



## ➤ Évaluation de l'impact du changement climatique et de l'adaptation avec des outils de modélisation hydrologiques libres

**Guillaume THIREL<sup>1</sup>, David DORCHIES<sup>2</sup>, Olivier DELAIGUE<sup>1</sup>, Laura NUNEZ TORRES<sup>1</sup>, Diyae ELMALKI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, INRAE, HYCAR research unit, Hydrology Research Group, Antony, France

<sup>2</sup> G-EAU, Univ Montpellier, AgroParisTech, BRGM, CIRAD, IRD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

[guillaume.thirel@inrae.fr](mailto:guillaume.thirel@inrae.fr)

## > Contexte

L'adaptation au changement climatique plus que jamais dans les agendas, en France, notamment dans le domaine de l'eau

Élaboration de :

- Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (12 SDAGE en France)
- Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (62 SAGE en France)
- Plans territoriaux de gestion de l'eau (PTGE)
- Plans régionaux d'adaptation

Nombreuses études d'impact du changement climatique sur l'hydrologie :

- Explore2070 au niveau national (Chauveau et al., 2013)
- MOSARH21 et CHIMERE21 sur la région Grand-Est (Thirel et al., 2019, 2021)
- Explore2 en cours au niveau national

## > Contexte

Besoin d'outils faciles à mettre en œuvre sur les territoires

L'adaptation au changement climatique doit se décliner au niveau local

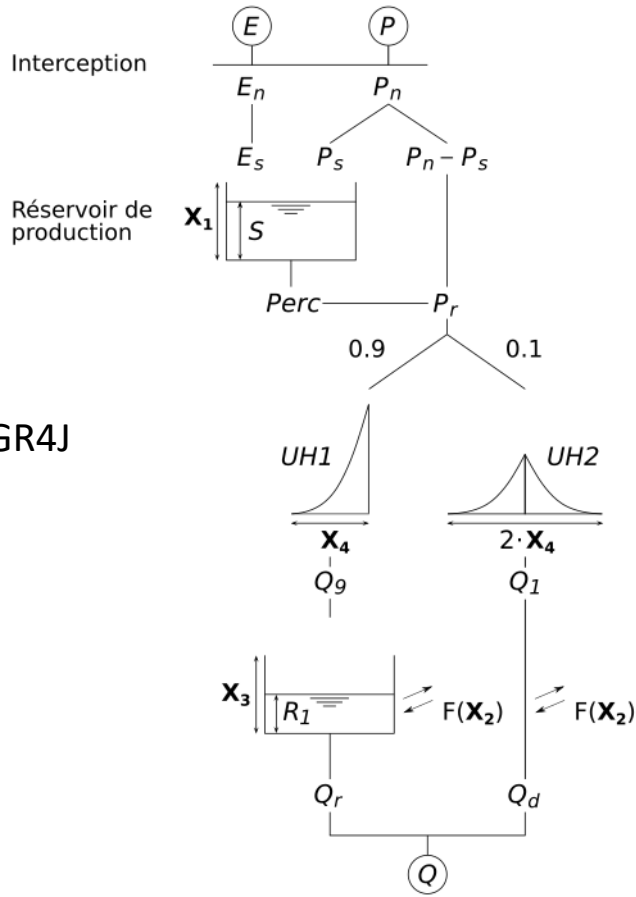
Besoin d'outils faciles à mettre en œuvre par les gestionnaires / les bureaux d'étude, car les scientifiques ne peuvent pas répondre à toutes les demandes

Nombreux outils existent déjà (e.g. WEAP, MIKE HYDRO Basin)

- peu d'entre eux sont présentés sous forme de codes ouverts
- peu sont parcimonieux dans leur approche (i.e. données d'entrée nécessaires limitées)

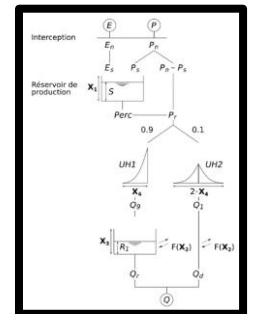
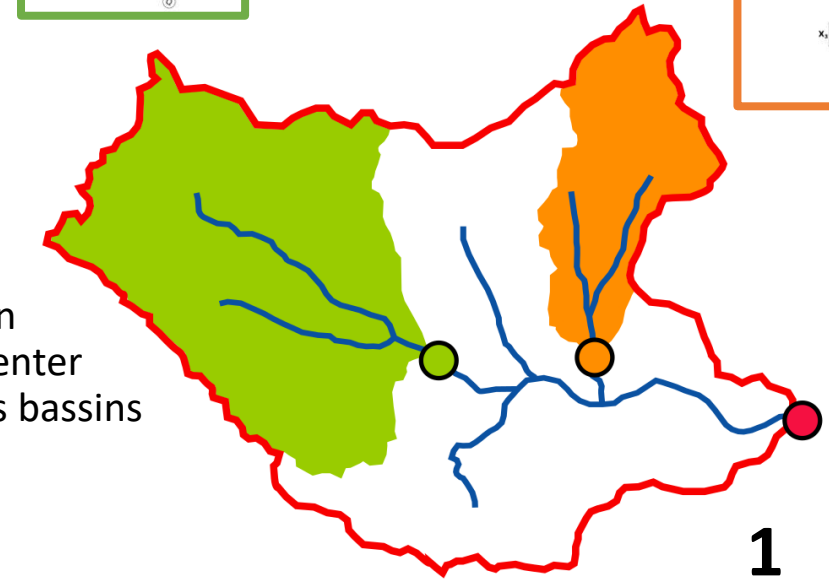
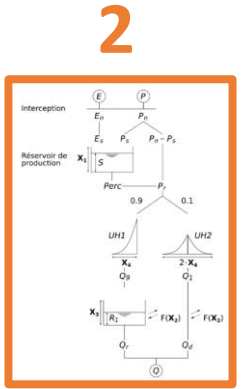
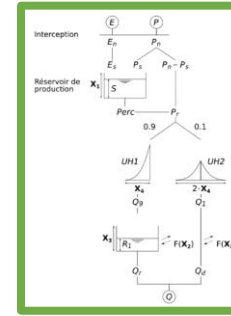
# ➤ La modélisation hydrologique

Représentation de la relation entre pluie et débit



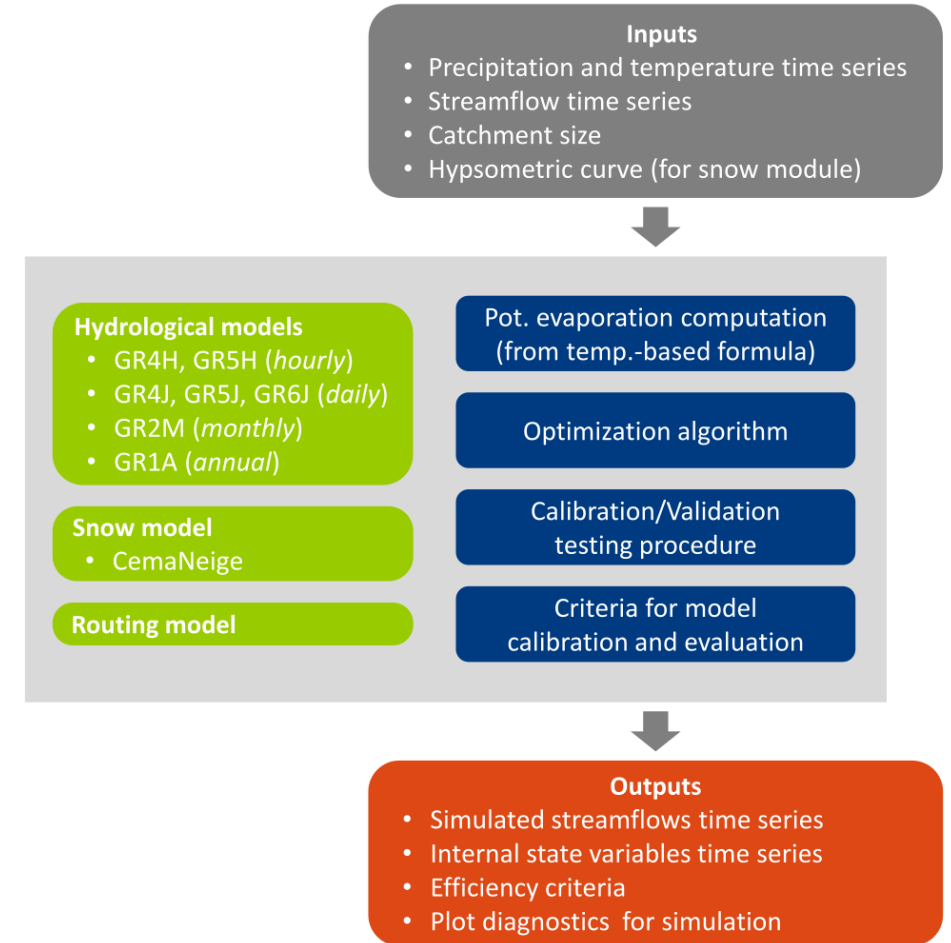
Un modèle pluie-débit : GR4J

La semi-distribution pour mieux représenter l'hétérogénéité des bassins



## > airGR

Un package R pour modéliser les débits dans les rivières



## ➤ Le bassin versant de la Seine

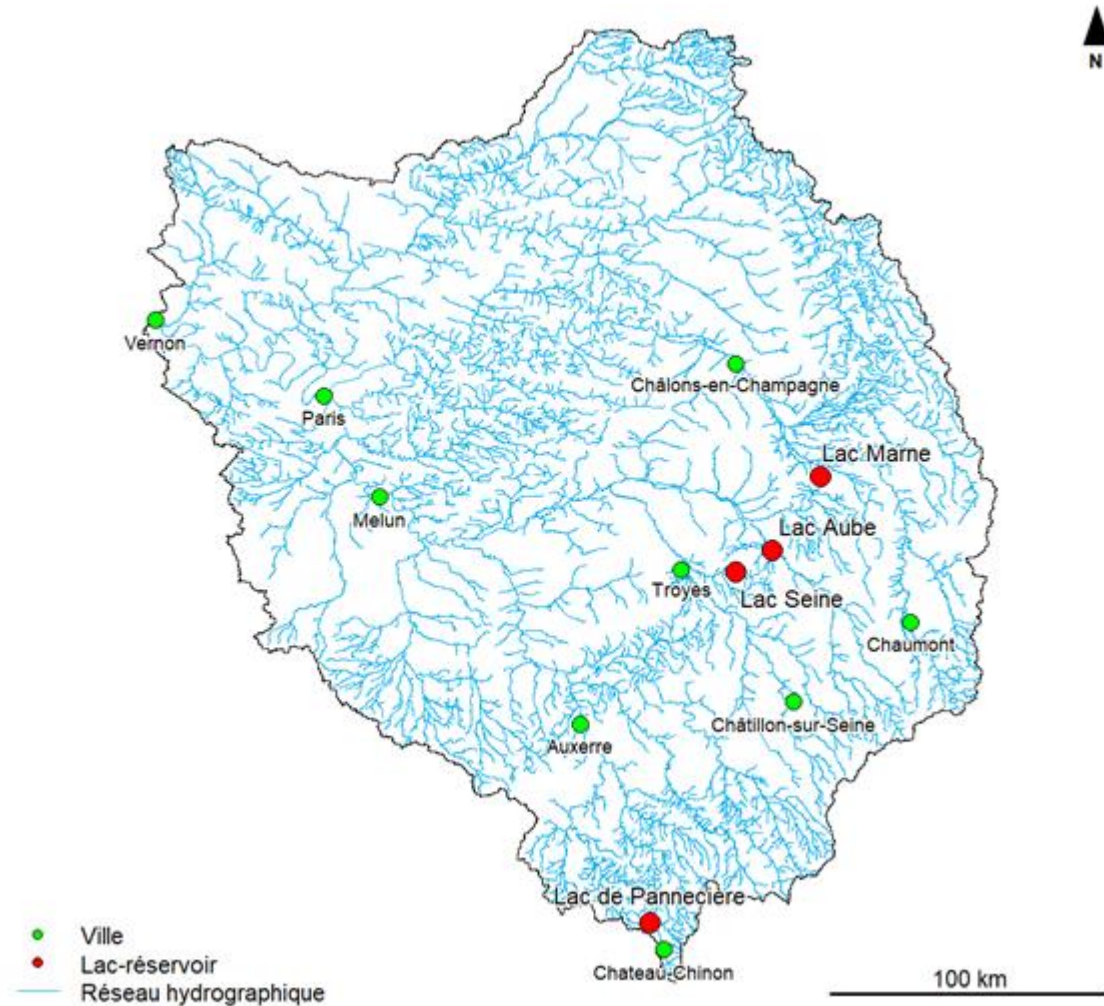
64 420 km<sup>2</sup>

Régime pluvial océanique

18 millions d'habitants

Pressions anthropiques fortes sur l'eau :  
irrigation, alimentation en eau potable, navigation

Mais surtout :  
4 lacs-réservoirs, totalisant 807,5 Mm<sup>3</sup>, ayant pour  
but de limiter les crues et de soutenir les étiages



## ➤ Les données

Données observées :

- SAFRAN de Météo-France (Vidal et al., 2010) : la précipitation et la température de l'air, disponibles au pas de temps journalier sur une grille de 8 x 8 km
- Données hydrologiques de débits mesurés au pas de temps journalier, issus de la Banque HYDRO (Leleu et al., 2014), complétées par des stations gérées par l'EPTB Seine Grands Lacs
- Données de débits de prise et de restitution de chaque lac au pas de temps journalier, fournies par l'EPTB Seine Grands Lacs

Projections climatiques :

- Jeu de données climatiques DRIAS 2020 (liste restreinte de cinq projections identifiées par Météo-France) pour le RCP 8.5

## ➤ airGRiwrn



Une discrétisation fine du bassin versant

143 stations de jaugeage

Les 4 lacs-réservoirs sont intégrés via 9 points d'injection des prises et restitutions d'eau

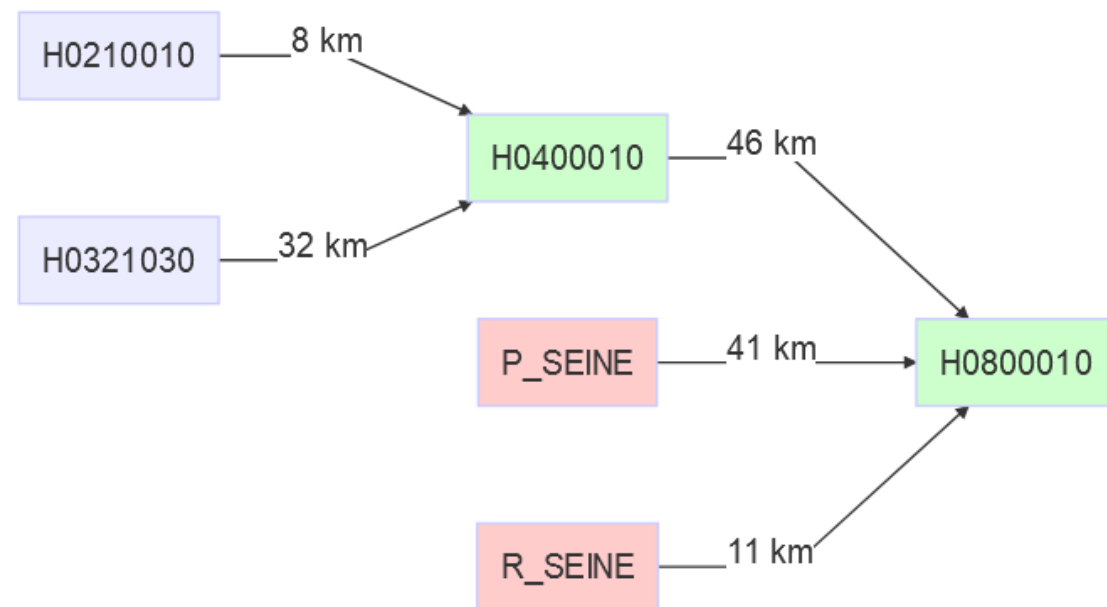
```
network
##      id      area      name      down length      model
## 1 H0800010 3499.50 La Seine [totale] à Troyes      <NA>      NA RunModel_GR4J
## 2 H0400010 2340.37 La Seine à Bar-sur-Seine H0800010 45.81 RunModel_GR4J
## 3 H0210010 1462.66 La Seine à Polisy H0400010 7.86 RunModel_GR4J
## 4 H0321030 548.93 L'Ource à Autricourt H0400010 32.34 RunModel_GR4J
## 5 P_SEINE NA Prise d'eau du lac Seine H0800010 41.00 <NA>
## 6 R_SEINE NA Restitution du lac Seine H0800010 11.00 <NA>
```

Passé :

les chroniques de prélèvement et restitution  
sont injectées dans le modèle pour le paramétrer

Projections :

implémentation de logiques de décision qui déterminent  
quand les prélèvements et restitutions sont réalisés



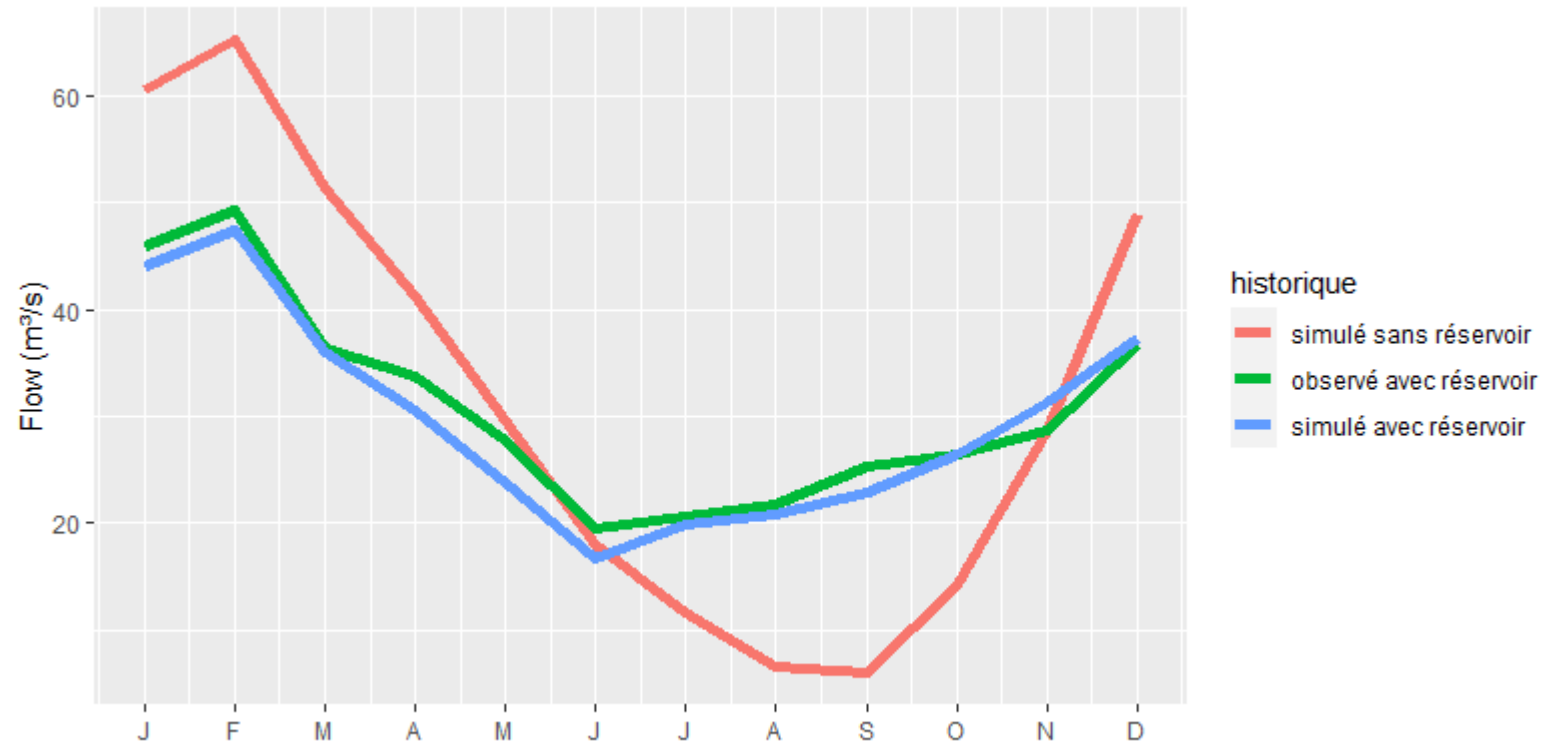


## ➤ Modélisation de la Seine sur le passé : débits naturels et anthropisés

Quel est l'impact des 4 lacs-réservoirs ?

Avec les lacs-réservoirs, on observe :

- Une forte limitation des crues
- Des étiages moins sévères

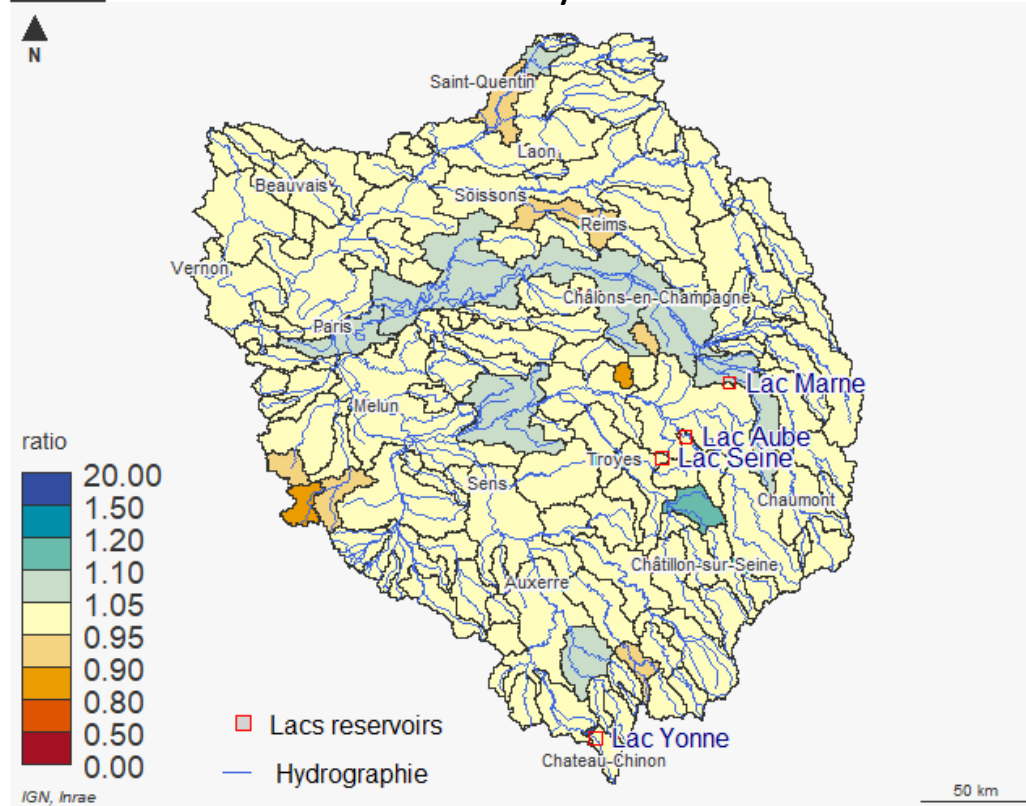


Régime hydrologique de la Seine à Troyes (1959-2019)

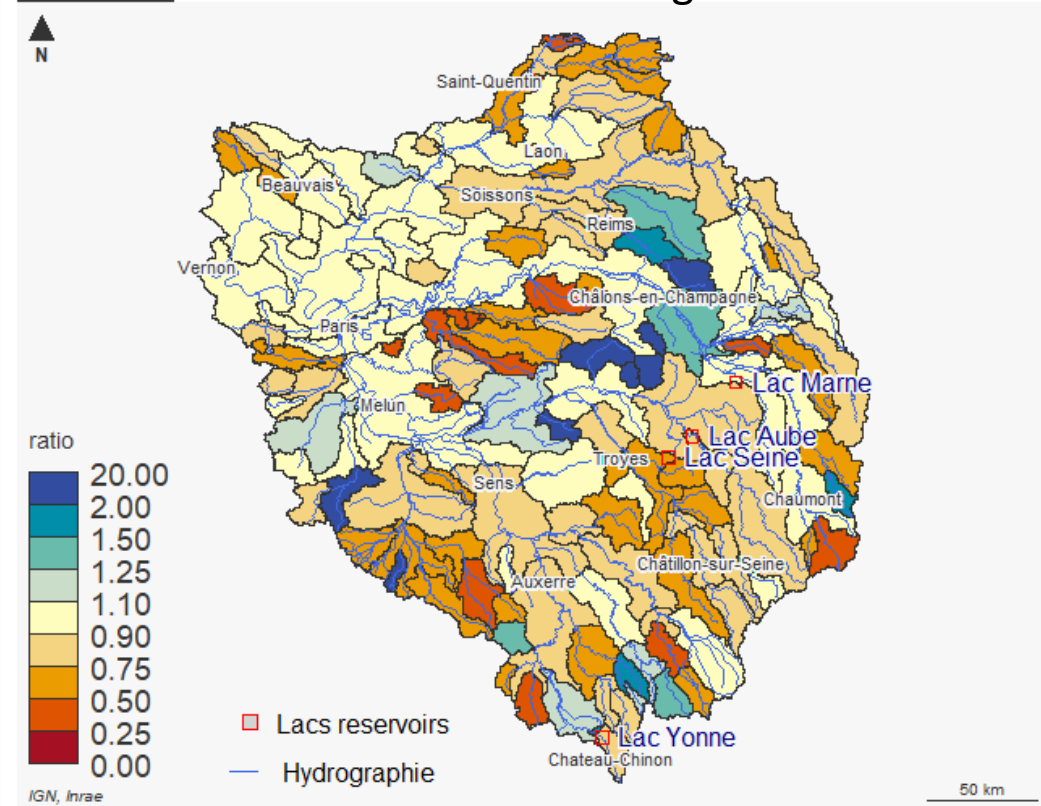
# ➤ Modélisation de la Seine sur le passé : débits anthropisés

Performance (1959-2019)

**R-QA** = Biais sur le débit moyen

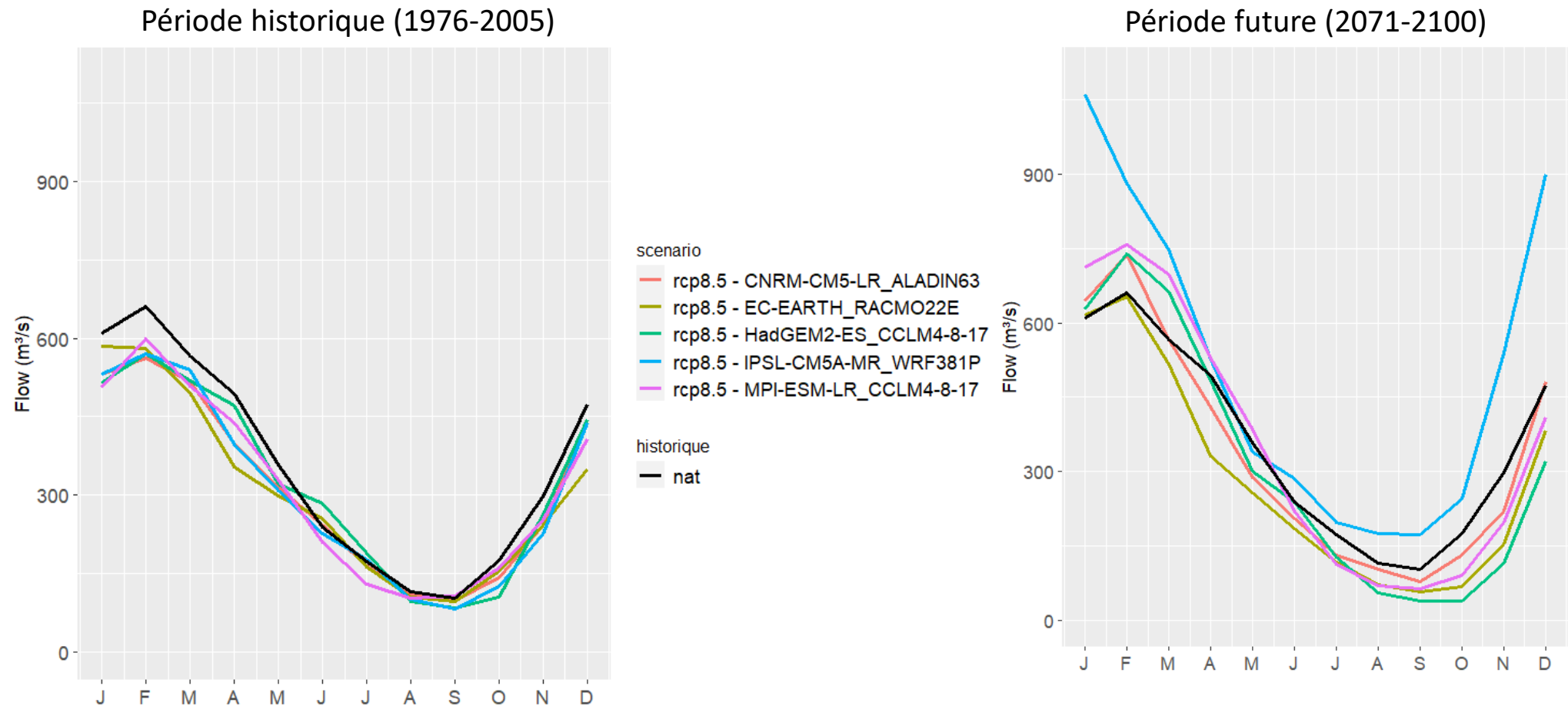


**R-QMNA5** = Biais sur le débit d'étiage



Les erreurs du modèle restent limitées

# ➤ Impact du changement climatique sur l'hydrologie naturelle

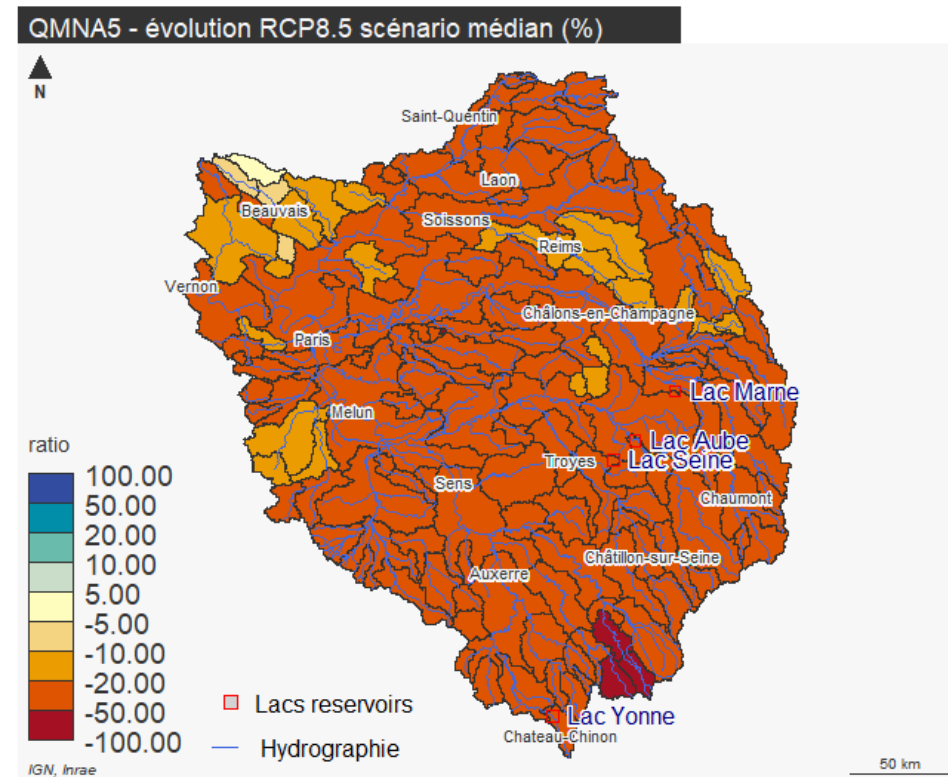
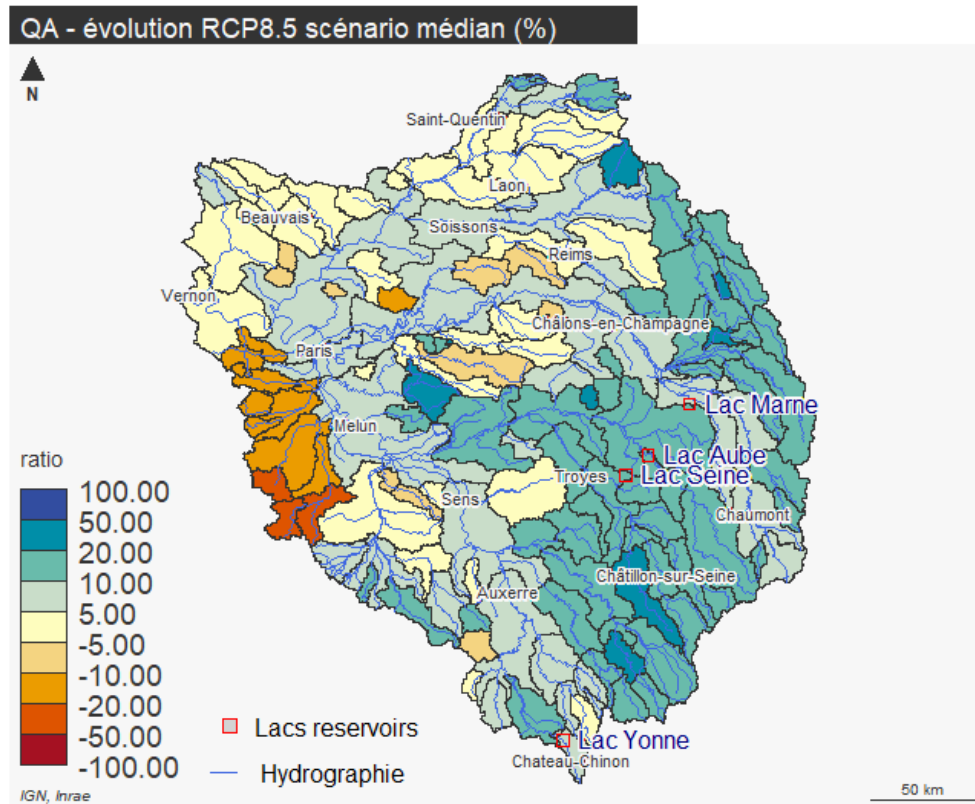


Débits historiques bien reproduits

Augmentation des débits de crue et étiages plus sévères dans le futur. Une projection sort du lot



# ➤ Impact du changement climatique sur l'hydrologie naturelle



Augmentation faible à modérée du débit moyen sur une large partie du territoire (sauf à l'ouest)

Diminution forte du débit d'étiage

## ➤ Conclusions et perspectives

airGR et airGRiwrn :

- Des outils libres et modulaires pour modéliser des débits naturels ou anthropisés
- airGR : <https://hydrogr.github.io/airGR/>, airGRiwrn : <https://airgriwrn.g-eau.fr/> pour la documentation

Des débits futurs de la Seine qui vont globalement augmenter, malgré tout les étiages seront plus sévères. Les crues seront plus intenses (non montré).

Enjeux forts sur les usages de l'eau

Perspectives :

- Ajouter d'autres usages (canaux de navigation, irrigation, eau potable, industrie...)
- Intégrer les règles de gestion des lacs-réservoirs
- Analyse de l'efficacité de stratégies d'adaptation au changement climatique
- Au niveau national, appliquer les modèles GR sur près de 4000 points de simulations (projet Explore2)

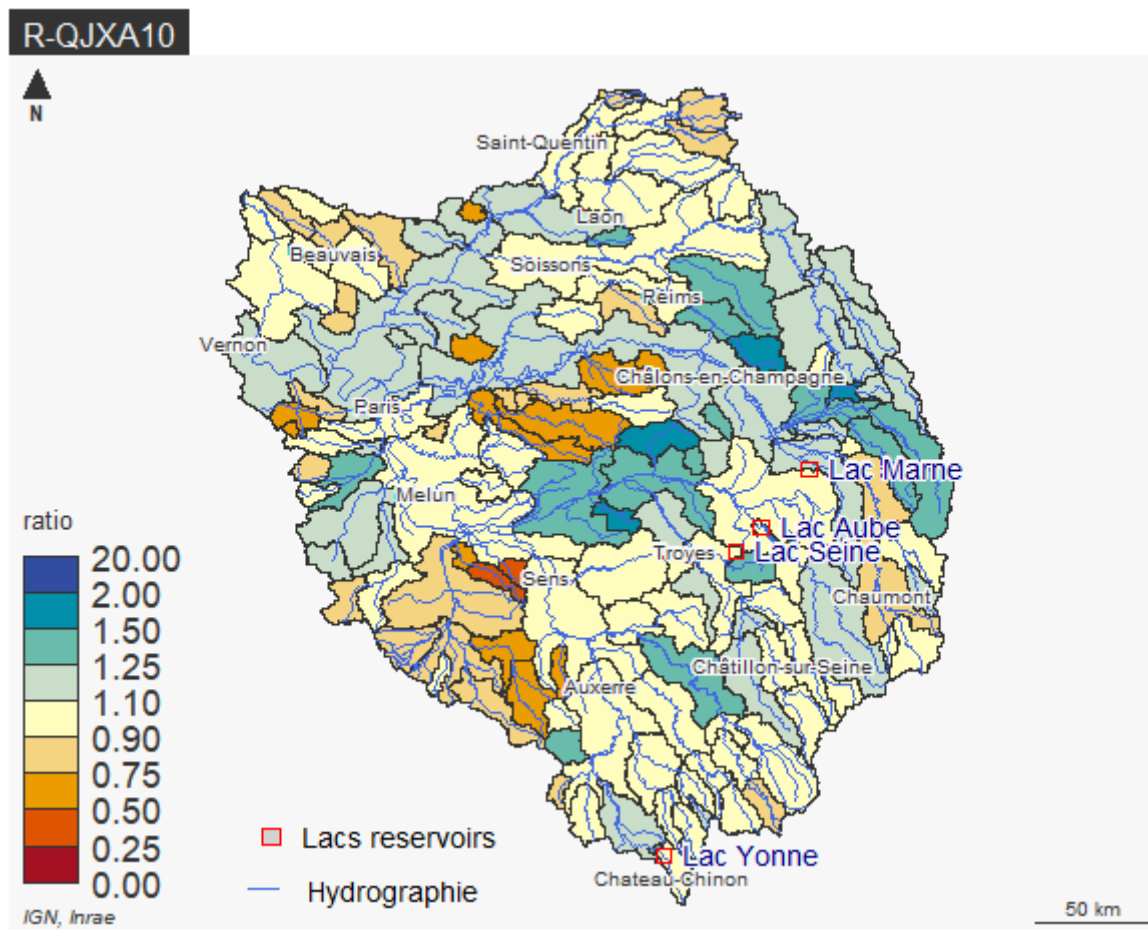
## ➤ Remerciements

Le programme de recherche PIREN-Seine et le projet de recherche IN-WOP (Water-JPI) sont remerciés pour le financement de ces travaux



## ➤ Résultats bonus

Performance du modèle sur les crues



## ➤ Résultats bonus

Evolution des crues dans le futur

