



INRAE

➤ Impacts du changement climatique sur les crues et les étiages du bassin de la Moselle

Enseignements tirés de quelques exercices de projection hydrologique

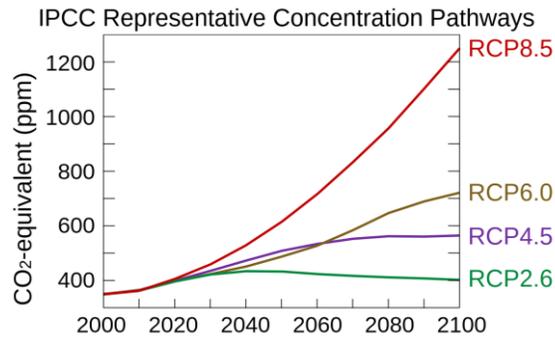
Charles Perrin¹, Laurent Strohmenger¹, Guillaume Thirel¹, Eric Sauquet², Thibault Lemaitre-Basset¹

¹INRAE, Université Paris-Saclay, UR HYCAR, Antony (charles.perrin@inrae.fr) ; ²INRAE, UR RECOVER, Lyon-Villeurbanne

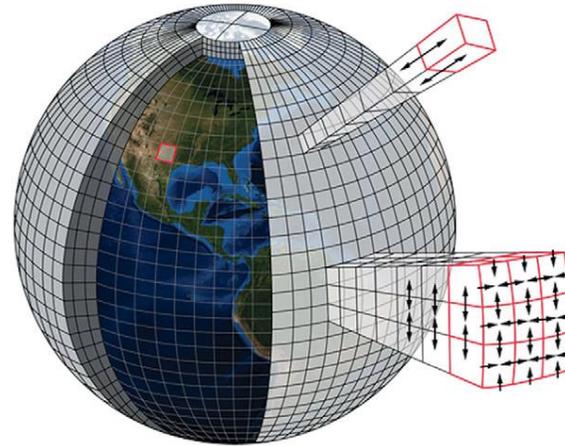
- Avec la contribution des collectifs des projets MOSARH21 (piloté par Guillaume Thirel) et Explore 2 (piloté par Eric Sauquet)
- Avec l'implication de la DREAL Grand Est (Jean-Pierre Wagner) et de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (Marina Pitrel, Céline Conan, Denis Besozzi, François Bigorre et Pierre Mangeot) dans certains des travaux présentés.

➤ La chaîne de modélisation des impacts du CC

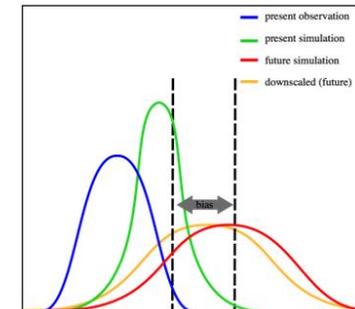
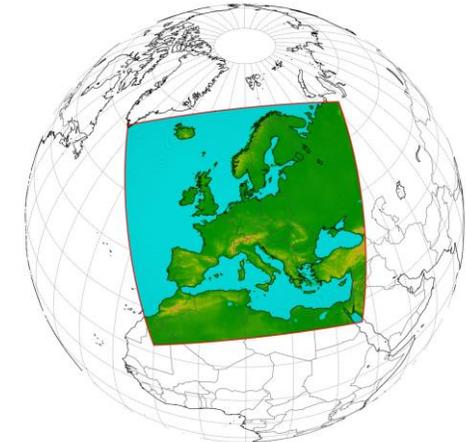
Trajectoires d'émission de gaz à effet de serre



Modèle climatique global



Modèle climatique régional



Impact sur les usages de l'eau et adaptation

Impact sur l'hydrologie naturelle (débits moyens, crues, étiages)

Evaluation des impacts

Modélisation hydrologique de bassin versant

Méthodes statistiques de correction

INRAE

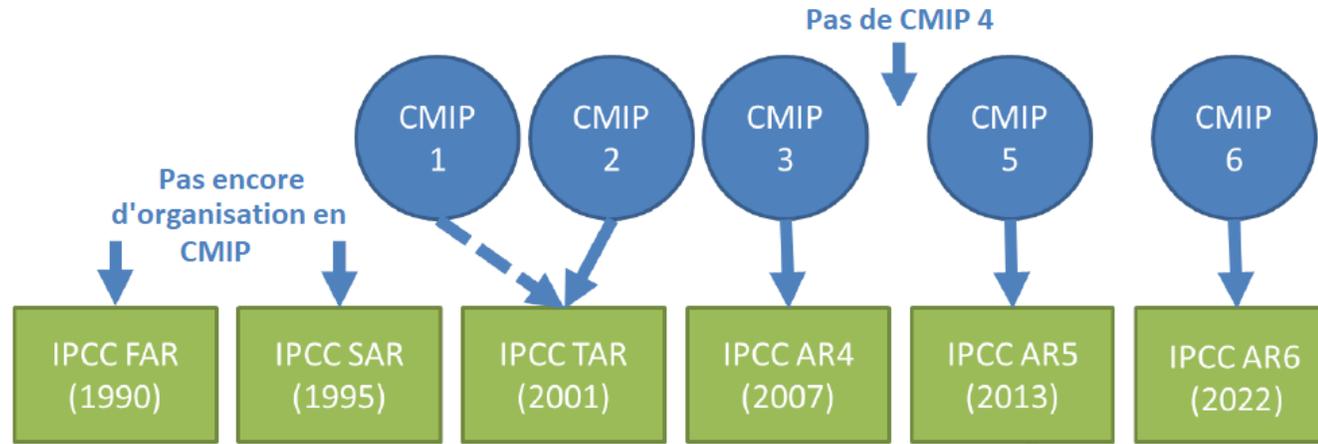
Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

Sources graphiques: https://fr.wikipedia.org/wiki/Sc%C3%A9nario_RCP, <https://doi.org/10.1017/9781108601269.003>, <https://www.beyond-eocenter.eu/index.php>, <https://rcmes.jpl.nasa.gov/content/statistical-downscaling>, <https://www.mdpi.com/2225-1154/4/3/39>

➤ Quelques exercices de projection incluant le bassin de la Moselle

Projets de
comparaison de
modèles couplés



RheinBlick

Flow-MS

Explore2070

MOSARH21

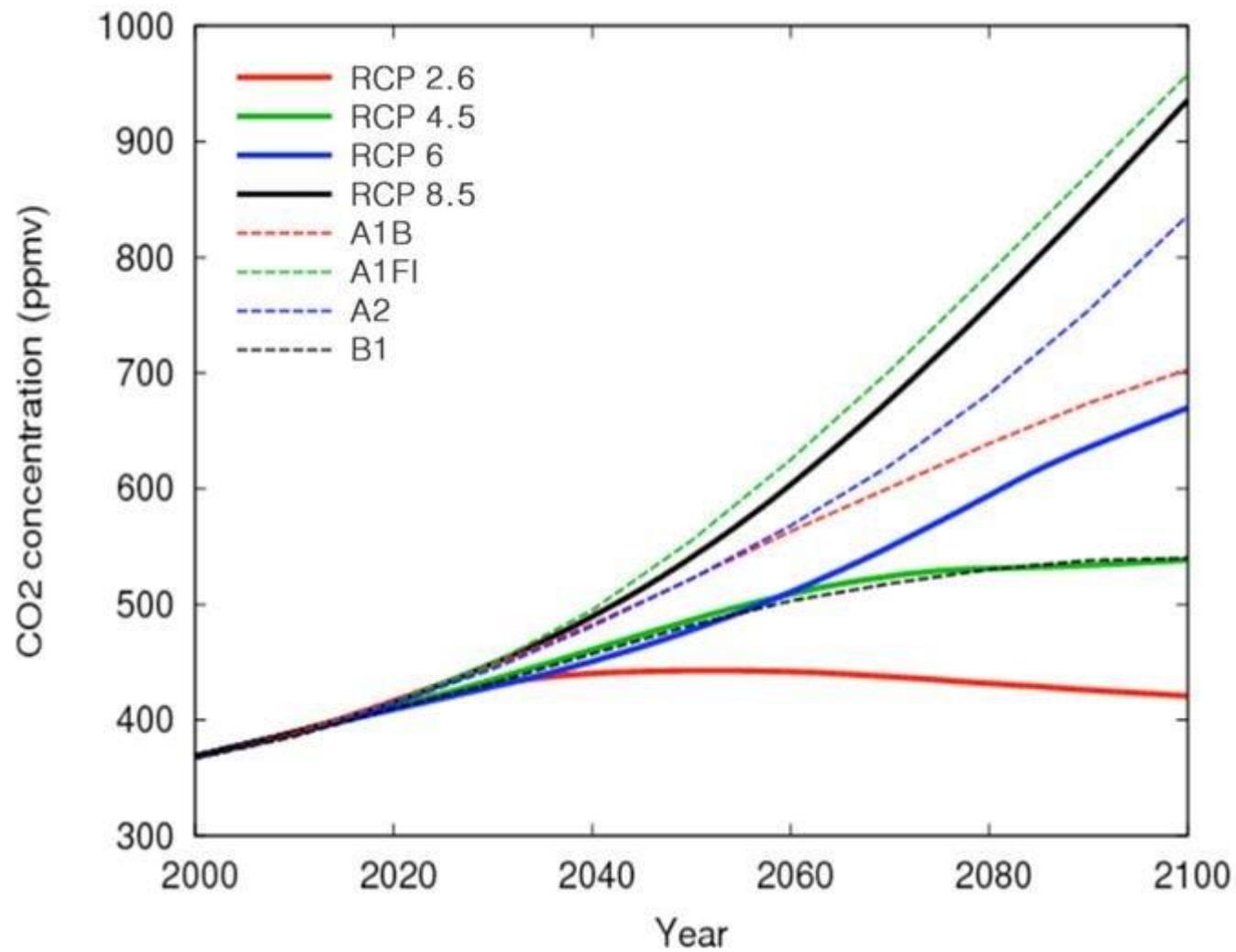
Explore2

INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

➤ Comparaison scénarios SRES AR4 et RCP AR5



← « Pire » scénario

← Élévation de la température du globe de 3 à 4°C en 2100

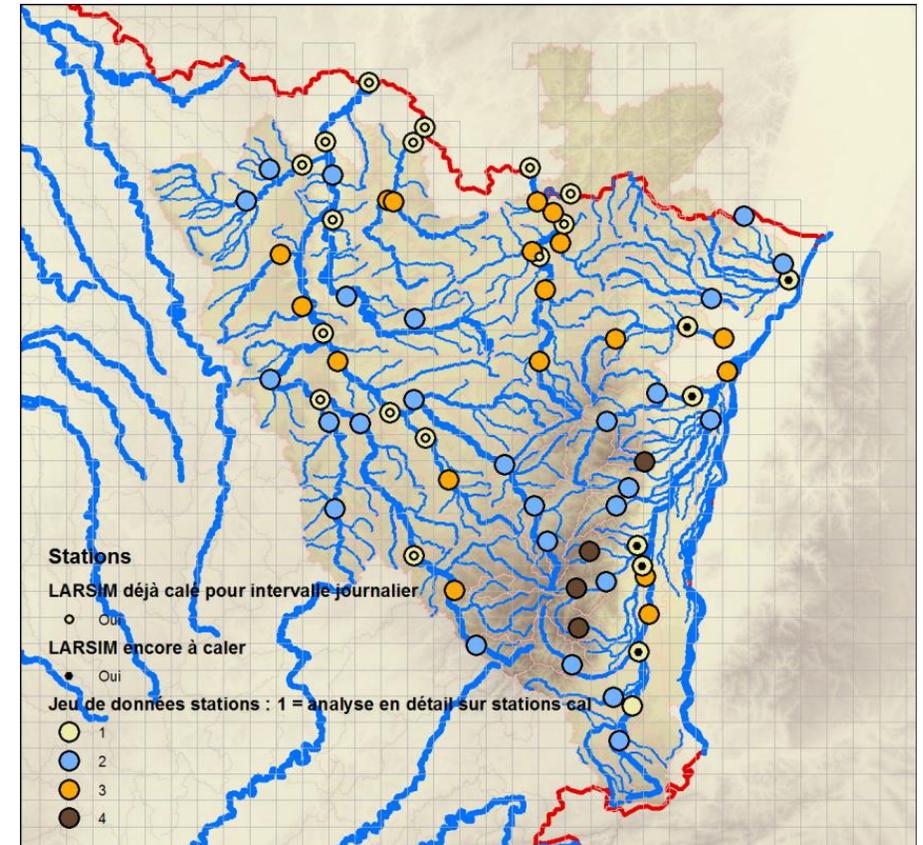
← Élévation de la température du globe de 2 à 3°C en 2100

← Élévation de la température du globe en dessous de 2°C en 2100

➤ MOSARH21

Principales caractéristiques

- Moselle, Sarre, affluents alsaciens du Rhin
- 70 points de calcul
- Référence en temps présent : 1971-2000
- Horizons 2021-2050 (futur proche) et 2071-2100 (futur lointain)
- Pas de temps journalier
- Deux modèles hydrologiques (GRSD et LARSIM)
- Scénarios climatiques SRES (AR4, A1B) et RCP (AR5, 2.6, 4.5, 8.5)
- Données AR5 IPSL et CNRM (DRIAS)

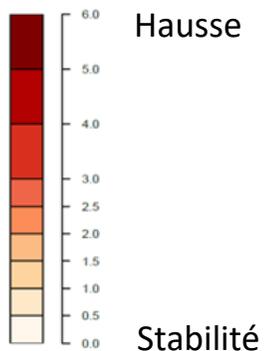


MOSARH21

Futur proche

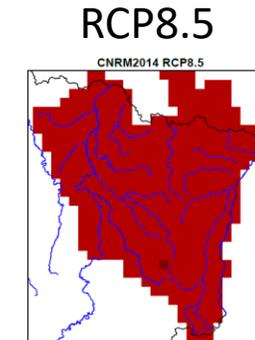
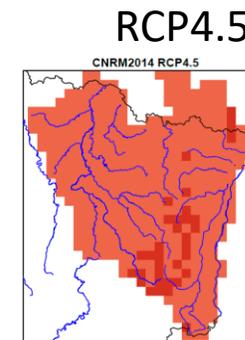
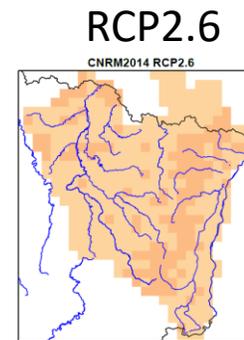
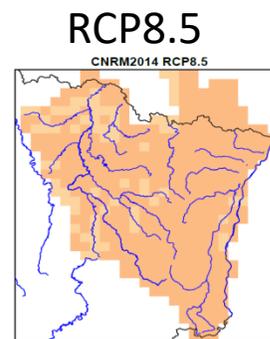
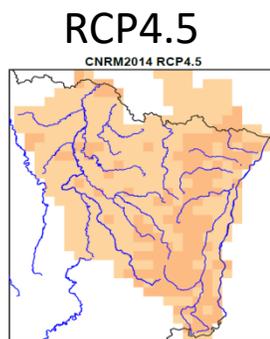
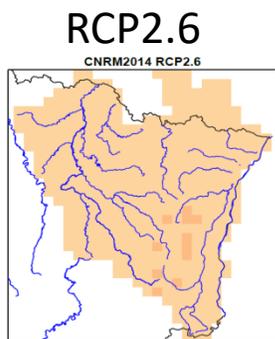


Futur lointain

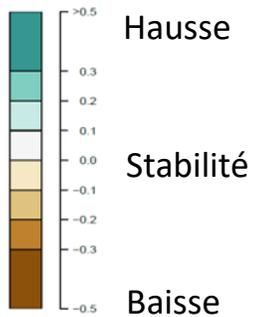
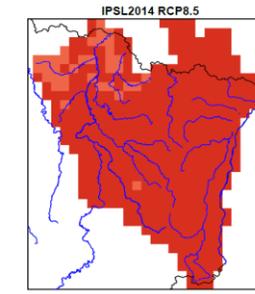
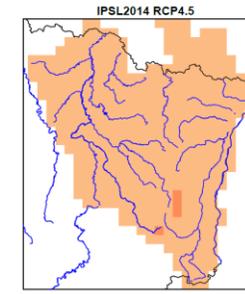
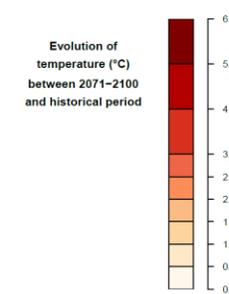
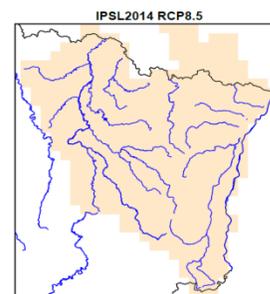
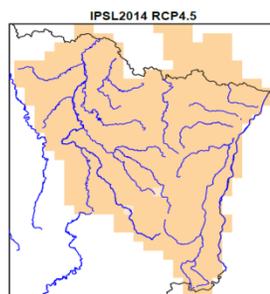
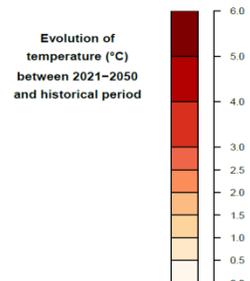


Températures

CNRM

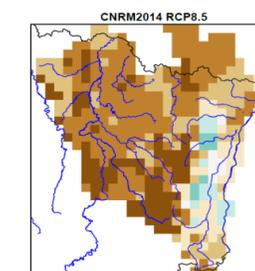
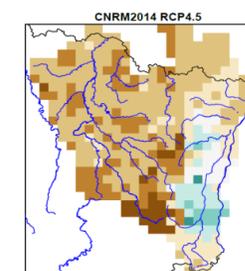
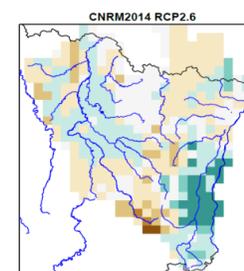
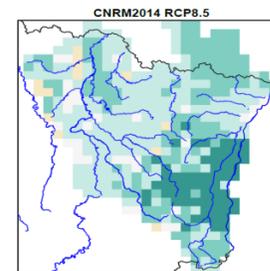
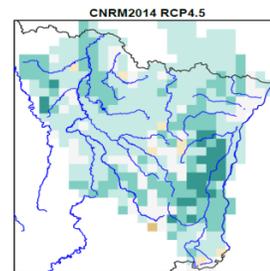
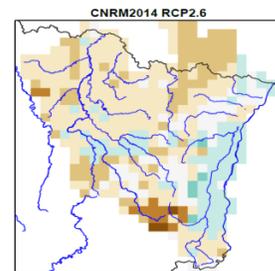


IPSL

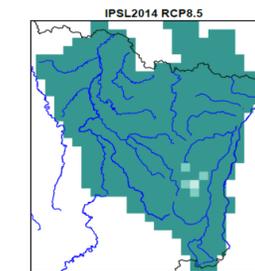
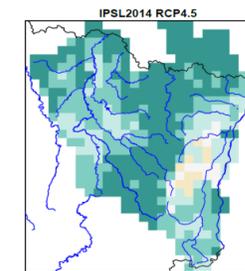
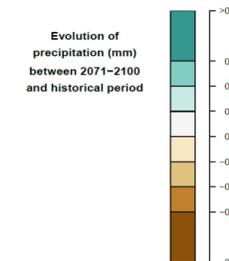
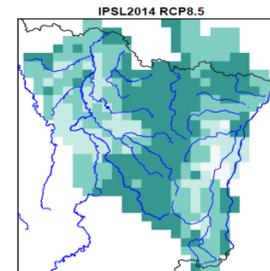
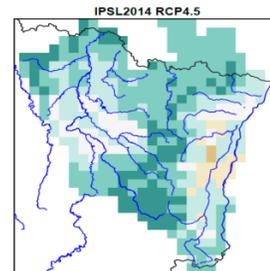
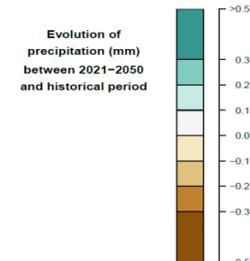


Précipitations

CNRM



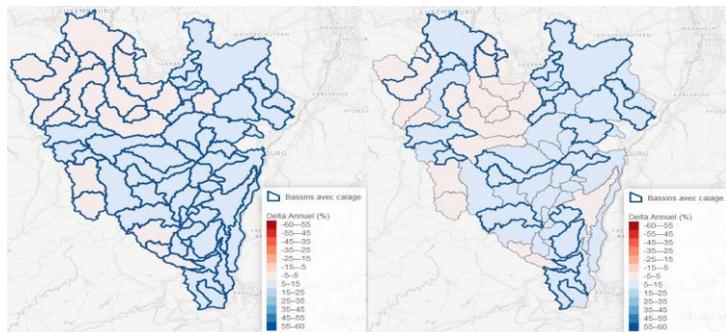
IPSL



➤ MOSARH21

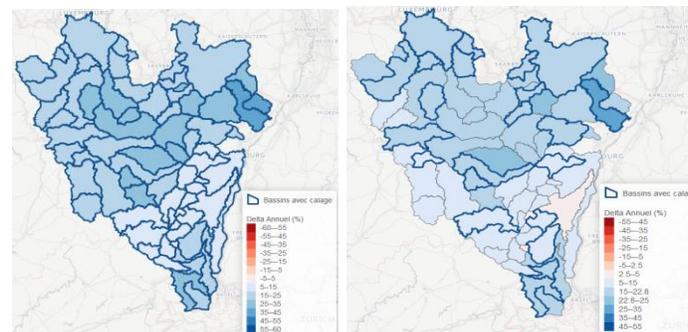
Débits moyens, RCP 8.5

Futur proche



GRSD

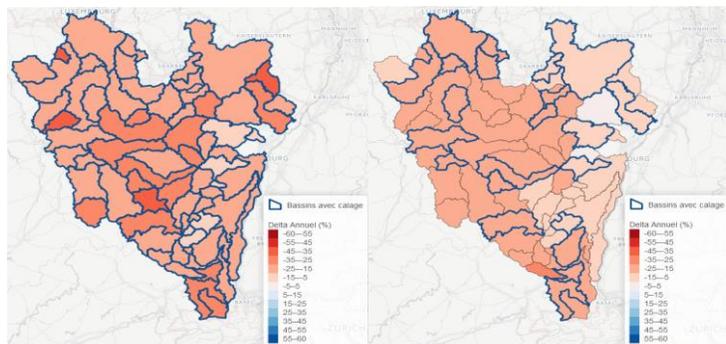
LARSIM



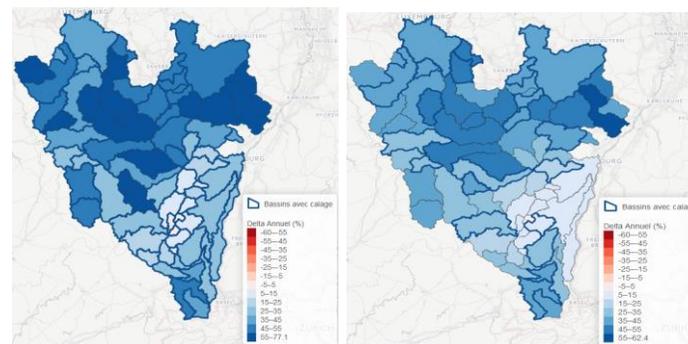
GRSD

LARSIM

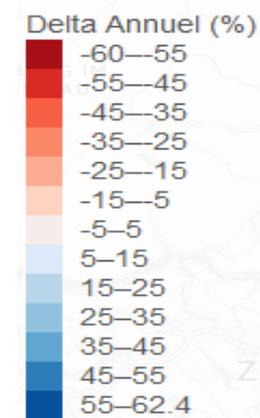
Futur lointain



CNRM



IPSL



Baisse

Stabilité

Hausse



INRAE

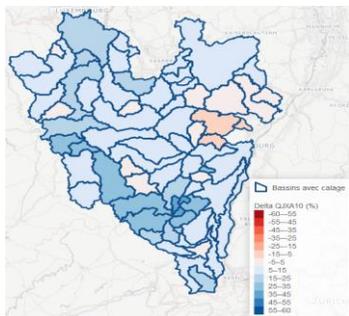
Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

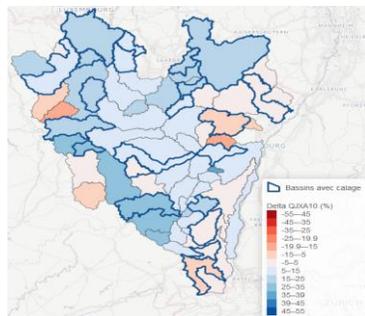
➤ MOSARH21

Débits de crue, RCP 8.5

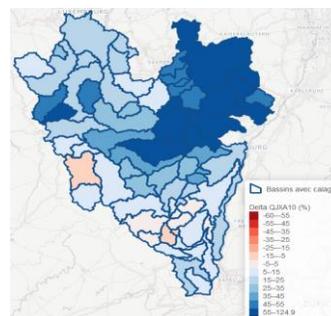
Futur proche



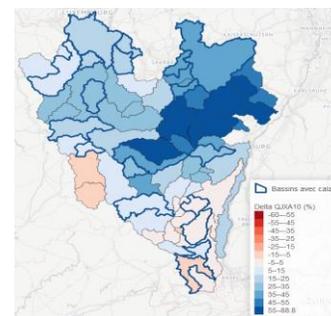
GRSD



LARSIM

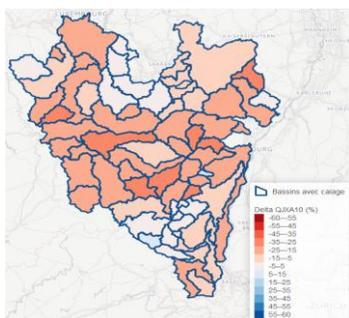


GRSD

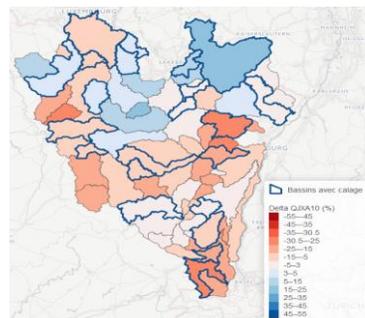


LARSIM

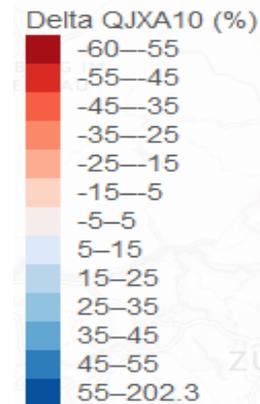
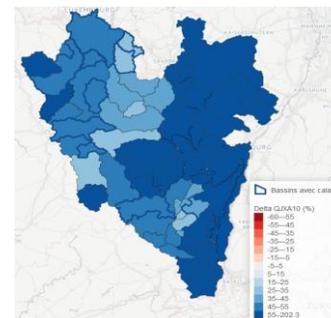
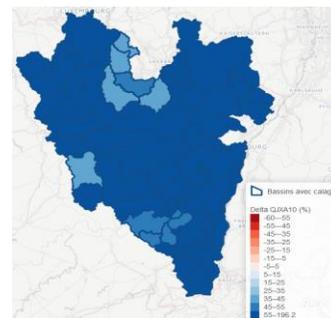
Futur lointain



CNRM



IPSL



Baisse

Stabilité

Hausse



INRAE

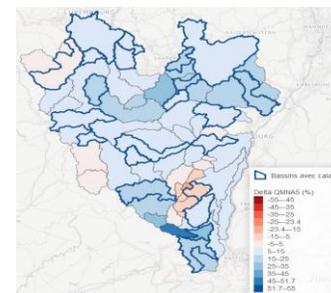
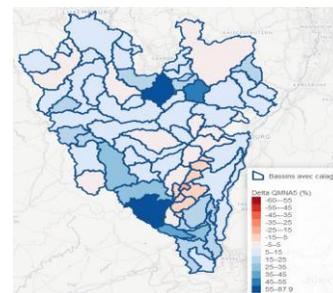
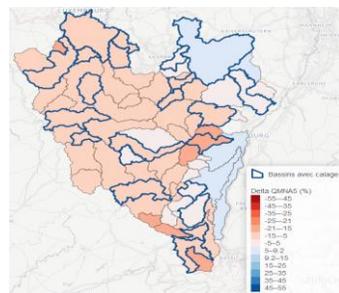
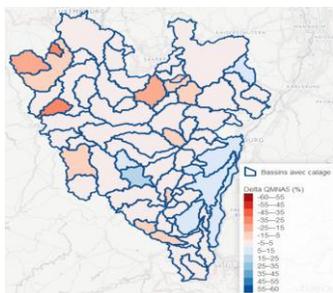
Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

➤ MOSARH21

Débits d'étiage, RCP 8.5

Futur proche



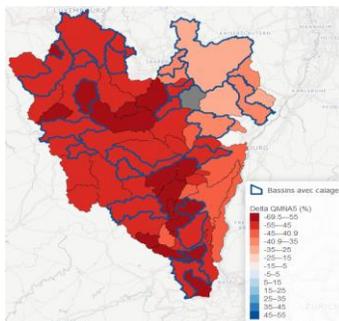
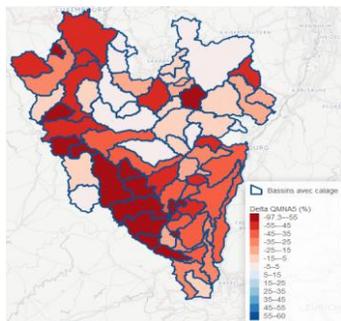
GRSD

LARSIM

GRSD

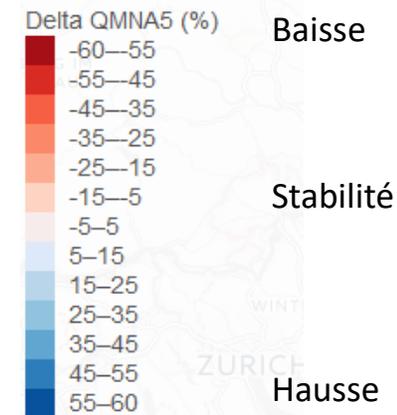
LARSIM

Futur lointain



CNRM

IPSL



> MOSARH21

Principales conclusions

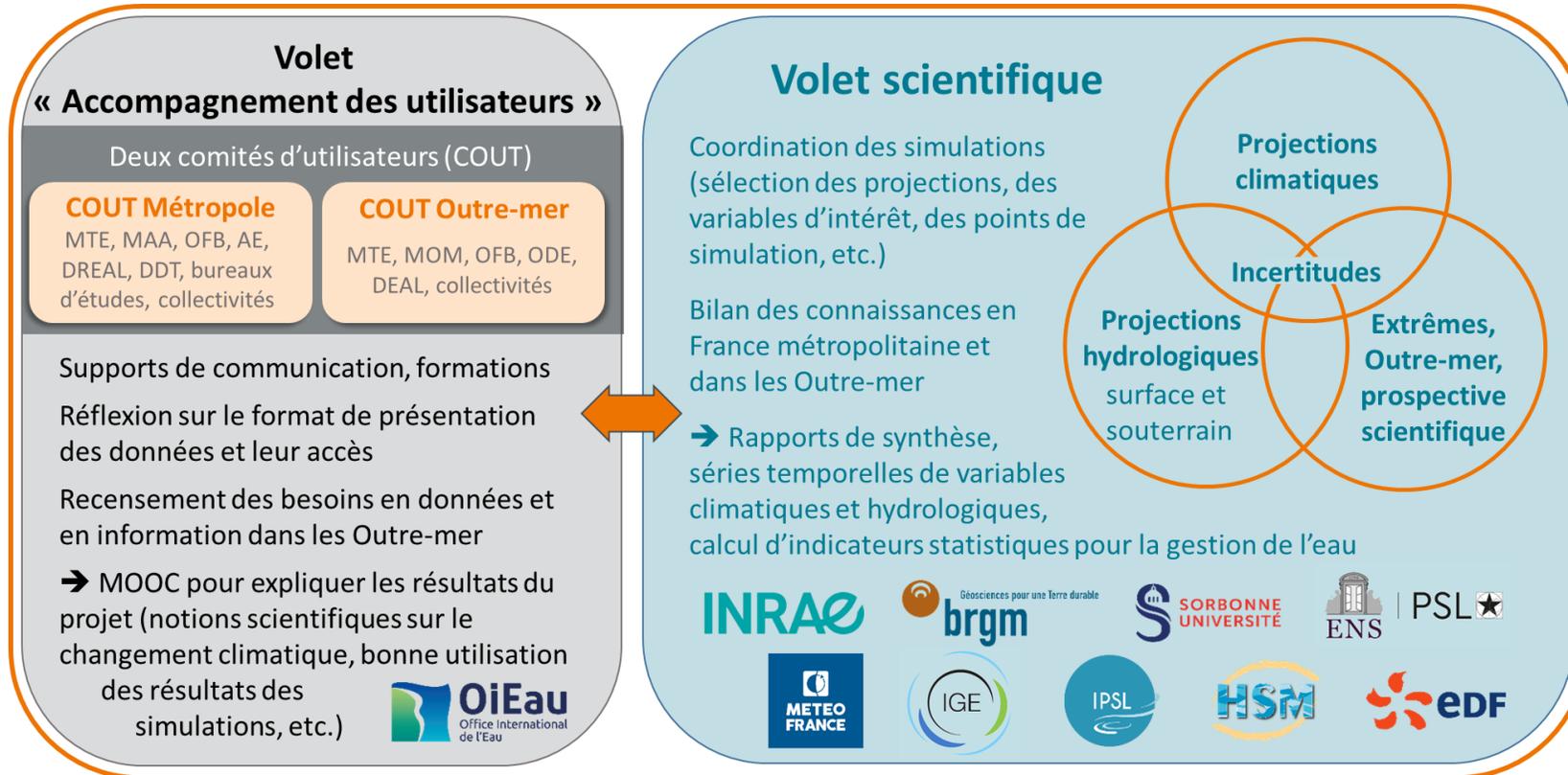
- Débits moyens en légère augmentation
- Aléa de crue plus fort dans un futur proche, incertain ensuite
- Débits d'étiage en baisse dans un futur proche, incertains ensuite mais potentiellement en très forte baisse

- Sources d'incertitudes importantes :
Modèles de climat > Scénarios > Echantillonnage > Modèles hydrologiques

- Résultats globalement cohérents avec ceux de FLOW MS ou Explore 2070

➤ Explore2

Organisation générale



Objectif :

Donner une vision de l'évolution du climat et de l'hydrologie sur l'ensemble du territoire métropolitain au cours du 21^e siècle et des incertitudes associées

Co-financements :



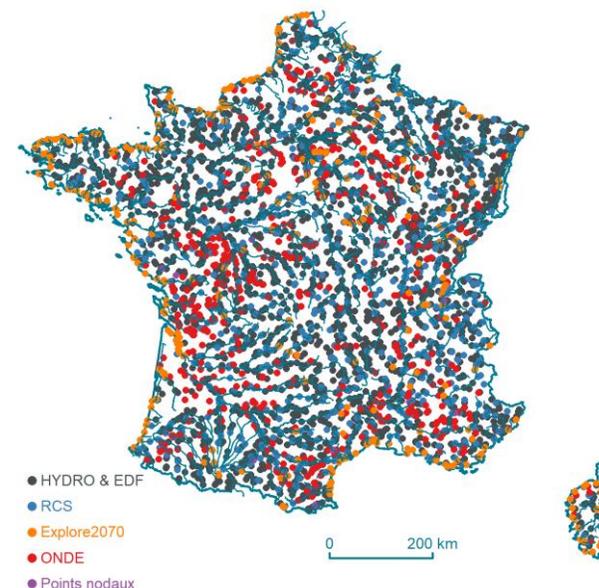
Assistance à maîtrise d'ouvrage :



➤ Explore2

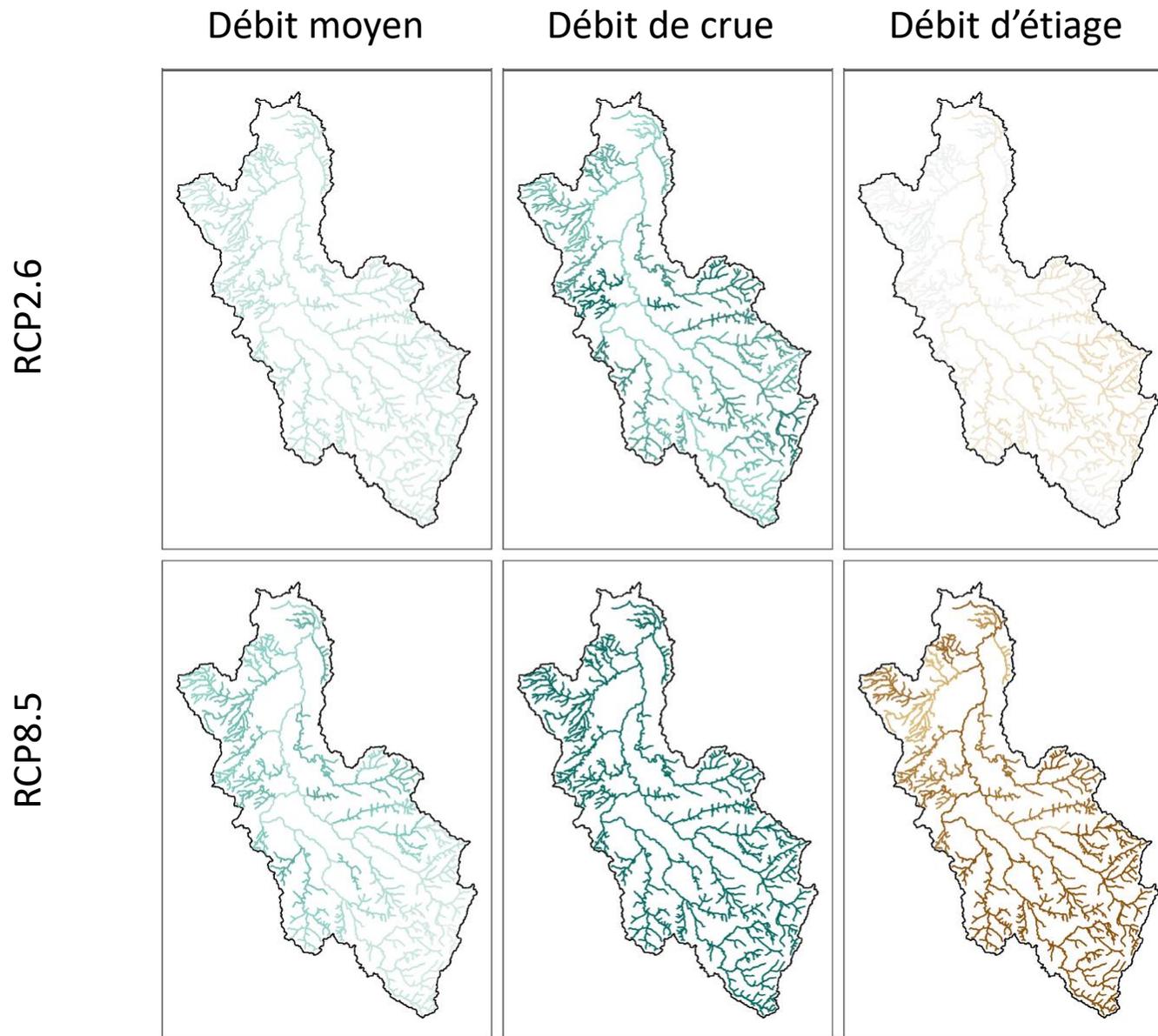
Principales caractéristiques

- Territoire métropolitain national
- Hydrologie de surface et hydrologie souterraine
- Plusieurs centaines de points de calcul
- Référence Temps présent : 1976-2005
- Temps futur lointain : 2070-2099
- Scénarios issus de CMIP 5
- Quantification des incertitudes grâce à l'utilisation de plusieurs options de la chaîne de modélisation
 - >> Modèle global
 - >> Modèle régional
 - >> Méthode de descente d'échelle
 - >> Modélisation hydro(géo)logique



➤ Explore2

Résultats
provisoires



Simulations partielles
obtenues avec un seul
modèle hydrologique
(GR4J-SD)



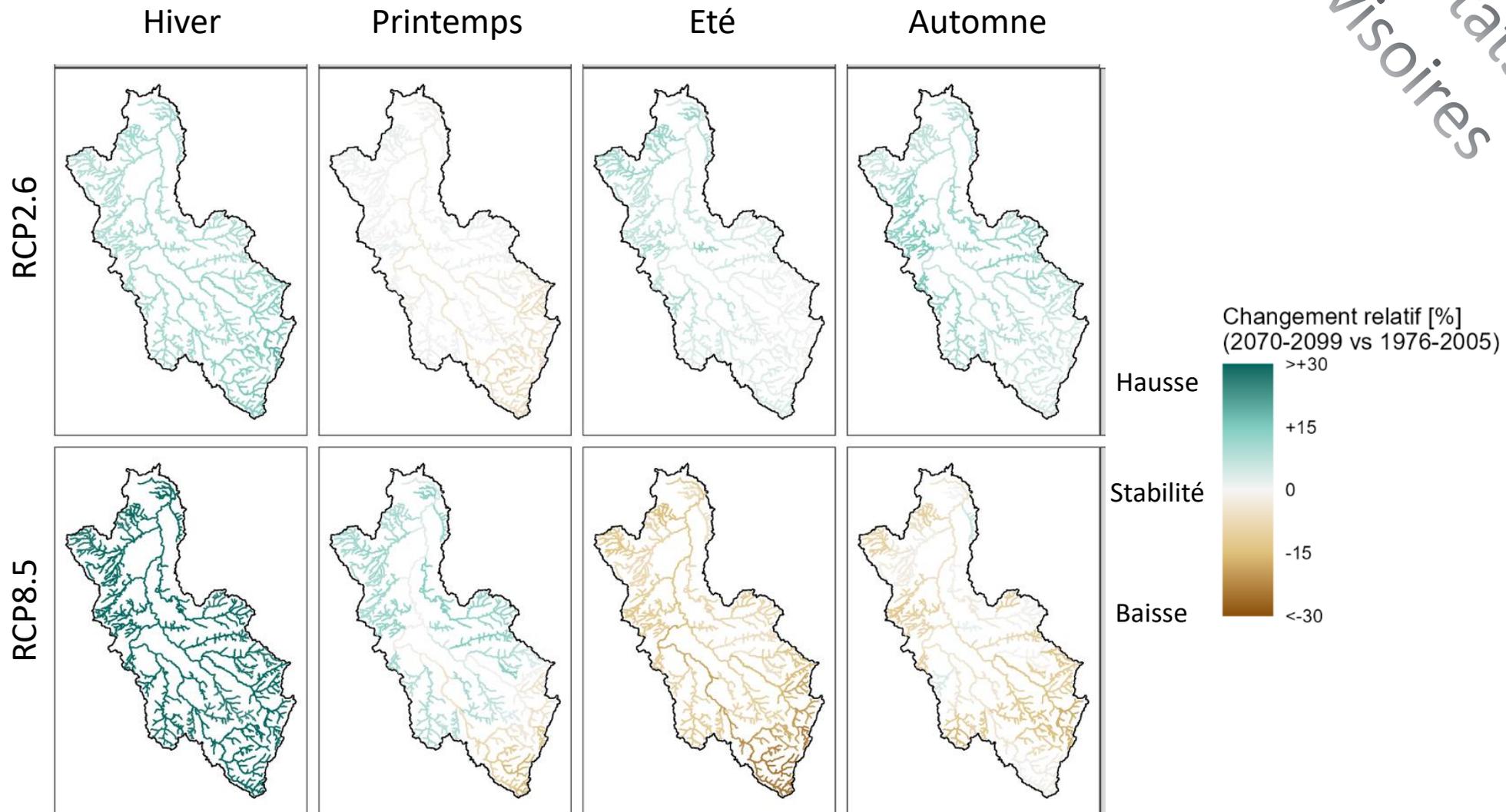
INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

➤ Explore2

Résultats
provisoires



Simulations partielles
obtenues avec un seul
modèle hydrologique
(GR4J-SD)



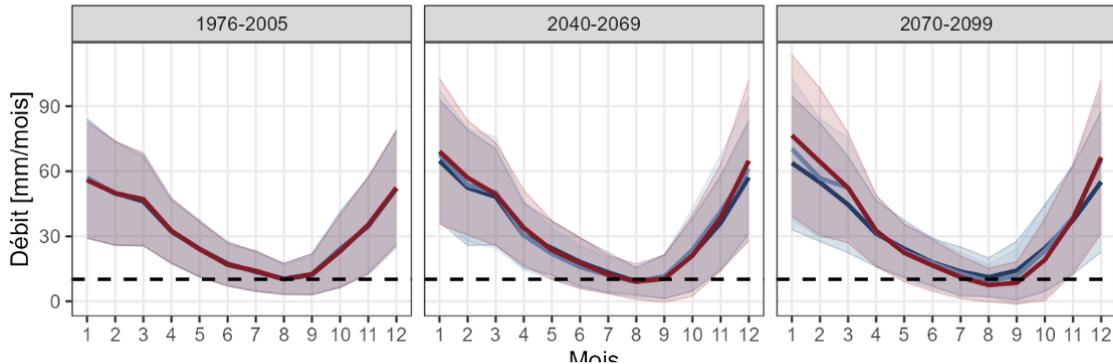
INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

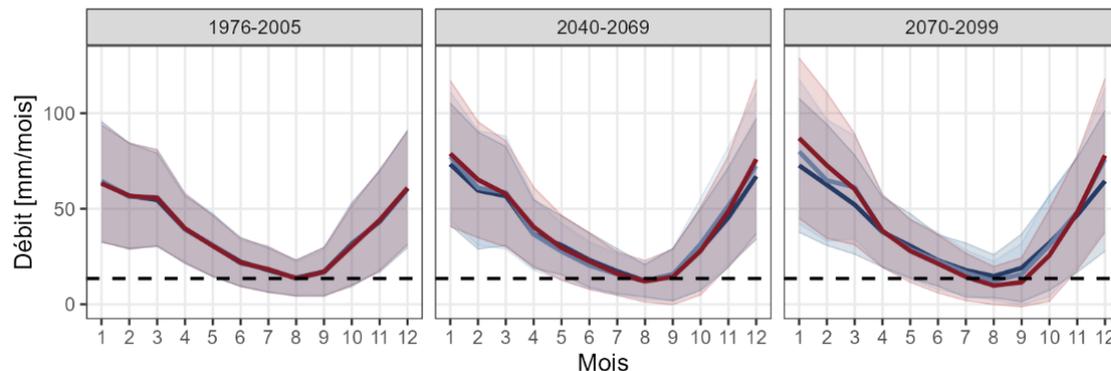
Explore2

La Moselle à Uckange (10770 km²)



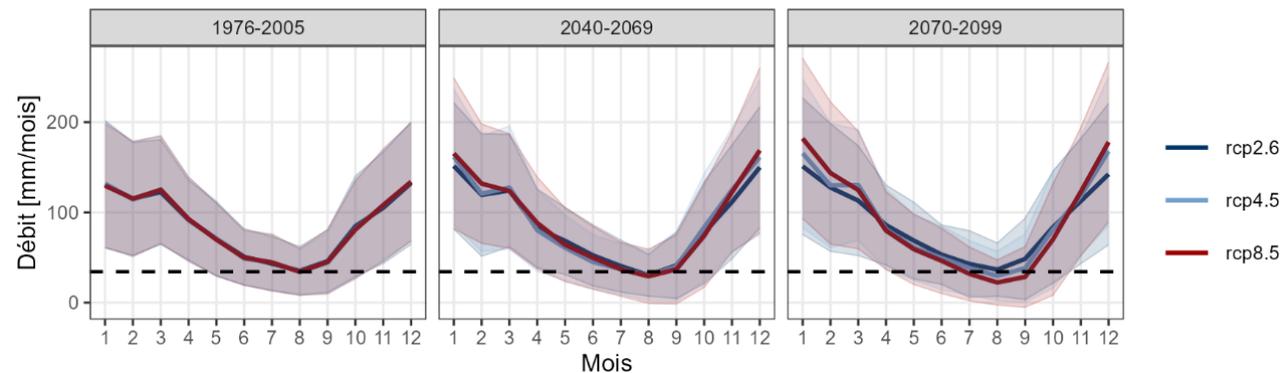
- rcp2.6
- rcp4.5
- rcp8.5

La Moselle à Custines (6830 km²)

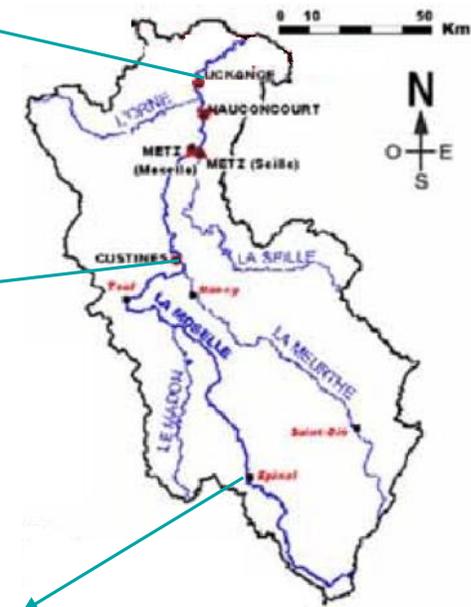


- rcp2.6
- rcp4.5
- rcp8.5

La Moselle à Épinal (1217 km²)



- rcp2.6
- rcp4.5
- rcp8.5



Simulations partielles obtenues avec un seul modèle hydrologique (GR4J-SD, simulations non débiaisées)



INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

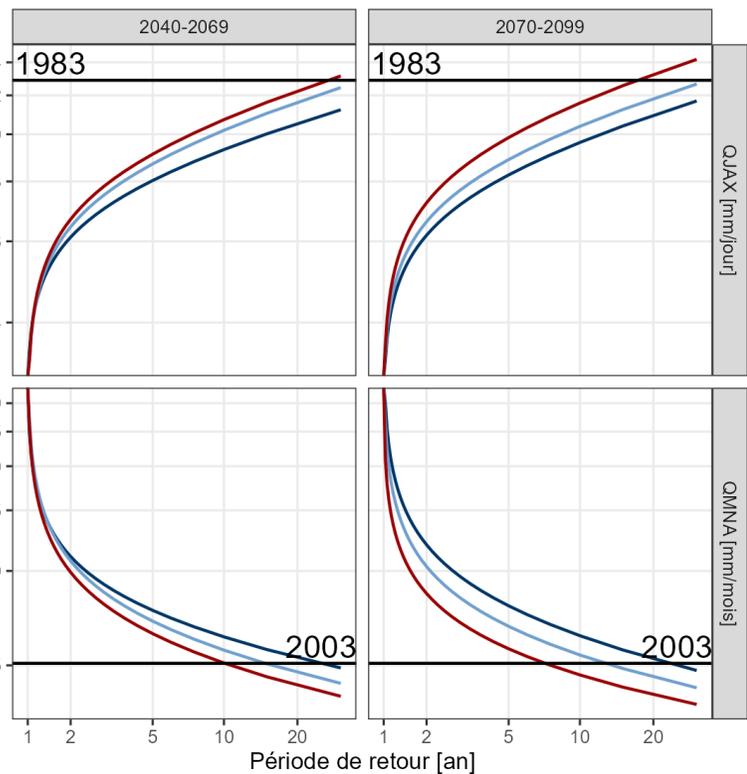
4 mai 2023 - Metz

➤ Explore2

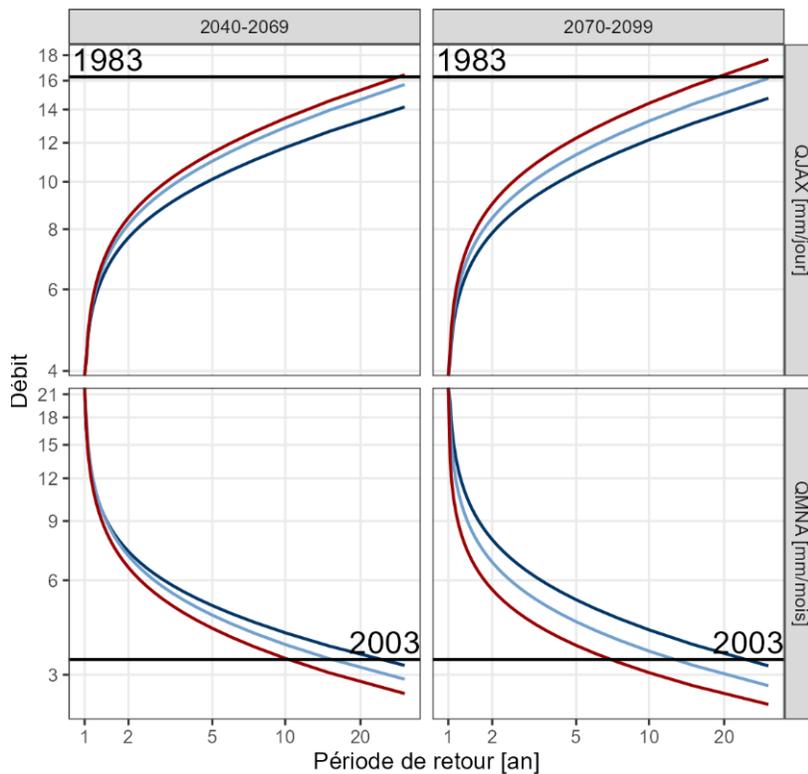
Devenir de la crue de 1983 et l'étiage de 2003 en contexte de changement climatique

Résultats provisoires

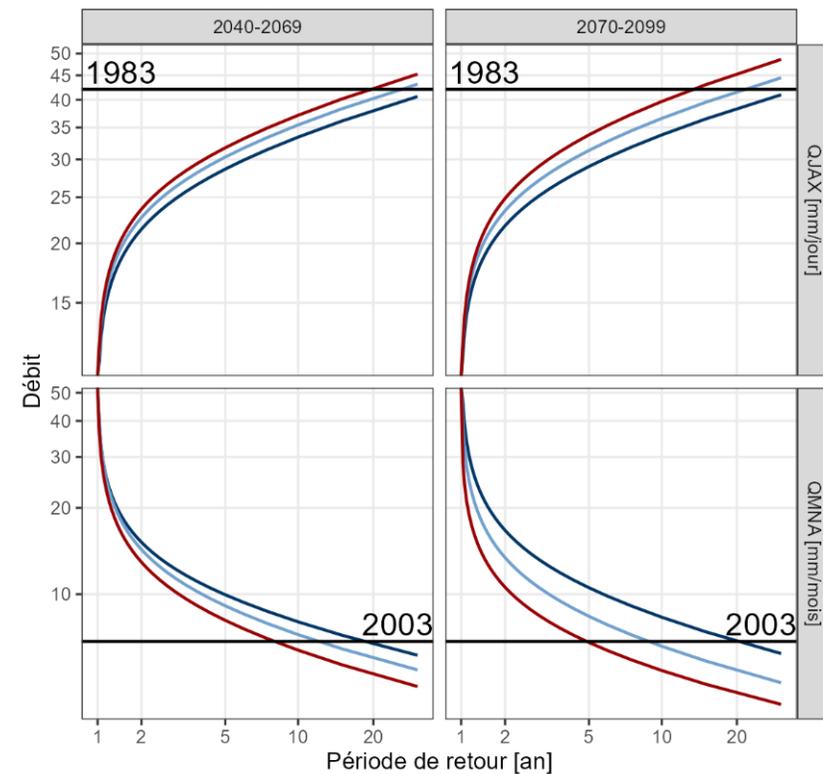
La Moselle à Uckange



La Moselle à Custines



La Moselle à Épinal



- rcp2.6
- rcp4.5
- rcp8.5



INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

Simulations partielles obtenues avec un seul modèle hydrologique (GR4J-SD, simulations non débiaisées)

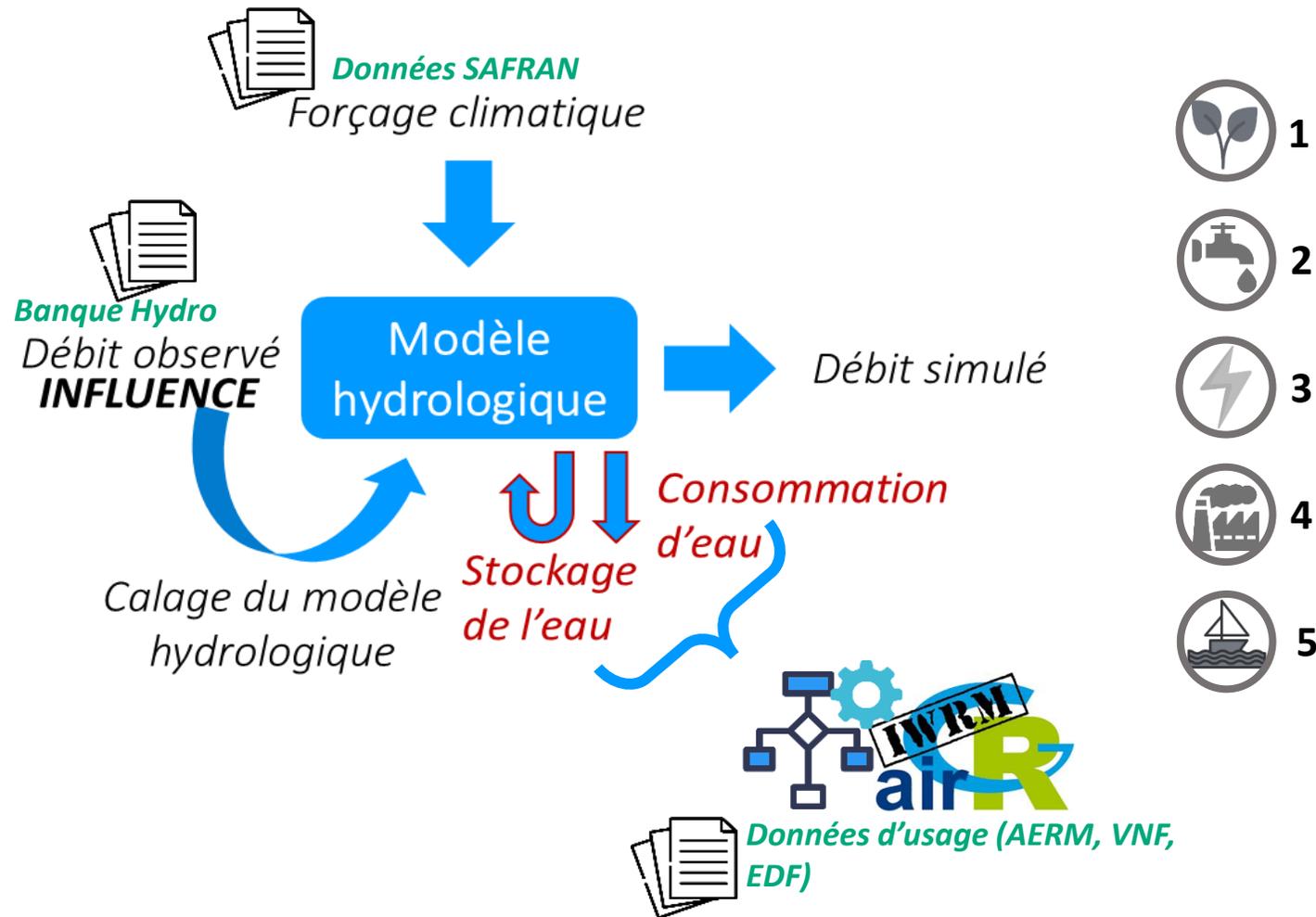
➤ Impacts sur les usages (thèse de Lemaitre-Basset, 2023)

Modélisation hydrologique intégrée

Lac de Pierre-Percée



Centrale nucléaire de Cattenom (EDF)



Grande importance :
priorité forte

Plus faible importance :
non prioritaire



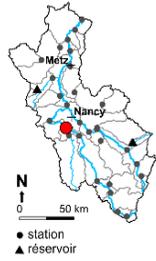
INRAE

Impact du CC sur le bassin de la Moselle

4 mai 2023 - Metz

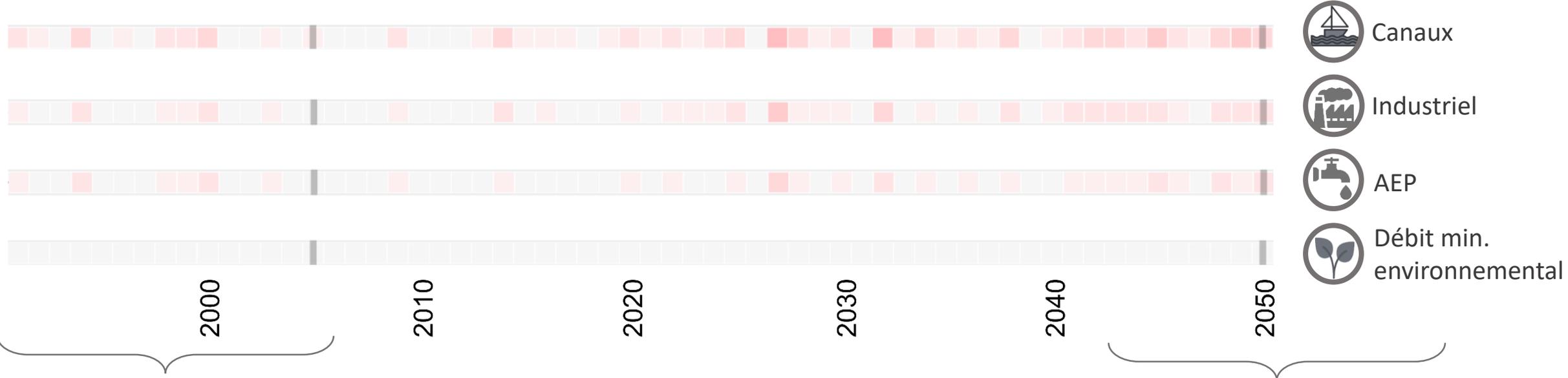
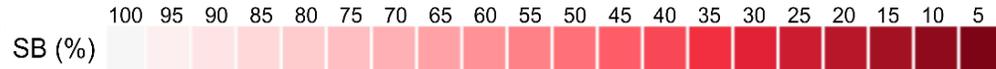
➤ Impacts sur les usages (thèse de Lemaitre-Basset, 2023)

Évolution de la satisfaction des besoins en eau



La Moselle à Pont-St-Vincent

Projections pour les mois d'été issues du RCP 8.5 hypothèse d'usages constants



SB canaux : > 94%
SB industriel : > 97%
SB AEP : > 97%
SB environnemental : > 99%

SB canaux : > 86%
SB industriel : > 91%
SB AEP : > 93%
SB environnemental : > 99%

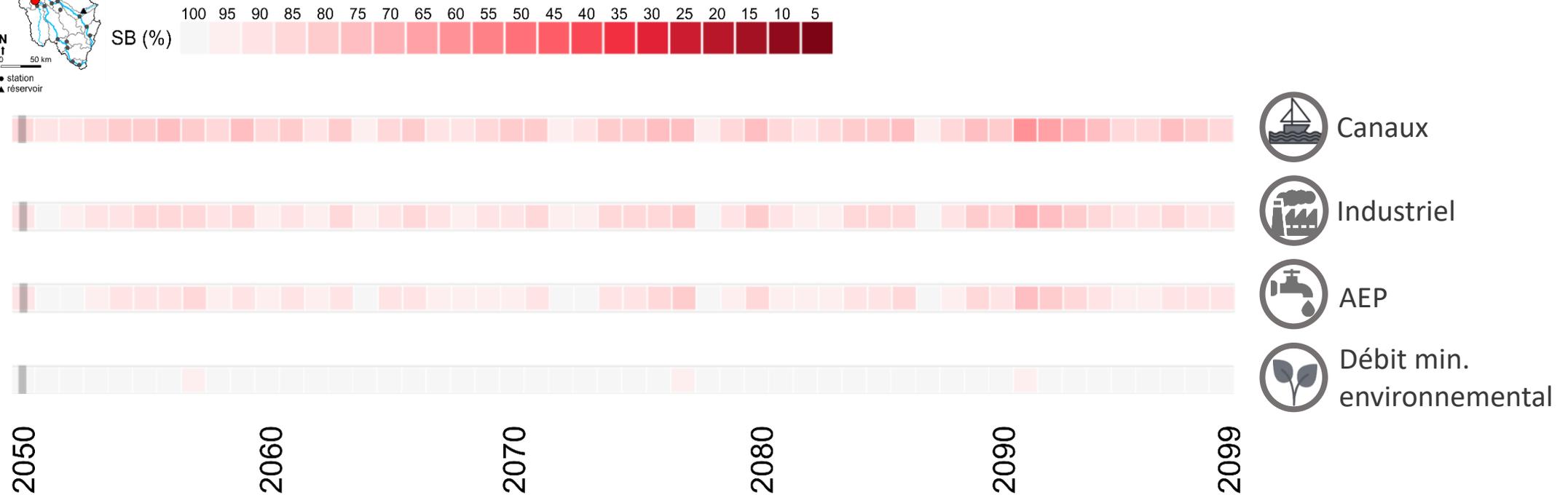
➤ Impacts sur les usages (thèse de Lemaitre-Basset, 2023)

Évolution de la satisfaction des besoins en eau



La Moselle à Pont-St-Vincent

Projections pour les mois d'été issues du RCP 8.5 hypothèse d'usages constants

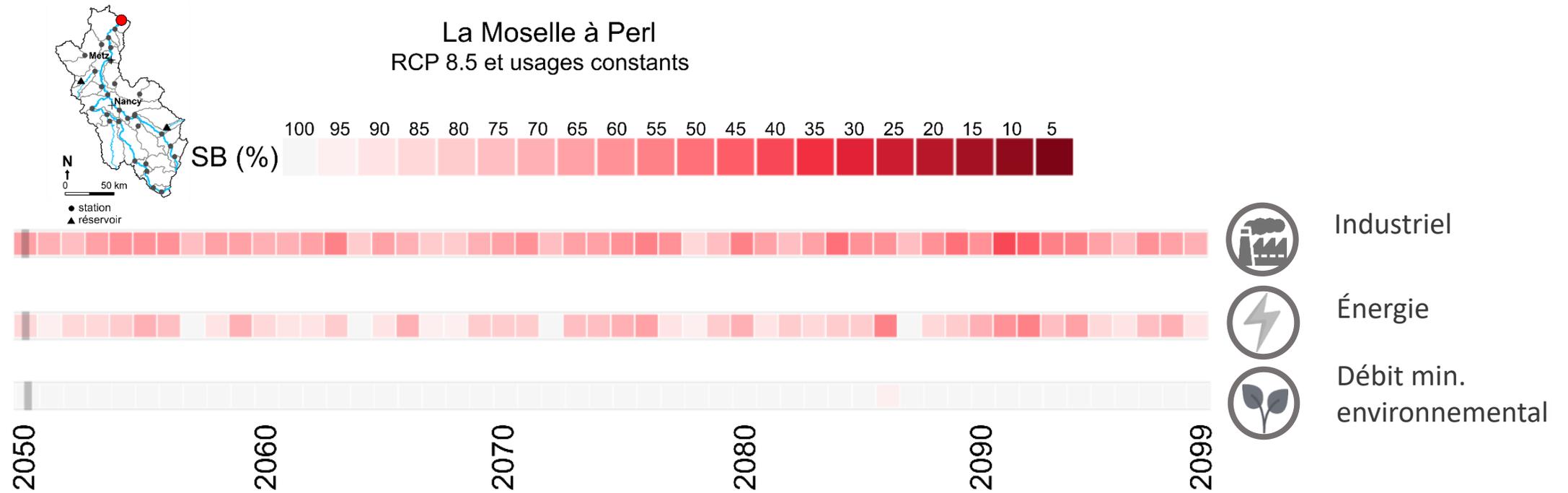


Diminution de la satisfaction des besoins en eau à long terme

SB canaux : > 80%
SB industriel : > 87%
SB AEP : > 90%
SB environnemental : > 99%

➤ Impacts sur les usages (thèse de Lemaitre-Basset, 2023)

Évolution de la satisfaction des besoins en eau



Diminution de la satisfaction des besoins en eau à long terme

↓
SB industriel : > 53%
SB énergétique : > 74%
SB environnemental : > 97%



> Conclusions

- Plusieurs exercices successifs d'analyse des impacts
- Une tendance vers :
 - Un climat globalement plus chaud avec des contrastes plus importants
 - Des débits moyens en légère hausse
 - Des étiages plus marqués
 - Des crues plus fortes
- Tendance plus marquée pour la fin de siècle
- Des incertitudes encore fortes
- En termes de ressources, une plus grande difficulté à satisfaire les besoins

> Perspectives

- Résultats finaux du projet Explore 2 attendus pour le second semestre 2023
- Projections disponibles sur DRIAS Eau
- Prise en compte dans les stratégies d'adaptation
- Thèse en cours de Myriam Soutif-Bellenger (finalisation en septembre) : développement d'une modélisation intégrée agro-hydrologique avec une implémentation sur la Seille pour tester des scénarios en contexte de changement climatique
- Projet Life Eau & Climat pour l'accompagnement des acteurs de l'eau



➤ Pour en savoir plus...

- Plan d'adaptation et d'atténuation pour les ressources en eau du bassin Rhin-Meuse
<https://www.eau-rhin-meuse.fr/plan-dadaptation-et-dattenuation-au-changement-climatique>
- Projet Explore 2070
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/44>
- Projet MOSARH21
<https://webgr.inrae.fr/projets/projets-acheves/mosarh21/>
- Projet Explore 2
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>
- Life Eau & Climat
<https://www.gesteau.fr/life-eau-climat>
- DRIAS les futurs du climat, DRIAS les futurs de l'eau
<http://www.drias-climat.fr/> <https://www.drias-eau.fr/>
- Thèses de Thibault Lemaitre-Basset et Myriam Soutif-Bellenger
<https://www.theses.fr/s263088> et <https://www.theses.fr/s276224>
- MAKHO - Analyse des tendances passées sur l'hydrologie
<https://makaho.sk8.inrae.fr/>

