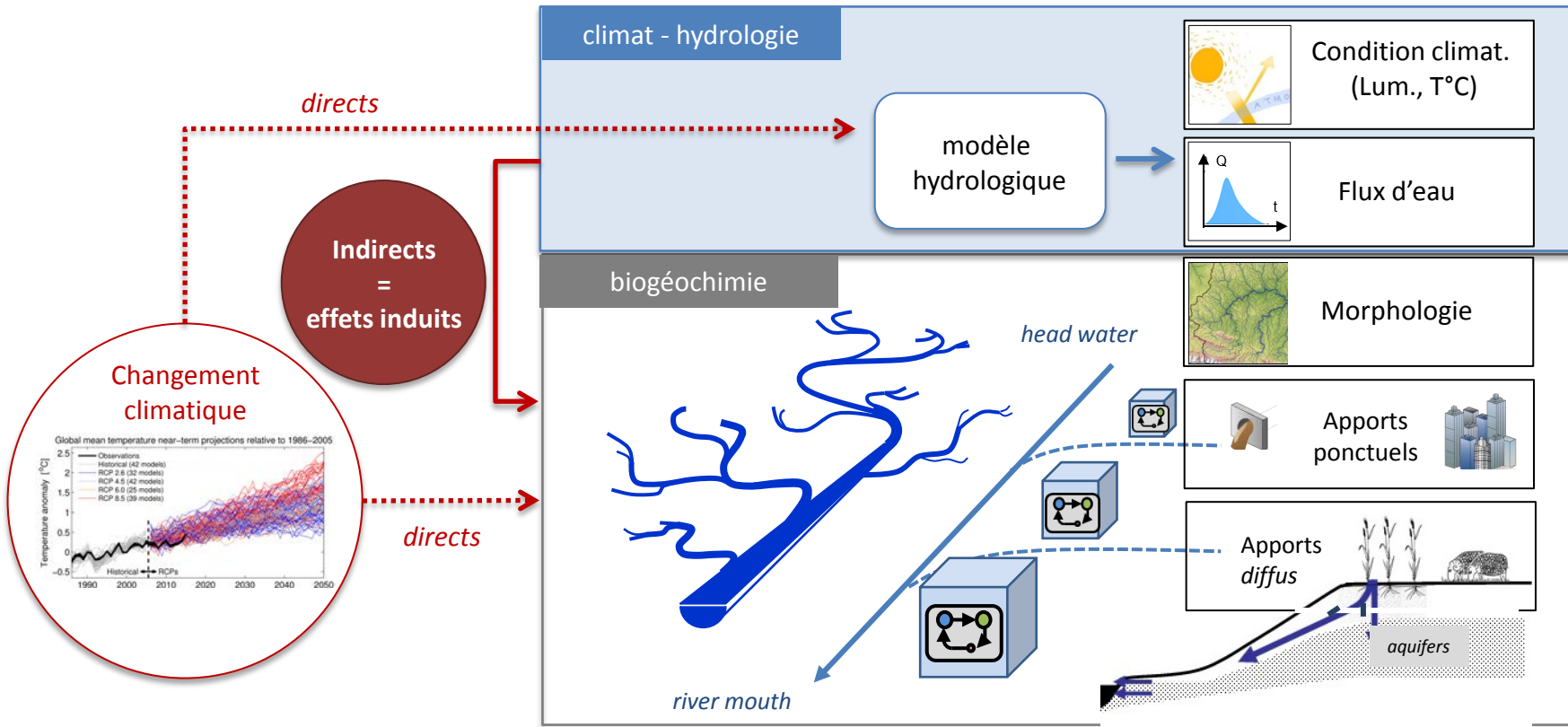
Introduction

- Notre expertise sur le fonctionnement biogéochimique des hydrosystèmes :
 - Approche déterministe du fonctionnement microscopique des écosystèmes aquatiques : le modèle Riverstrahler (METIS)

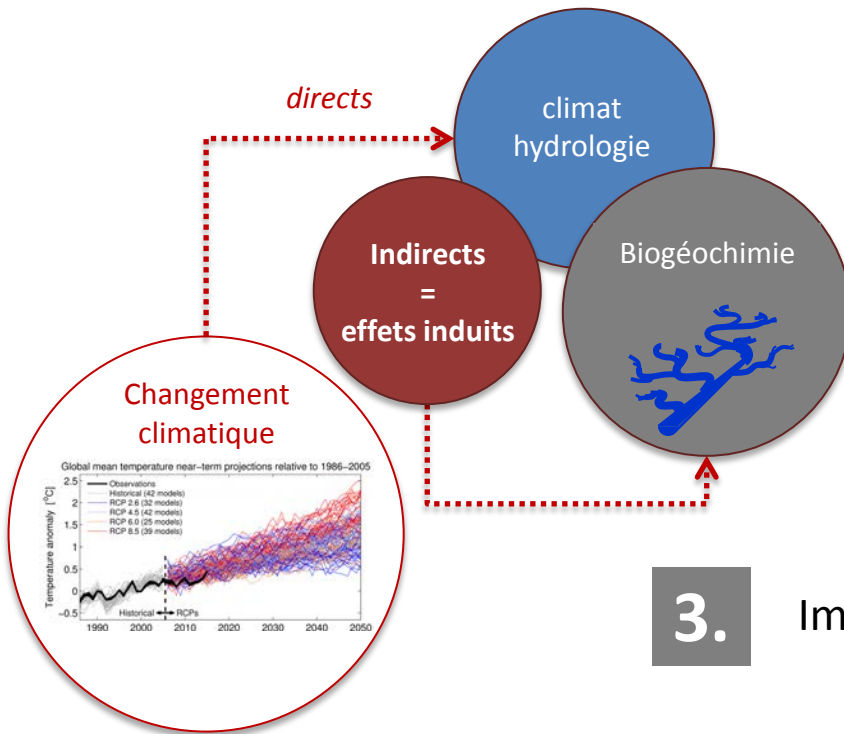


Introduction

- Notre expertise sur le fonctionnement biogéochimique des hydrosystèmes :
 - Approche déterministe du fonctionnement microscopique des écosystèmes aquatiques : le modèle Riverstrahler (METIS)



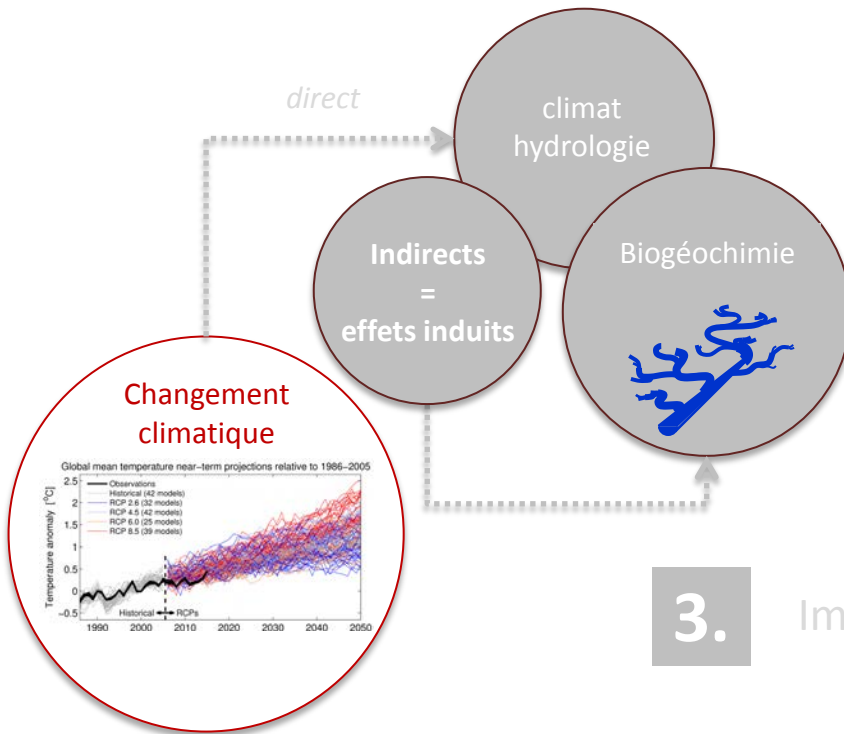
1. Les données climat et la modélisation



2. Impacts directs sur l'hydrologie

3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique

1. Les données climat et la modélisation

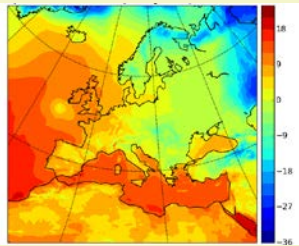


2. Impacts directs sur l'hydrologie

3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique

1 | Les données climat et la modélisation

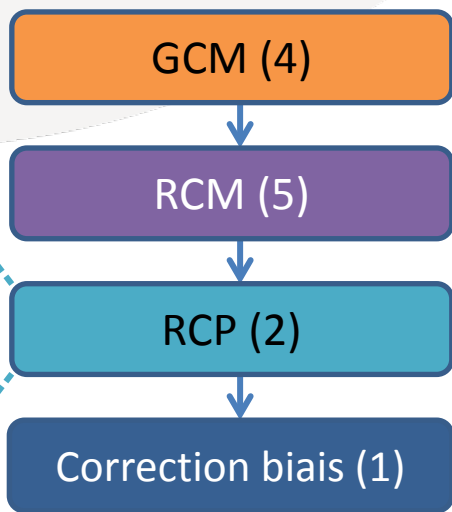
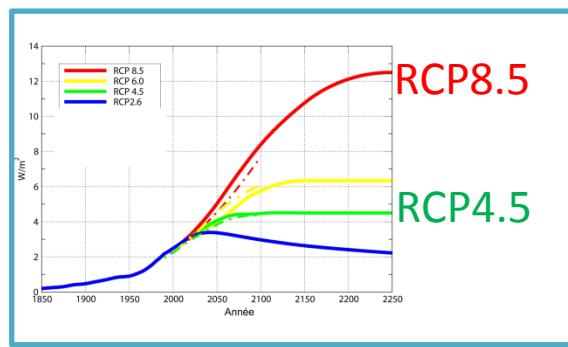
Europe
(11 km x 11 km)
Précip & Temp



1 jeu de réanalyses **MESAN**
1989-2010

12 jeux de projections **BCCORDEX**
4 GCM – 5 RCM – 2 RCP
Corrigées du biais MESAN
1951-2100

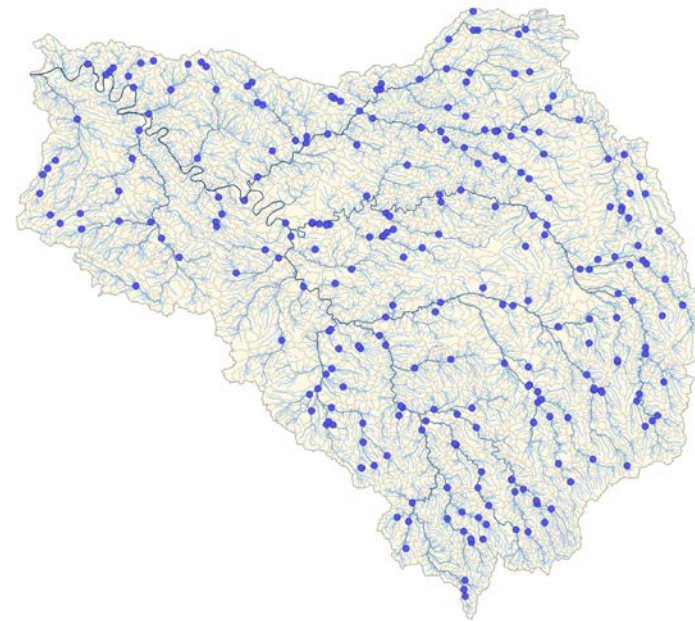
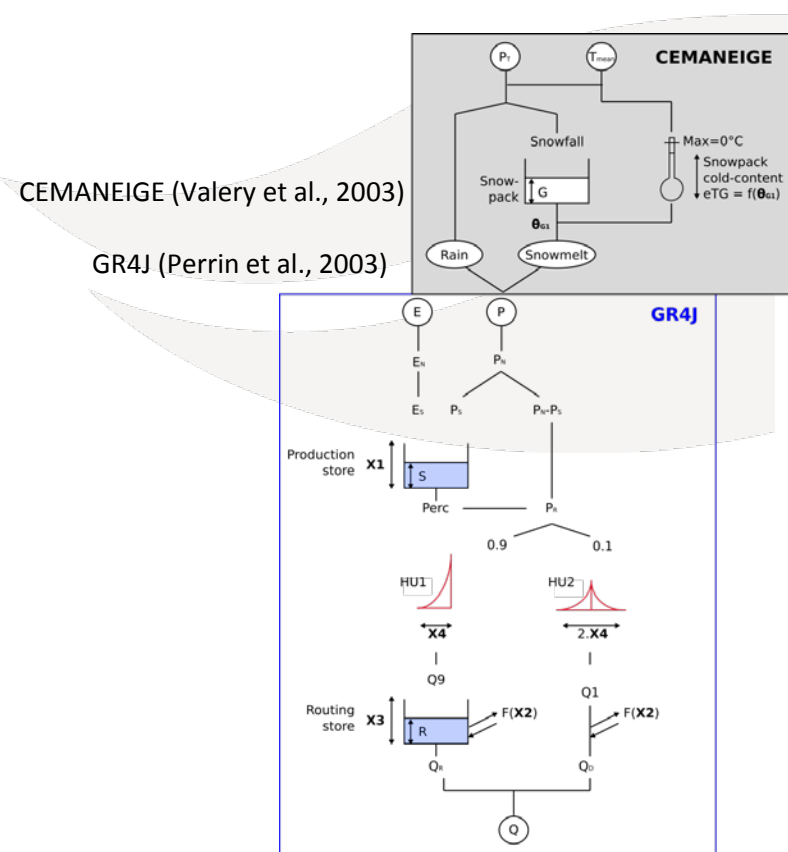
(Raimonet et al, 2017 JHM)



➔ Set de 12 possibilités

1 | Les données climat et la modélisation

- Modélisation hydrologique régionalisée semi-distribuée
 - Résolution spatiale : 5793 unités de $\sim 10\text{km}^2$
 - Calage du modèle GR4J/Cemaneige sur les ~ 300 bassins jaugés
 - Régionalisation des paramètres et calcul d'écoulements.

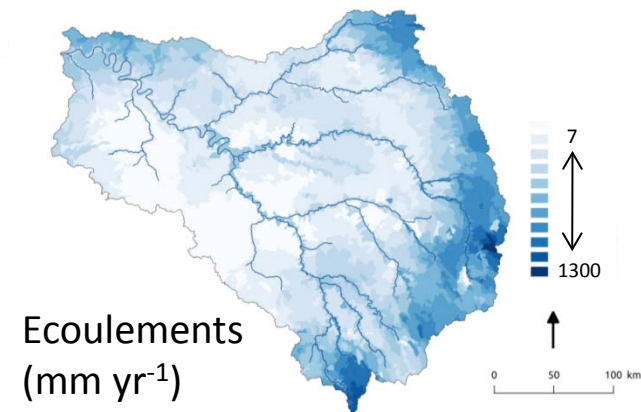
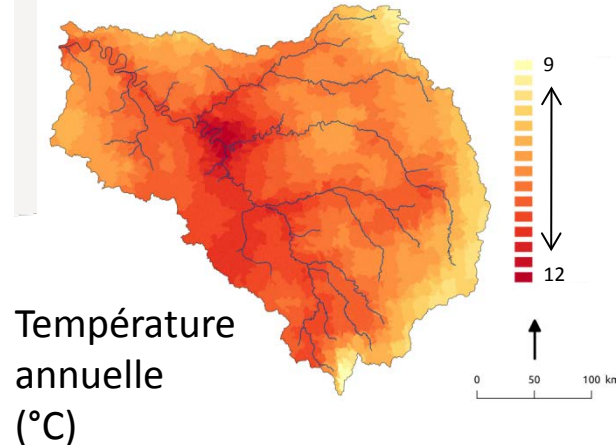
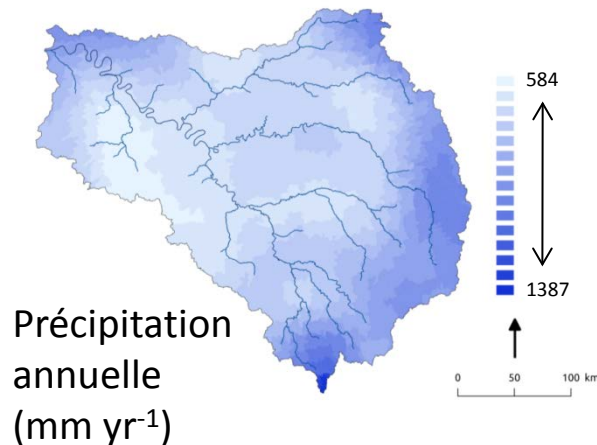


Bassin de la Seine – $75\,000\text{ km}^2$

5793 unités – 300 stations de débits sélectionnées

1 | Les données **climat** et la **modélisation**

- Modélisation hydrologique régionalisée semi-distribuée
 - Résolution spatiale : 5793 unités de $\sim 10\text{km}^2$
 - Calage du modèle GR4J/Cemaneige sur les ~ 300 bassins jaugés
 - Régionalisation des paramètres et calcul d'écoulements.
 - Pour chaque unité, soustraction des écoulements reçus en amont de l'unité à l'écoulement du bassin amont auquel appartient l'unité

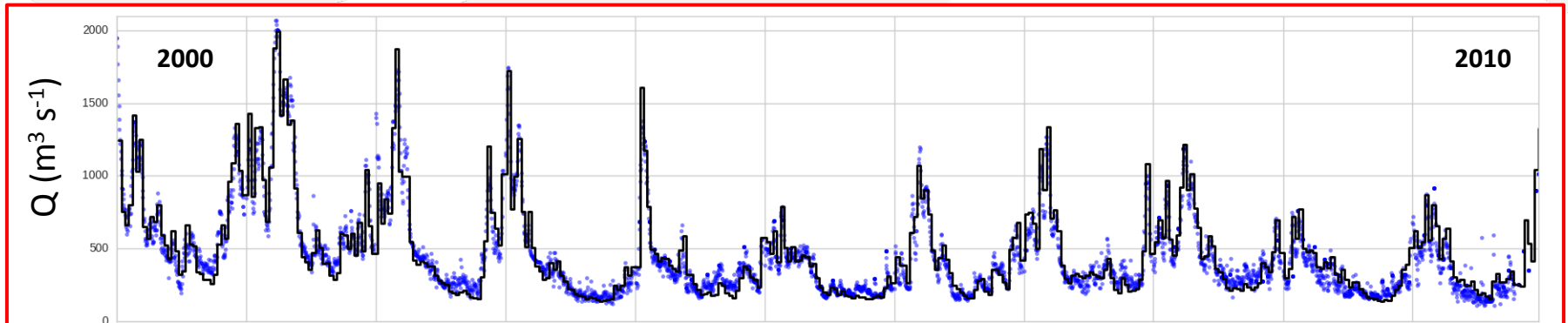


Ex : Ré-analyses MESAN (11 km x 11 km) – période 2000-2010

1 | Les données **climat** et la **modélisation**



- Modélisation hydrologique régionalisée semi-distribuée
 - Résolution spatiale : 5793 unités de $\sim 10\text{km}^2$
 - Calage du modèle GR4J/Cemaneige sur les ~ 300 bassins jaugés
 - Régionalisation des paramètres et calcul d'écoulements.
 - Pour chaque unité, soustraction des écoulements reçus en amont de l'unité à l'écoulement du bassin amont auquel appartient l'unité

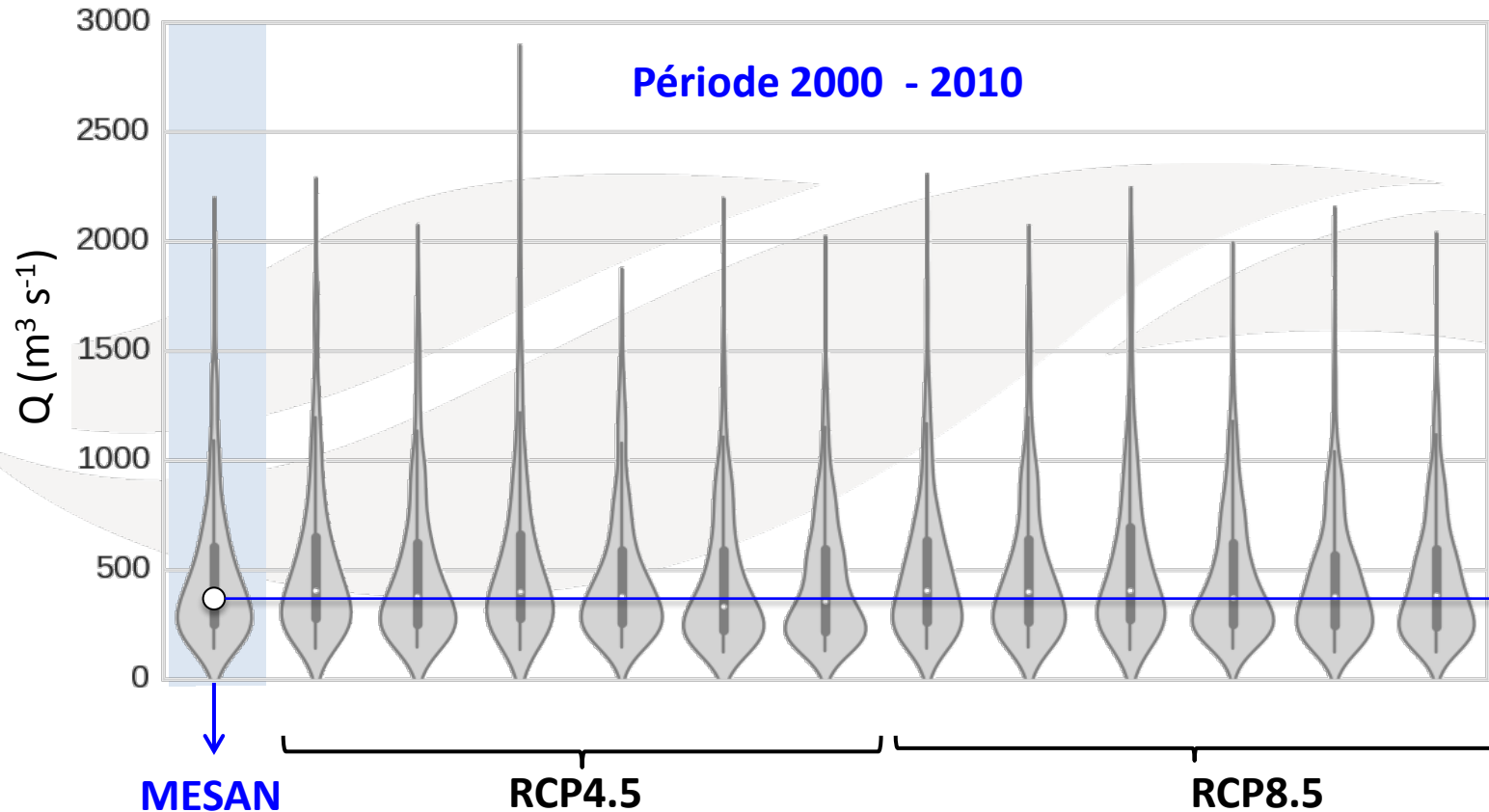


Ex : Ré-analyses MESAN (11 km x 11 km) – période 2000-2010 - **simulation à Poses**





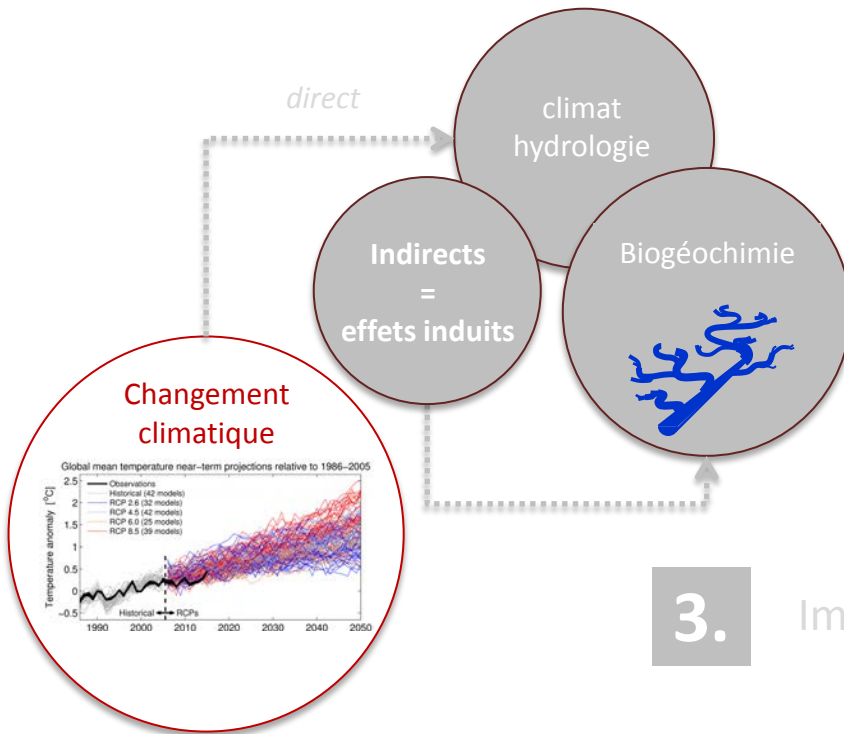
- Ré-analyses et projections climatiques s'accordent-elles sur le passé ?



- Cohérence entre les sorties de modèle pour les différents RCP
- Bonne capacité à reproduire les débits passés



1. Les données climat et la modélisation

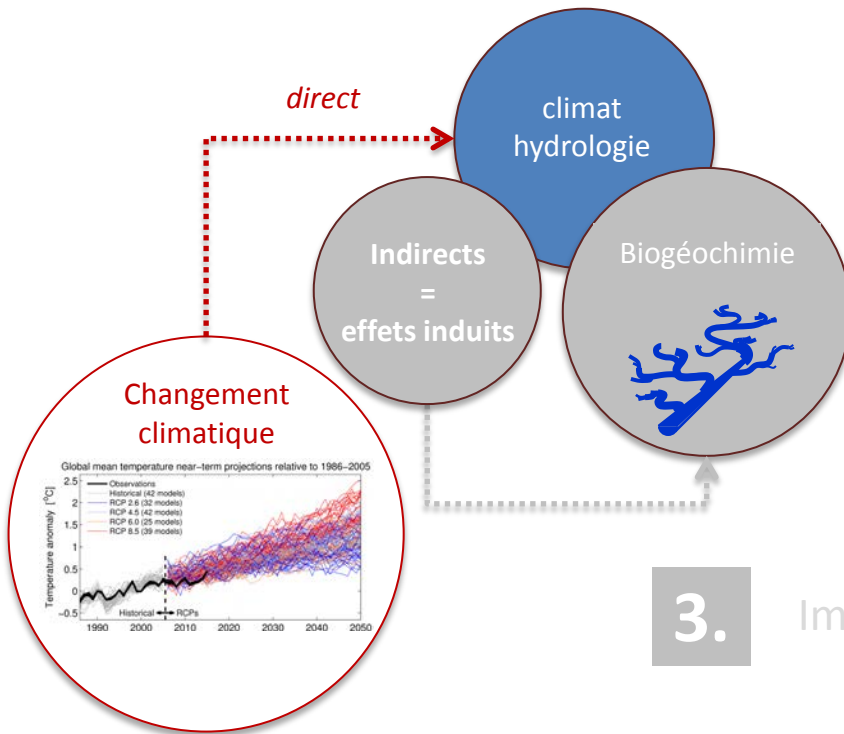


2. Impacts directs sur l'hydrologie

3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique



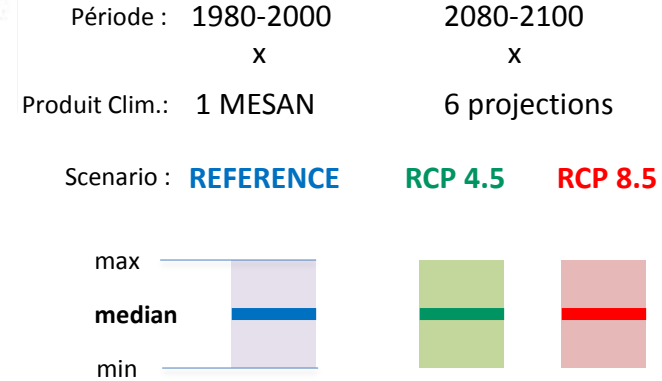
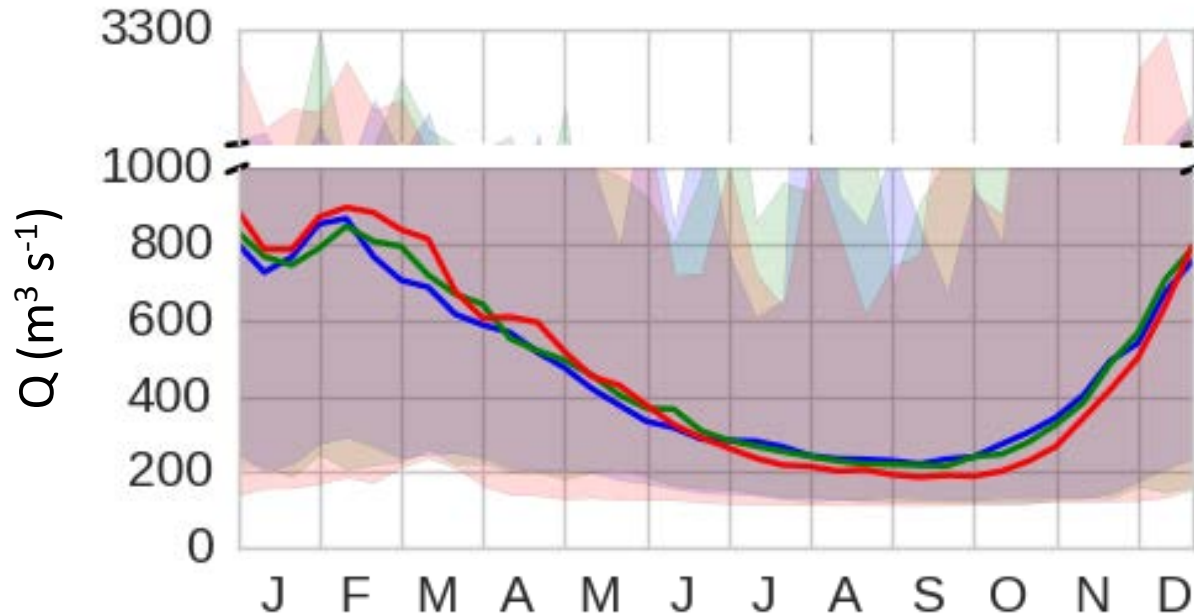
1. Les données climat et la modélisation



2. Impacts directs sur l'hydrologie

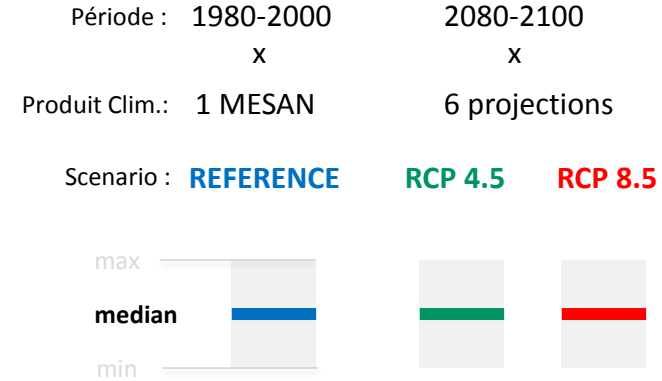
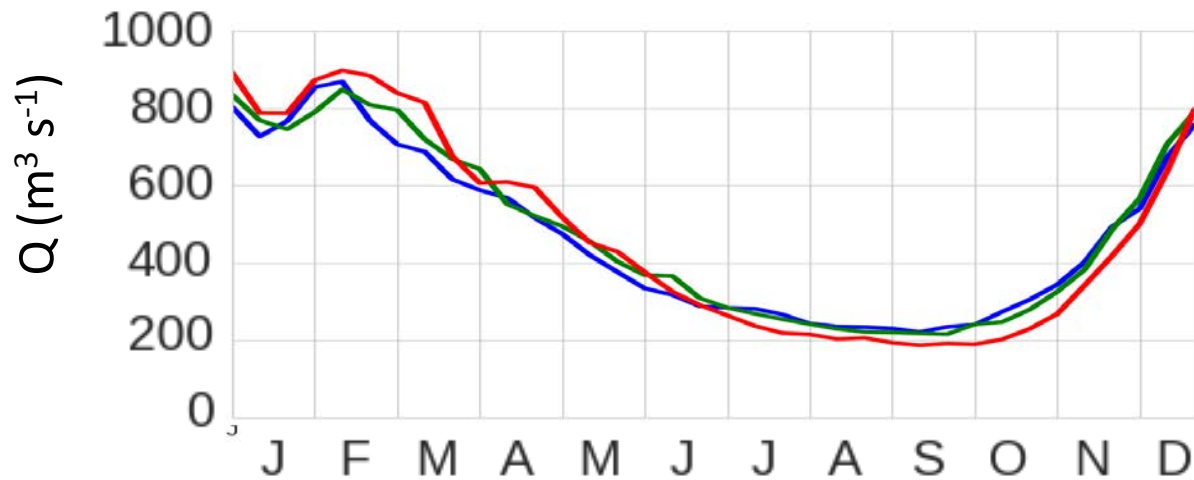
3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique

2 | Impacts directs du CC sur les régimes hydrologiques



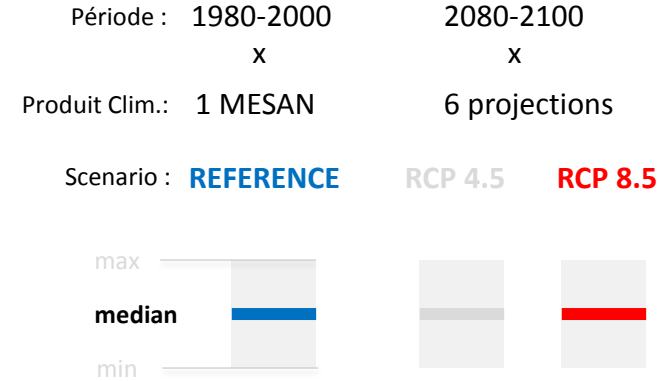
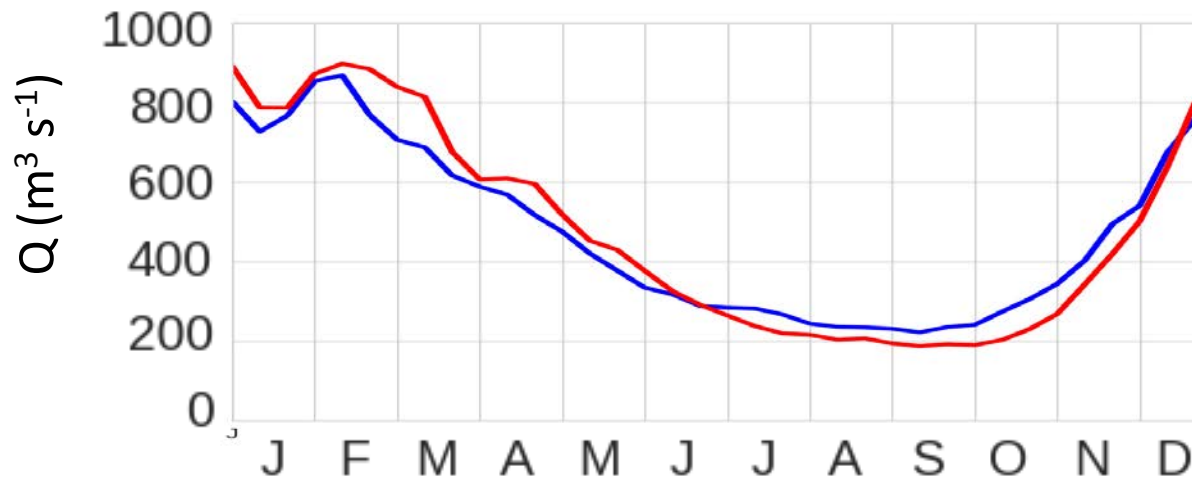
- Augmentation des extrêmes (débits max)
- Diminution des valeurs minimales de débits annuels moyens et étiages, moins marquée que dans les projets Rexhyss et Explore 2070.

2 | Impacts directs du CC sur les régimes hydrologiques



- Peu de changement de régime hydrologique avec RCP4.5

2 | Impacts directs du CC sur les régimes hydrologiques

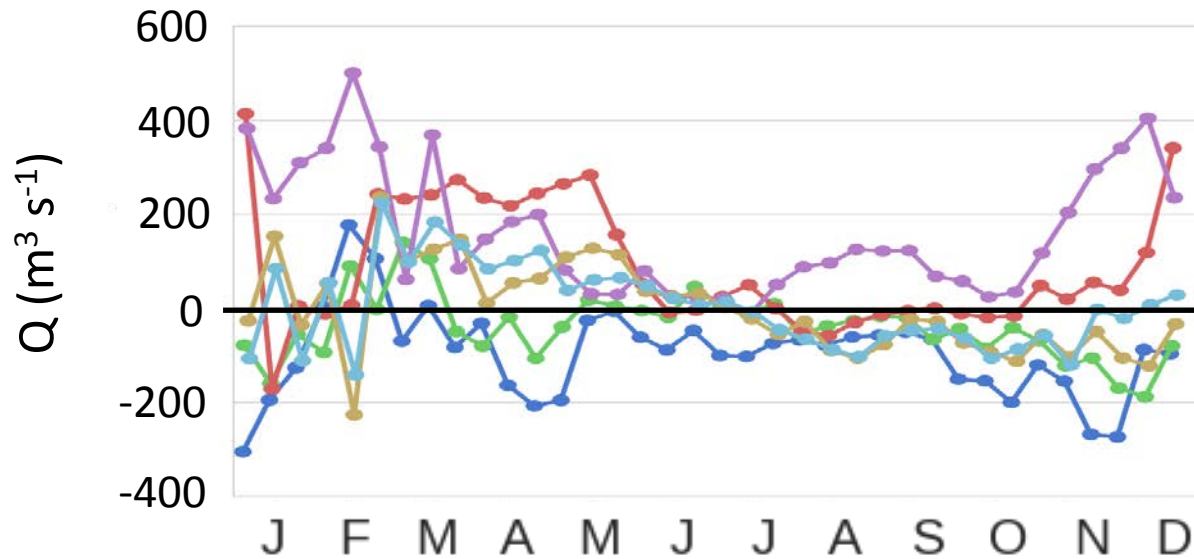


- Peu de changement de régime hydrologique avec RCP4.5
- Augmentation en hiver et diminution de débit en été/automne avec RCP8.5

2 | Impacts directs du CC sur les régimes hydrologiques



(RCP 8.5 - REFERENCE)

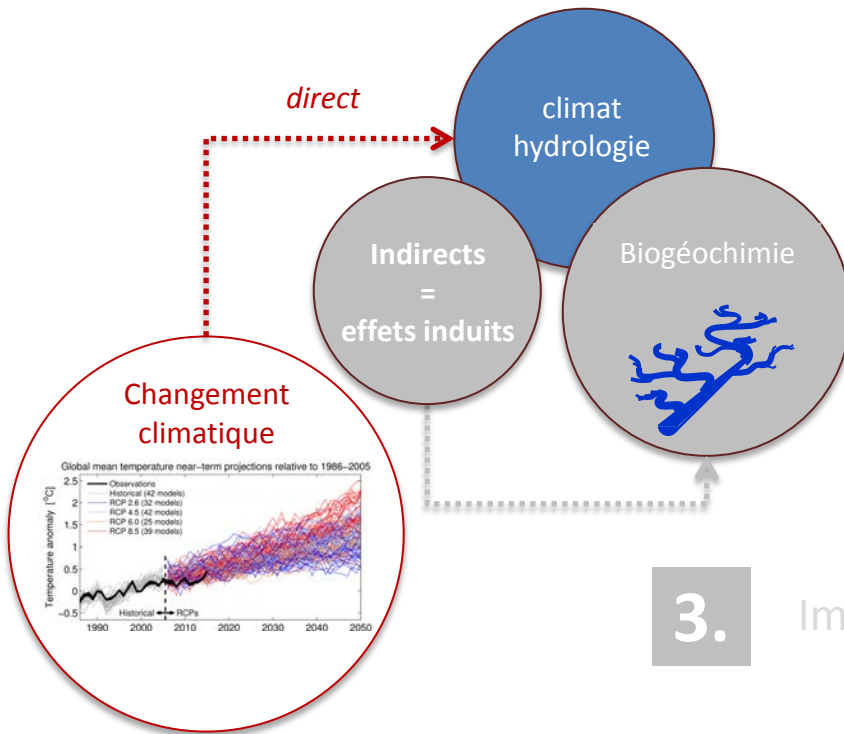


6 projections :

- bccordex_ichec85_clmcom
- bccordex_ichec85_dmi
- bccordex_ichec85_knmi
- bccordex_ipsl85
- bccordex_mpi85_clmcom
- bccordex_mpi85_mpi

- Grande variabilité selon la projection utilisée
 - Augmentation de débit en hiver et/ou printemps (toutes les projections)
 - Diminution des débits d'été (5 projections sur 6)
- ⇒ Changements de régimes hydrologiques avec **RCP8.5** liés à l'augmentation de température et les changements (+, neutre ou -) de précipitation

1. Les données climat et la modélisation

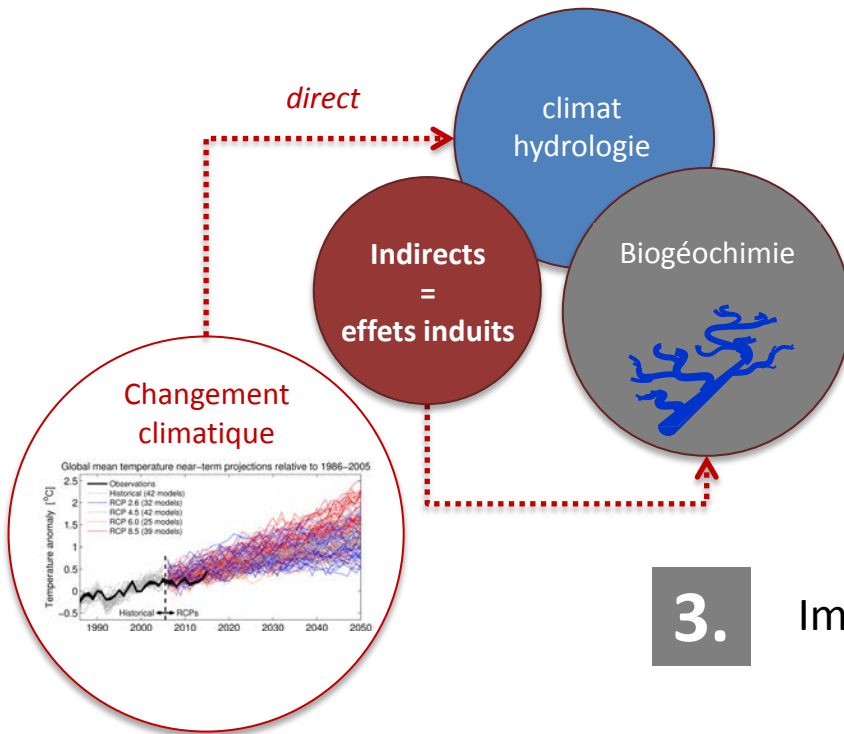


2. Impacts directs sur l'hydrologie

3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique



1. Les données climat et la modélisation



2. Impacts directs sur l'hydrologie

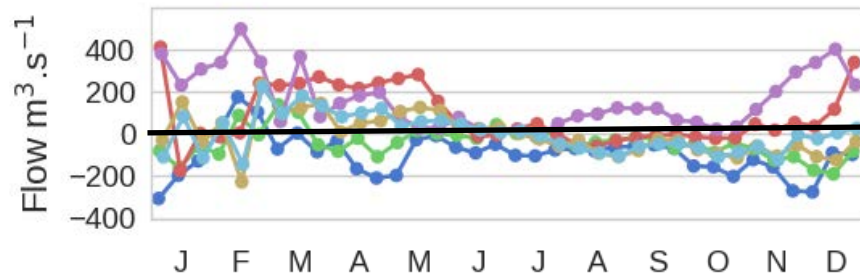
3. Impacts indirects sur la biogéochimie aquatique



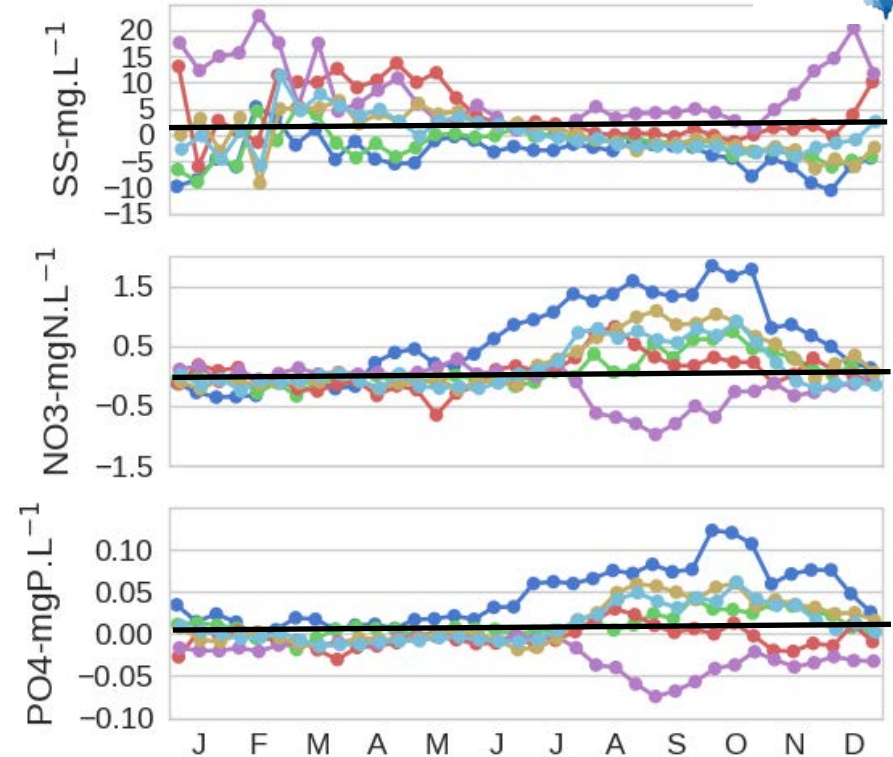
3 | Impacts indirects sur la biogéochimie continentale



(RCP 8.5 - REFERENCE)



- bccordex_ichec85_clmcom
- bccordex_ichec85_dmi
- bccordex_ichec85_knmi
- bccordex_ipsl85
- bccordex_mpi85_clmcom
- bccordex_mpi85_mpi



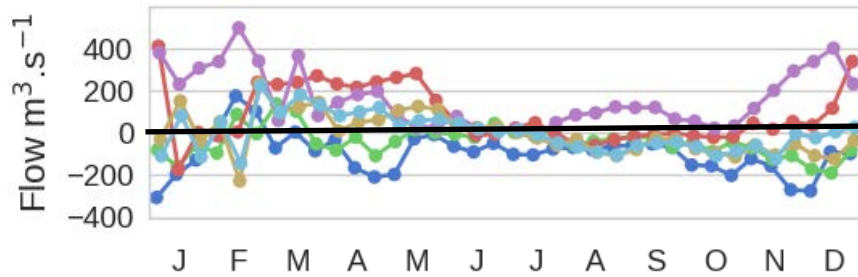
- Variations de MES associées aux variations de débit
- Augmentations de NO3, PO4 pendant basses eaux (été/automne)



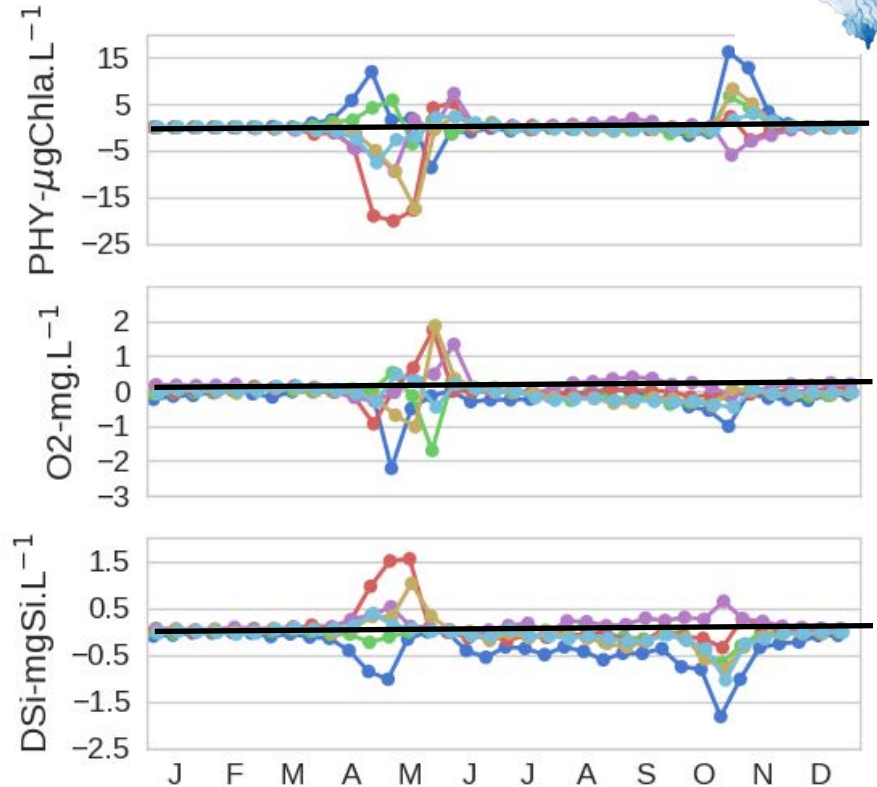
3 | Impacts indirects sur la biogéochimie continentale



(RCP 8.5 - REFERENCE)



- bccordex_ichec85_clmcom
- bccordex_ichec85_dmi
- bccordex_ichec85_knmi
- bccordex_ipsl85
- bccordex_mpi85_clmcom
- bccordex_mpi85_mpi



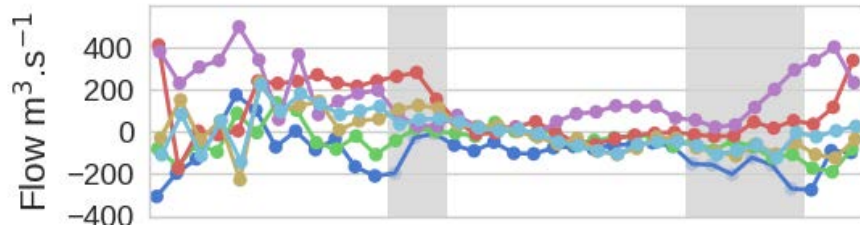
- Modification d'intensité et de temporalité des blooms phytoplanktoniques
- Concomitance avec les variations d'oxygène et DSi



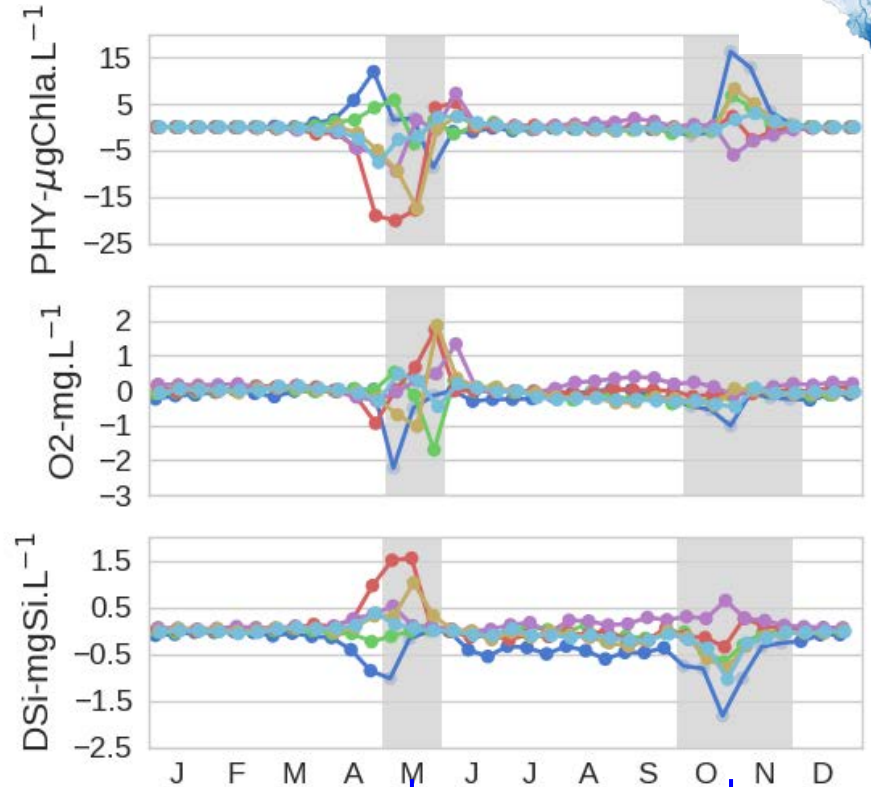
3 | Impacts indirects sur la biogéochimie continentale



(RCP 8.5 - REFERENCE)



- bccordex_ichec85_clmcom
- bccordex_ichec85_dmi
- bccordex_ichec85_knmi
- bccordex_ipsl85
- bccordex_mpi85_clmcom
- bccordex_mpi85_mpi



Mai

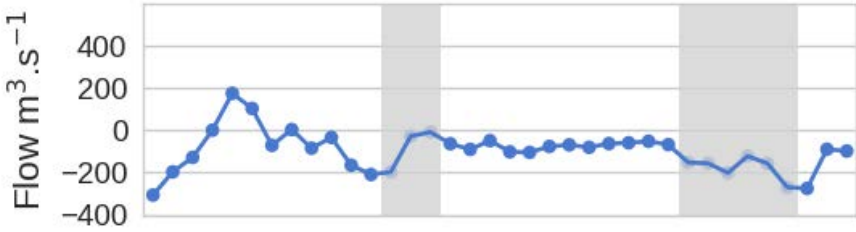
Oct. – Nov.

- Sélection de 2 périodes à analyser

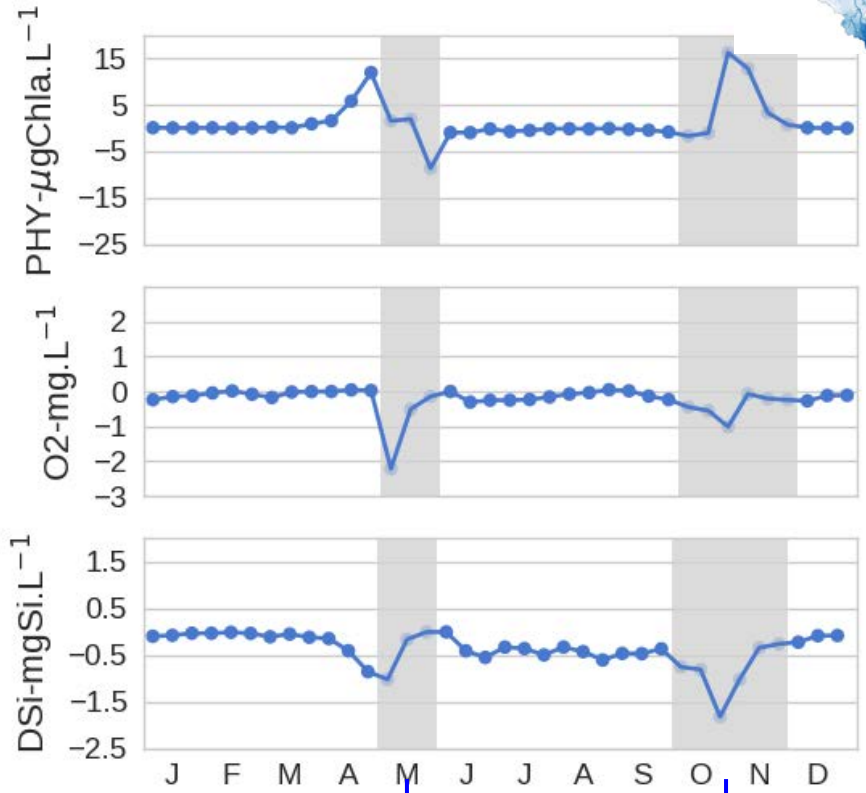
3 | Impacts indirects sur la biogéochimie continentale



(RCP 8.5 - REFERENCE)



- bccordex_ichec85_clmcom
- bccordex_ichec85_dmi
- bccordex_ichec85_knmi
- bccordex_ipsl85
- bccordex_mpi85_clmcom
- bccordex_mpi85_mpi



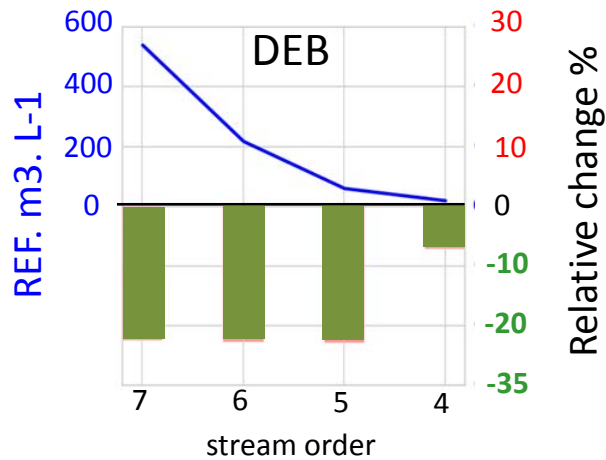
Mai



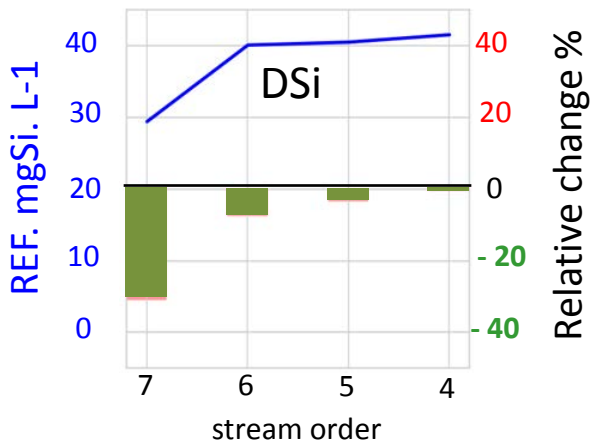
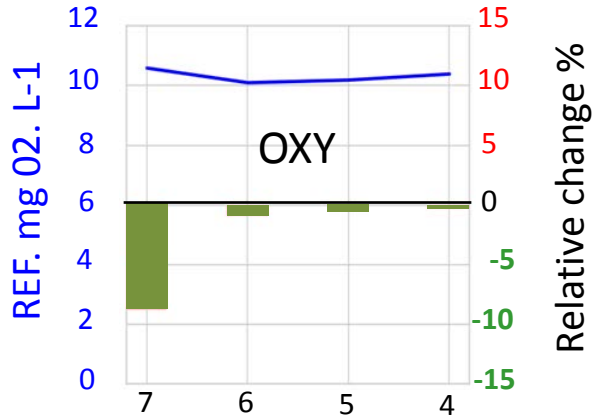
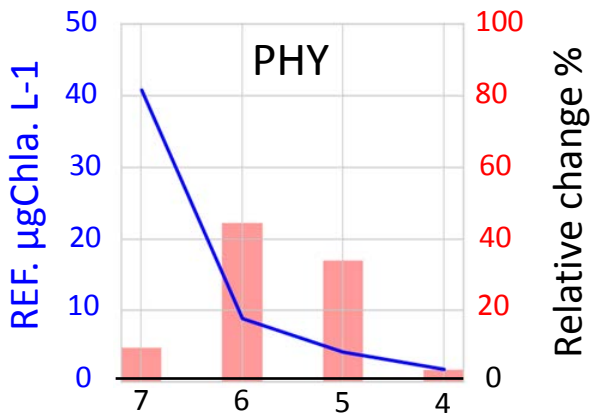
Oct. - Nov.

- Sélection de 2 périodes à analyser
- Sélection de la projection avec plus forte diminution de débit

1 Projection
ichec85_clmcom
 1 Période (avg 20 yrs)
Mai

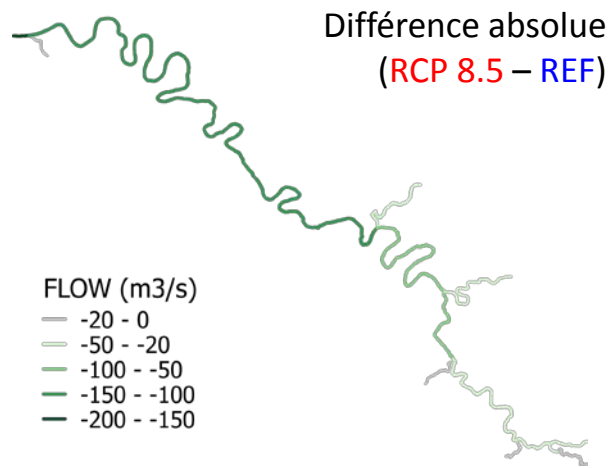


- Forte diminution de débit (~-20 %), en particulier dans les ordres ≥ 5

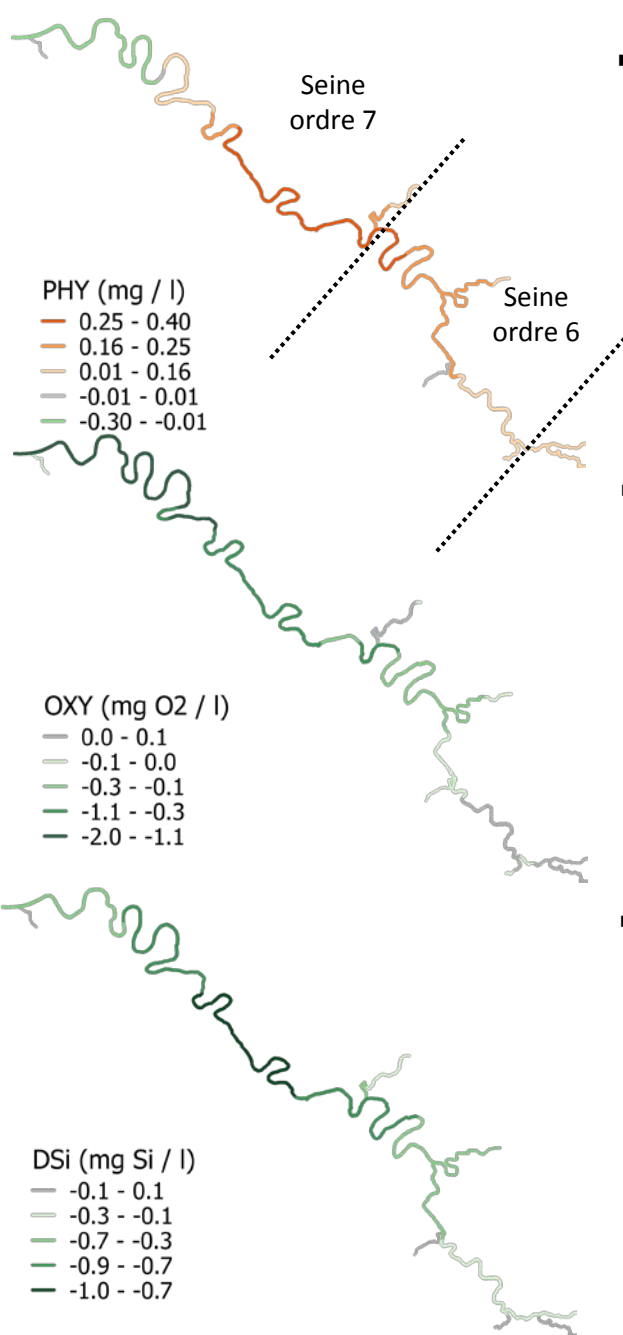


- Augmentation des blooms (+10 à +42%)
- Diminutions associées de l'oxygène (-8%) , SO = 7
- Diminutions associées de la Silice dissoute (-30 %), SO = 7

1 Projection
ichec85_clmcom
 1 Période (avg 20 yrs)
Mai



- Forte diminution de débit (~-20 %), en particulier dans les ordres ≥ 5



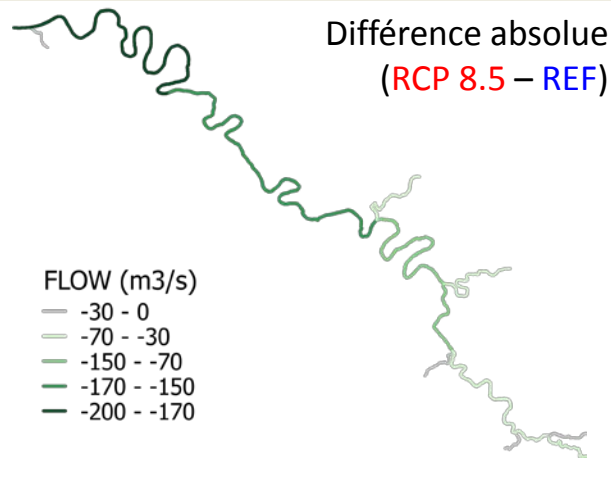
- Augmentation des blooms (+10 à +42%)
- Diminutions associées de l'oxygène (-8%) , SO = 7
- Diminutions associées de la Silice dissoute (-30 %), SO = 7

1 Projection

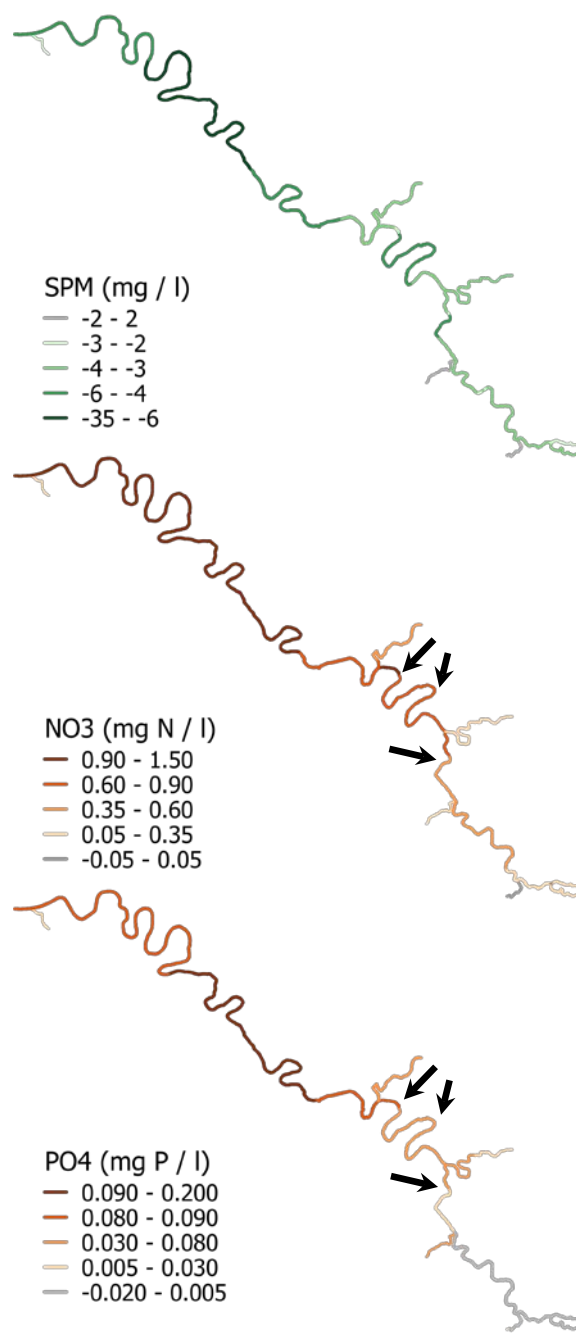
ichec85_clmcom

1 Période (avg 20 yrs)

Octobre- Novembre

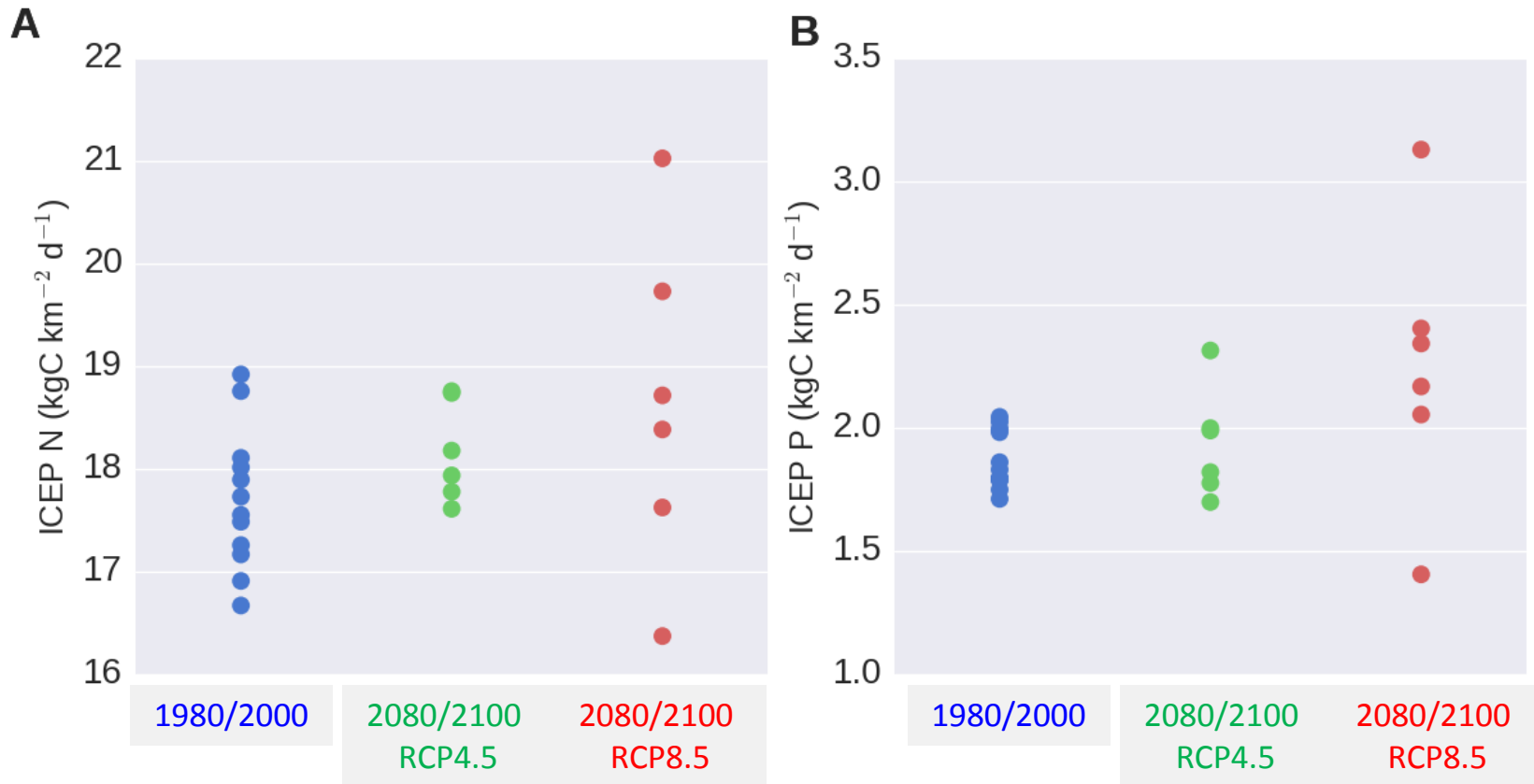


- Forte diminution de débit (-40% à -45 %) quelque soit l'ordre



- Diminution des matières en suspension (-30 à -50%)
- Augmentation de NO3 (+19%), SO = 7
- Augmentation de PO4 (+45%), SO = 7

3 | Impacts indirects sur la biogéochimie continentale



- Possible increase of coastal eutrophication potential (Billen et Garnier 2007) in 2080/2100 compared to 1980/2000 with **RCP8.5**
- ⇒ Nutrient enrichment of the coastal zone and potential impacts on algal blooms

Bilan de l'exploration des effets induits du CC

- Peu de modifications des propriétés hydrologiques et biogéochimiques avec le scénario **RCP4.5** (stabilisation des émissions de CO₂)
- Augmentation des extrêmes hydrologiques et dégradation de la qualité de l'eau fluviale avec le scénario **RCP8.5** (augmentation des émissions de CO₂)
- Effets induits sur la biogéochimie plus importants lors des fortes diminutions de débit.
- Concentration des impacts du CC dans les ordres supérieurs à 4 et particulièrement en aval de l'agglomération parisienne.
- Augmentation du potentiel d'eutrophisation côtière avec **RCP8.5**



- Intérêt d'une actualisation permanente des évaluations « qualité de l'eau » dans la dynamique des nouvelles expériences CMIP
=> accords encore très relatifs des modèles de CC sur l'évolution des débits futurs
- Intérêt d'une modélisation biogéochimique basée sur une description fine des processus opérant dans les hydrosystèmes
=> comprendre les impacts au travers de l'exploration des processus simulés
- Développement d'une chaîne hydro-biogéochimique générique applicable au-delà des limites du bassin de la Seine
=> compatible avec des exercices de prospective grande échelle



⇒ *replacer le fonctionnement de la Seine au côté d'autres grands hydrosystèmes européens*

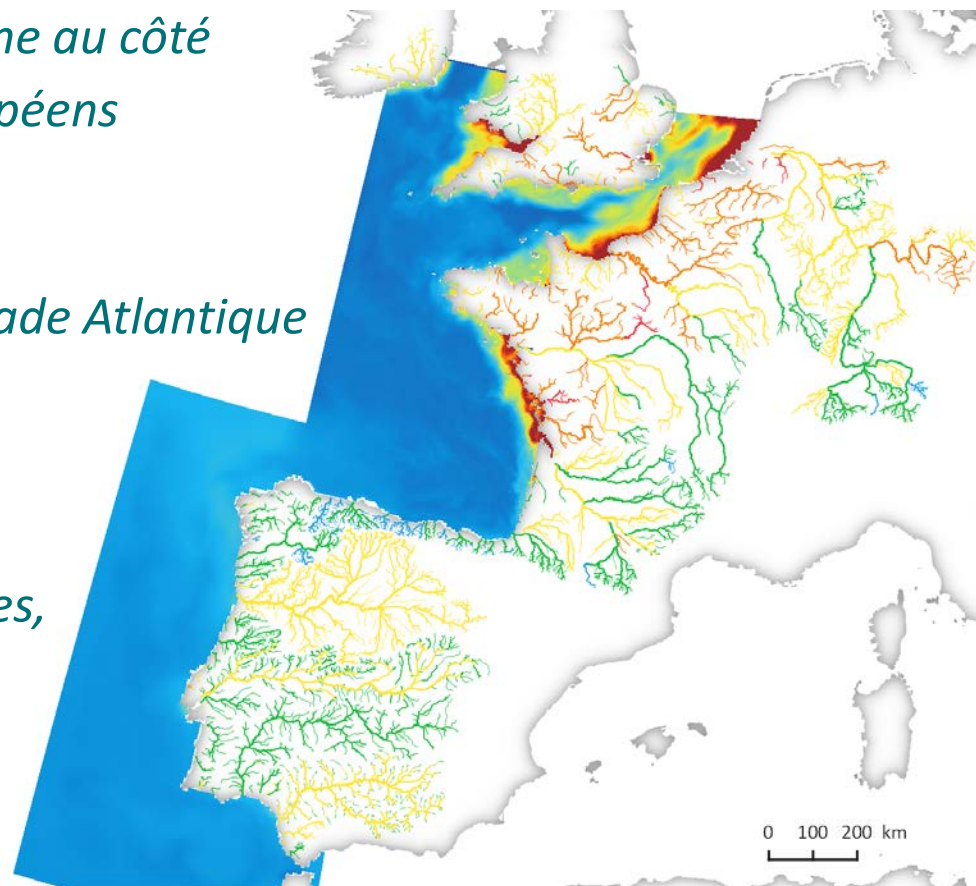
(1 papier in prep. JEMS)

⇒ *Impact sur l'eutrophisation de la façade Atlantique Nord-Est*

(1 papier in prep. STOTEN)

⇒ *Intégration des interfaces estuariennes, couplage avec le modèle C-GEMS*

(1 post doctorat labex L-IPSL)



Merci de votre attention

