



HAL
open science

CHIMERE 21. CHIers - Meuse: Evolution du RégimE Hydrologique au 21e siècle

Guillaume Thirel, Lila Collet, Fabienne Rousset, Olivier Delaigue, Didier Francois, Joël Gailhard, Matthieu Le Lay, Charles Perrin, Mathieu Reverdy, Raphaëlle Samacoits, et al.

► To cite this version:

Guillaume Thirel, Lila Collet, Fabienne Rousset, Olivier Delaigue, Didier Francois, et al.. CHIMERE 21. CHIers - Meuse: Evolution du RégimE Hydrologique au 21e siècle. GT Hydrologie de la Commission Internationale de la Meuse, Feb 2022, Meuse (Online), France. hal-03554215

HAL Id: hal-03554215

<https://hal.inrae.fr/hal-03554215v1>

Submitted on 3 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

➤ CHIMERE 21

CHlers - Meuse : Evolution du RégimE Hydrologique au 21^e siècle

3 février 2022

GT Hydrologie de la Commission Internationale de la Meuse

Guillaume THIREL (INRAE)

guillaume.thirel@inrae.fr

+ Collet, L., Rousset, F., Delaigue, O. François, D., Gailhard, J., Le Lay, M., Perrin, C., Reverdy, M., Samacoits, R., Terrier, M., Vidal, J.-P., Wagner, J.-P.

➤ Contexte et enjeux du projet

➤ Le projet CHIMERE 21

Chiers - Meuse : Evolution du RégimE Hydrologique au 21^e siècle

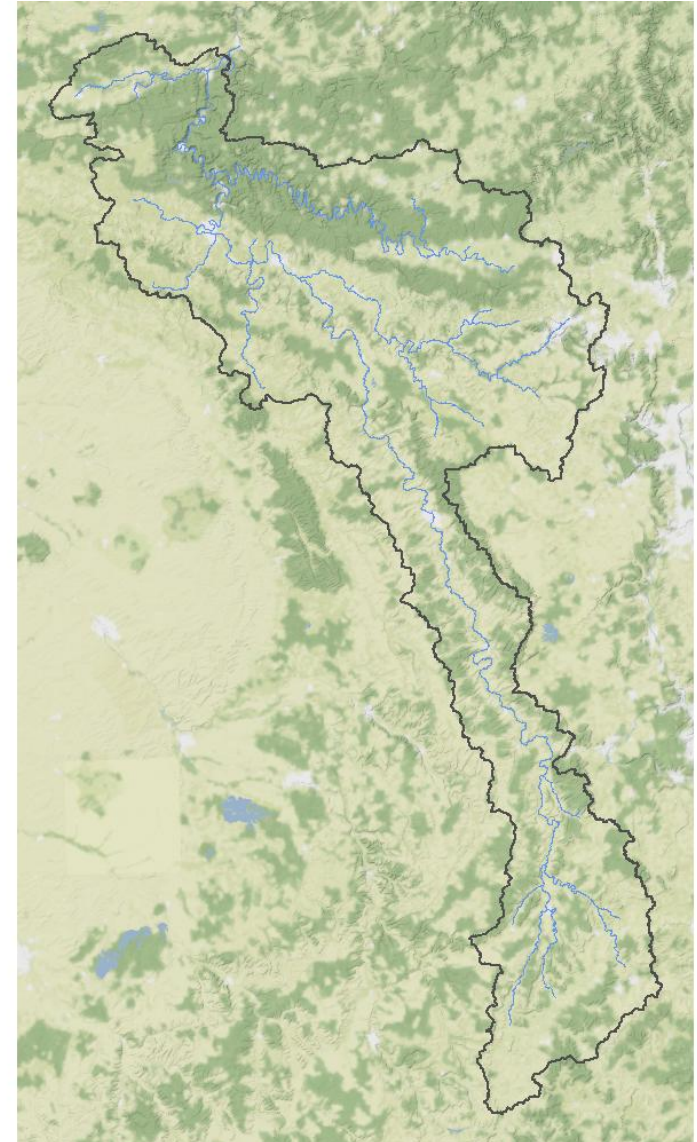
Thème du projet : Etude de l'impact du changement climatique sur les débits de la Chiers et de la Meuse

Partenaires : INRAE (anciennement Irstea), Météo-France, EDF, Université de Lorraine, DREAL Grand-Est

Durée du projet : 2017-2021

Coût complet du projet : 376 k€

Financement Agence de l'Eau Rhin-Meuse : 188 k€



➤ Le contexte

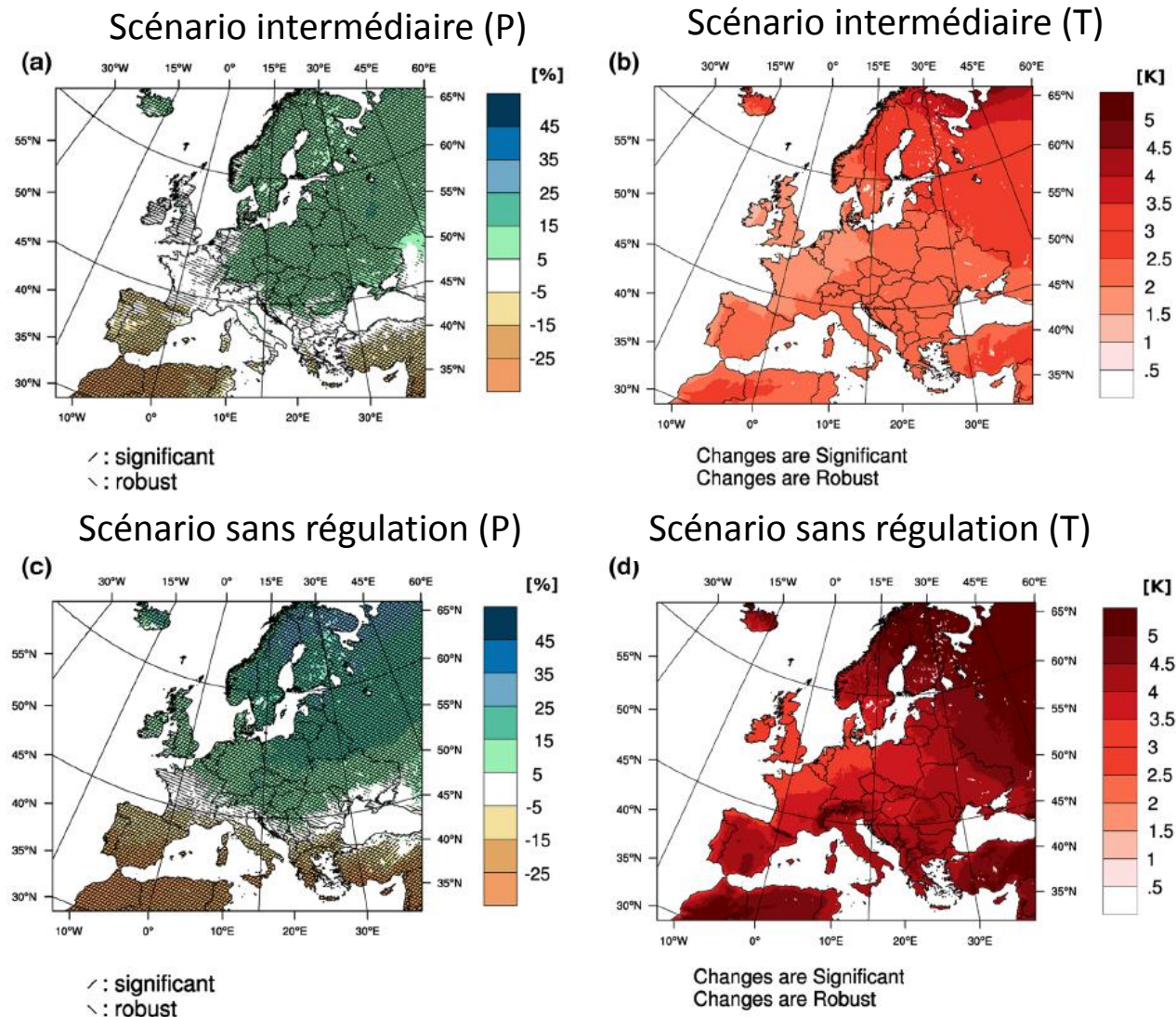
CHlers - Meuse : Evolution du Régime Hydrologique au 21^e siècle

Un climat bouleversé (cf rapports du GIEC/IPCC)

- Température (T) qui augmente
- Régimes pluviométriques (P) modifiés
- Extrêmes potentiellement amplifiés

Evolutions à l'échelle du globe, qui nécessitent d'être affinées au niveau régional par des travaux spécifiques

Jacob et al. (2013)



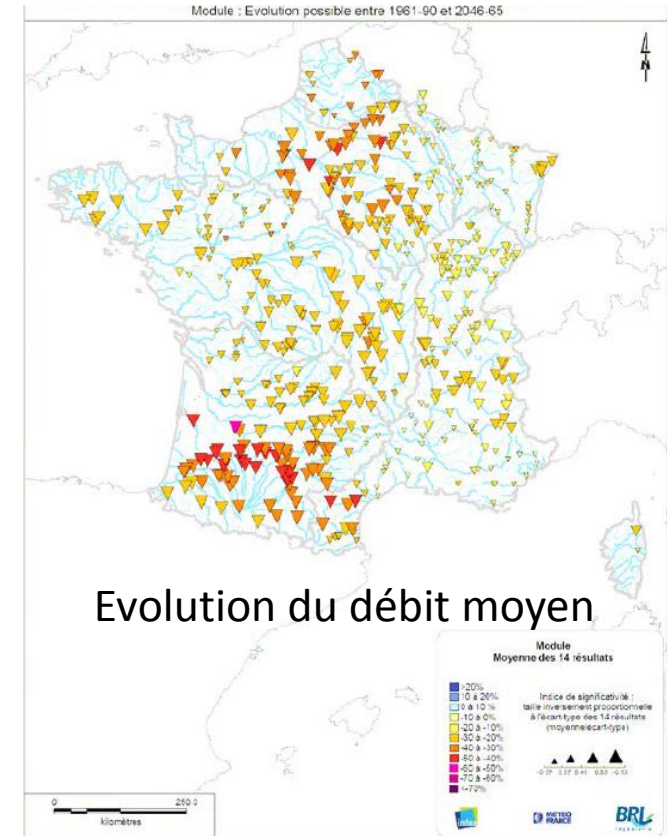
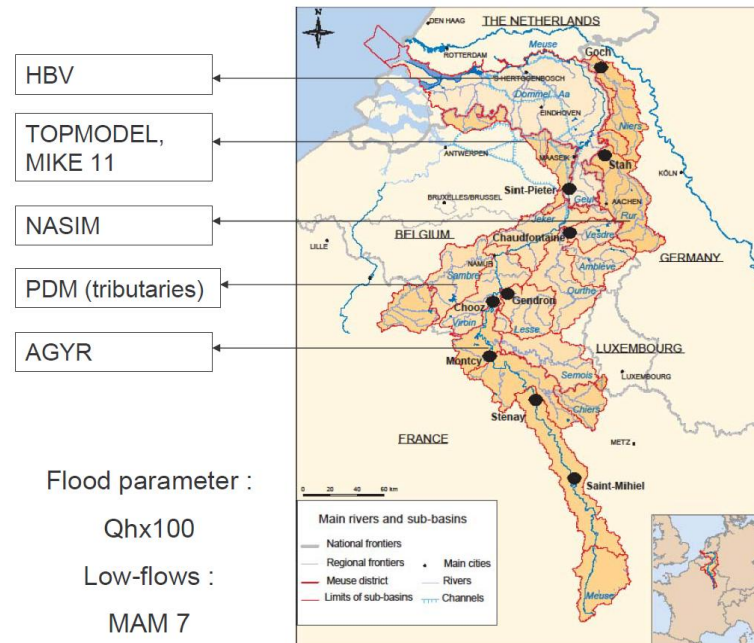
Evolution des précipitations (gauche) et température (droite) moyennes à l'horizon 2071-2100 p. 4

➤ Les études passées

Explore 2070 (période 2010-2012) et AMICE (période 2009-2012)

Projections sur la Meuse :

- Augmentation de la température de 1,5 à 3 °C sur 2045-2065 par rapport à 1961-1990
- Précipitations futures stables à l'année, mais en baisse de 20 % l'été
- Débits futurs annuels à Chooz en diminution de 15 à 20 %
- Débits futurs d'étiage incertains mais en baisse (de 10 à 60 %)
- Signaux incertains sur les crues



➤ Objectifs du projet CHIMERE 21

Objectifs du projet :

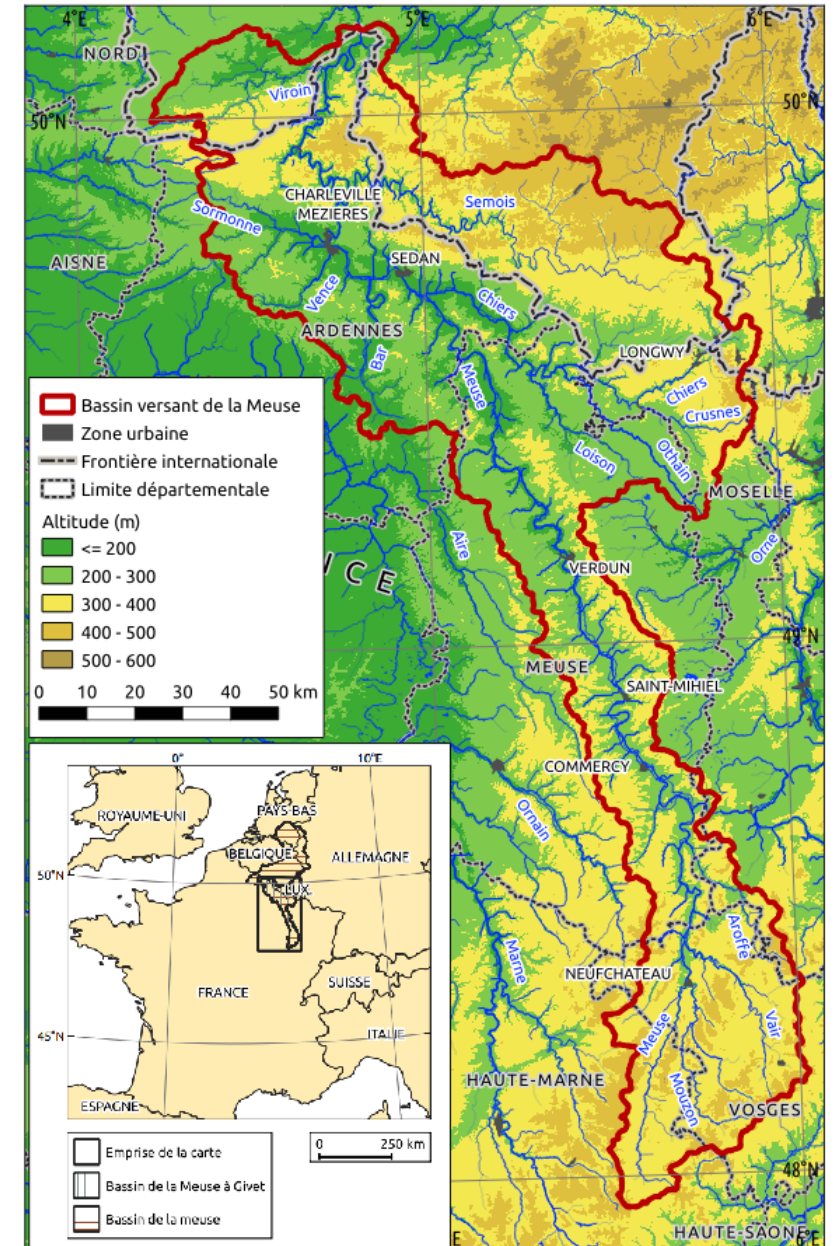
- **Actualiser les diagnostics existants** (les projets cités précédemment sont déjà anciens)
- **Affiner les diagnostics** en prenant en compte les incertitudes
- Fortes attentes sur les **basses eaux**
- Production de fiches synthétiques

➤ **Présentation du bassin et des données utilisées**

➤ Le bassin versant de la Meuse à la frontière franco-belge

Caractéristiques générales :

- Superficie : 10 120 km²
 - dont 2 300 km² en Belgique et 140 km² au Luxembourg
 - représente 29% de l'intégralité du bassin versant international de la Meuse
- Bassin peu peuplé : 57.6 hab./km² (120 pour la France et 97 pour la Région Grand Est)
- Deux parties :
 - amont : région de plateau
 - aval : dominée par le Massif ardennais



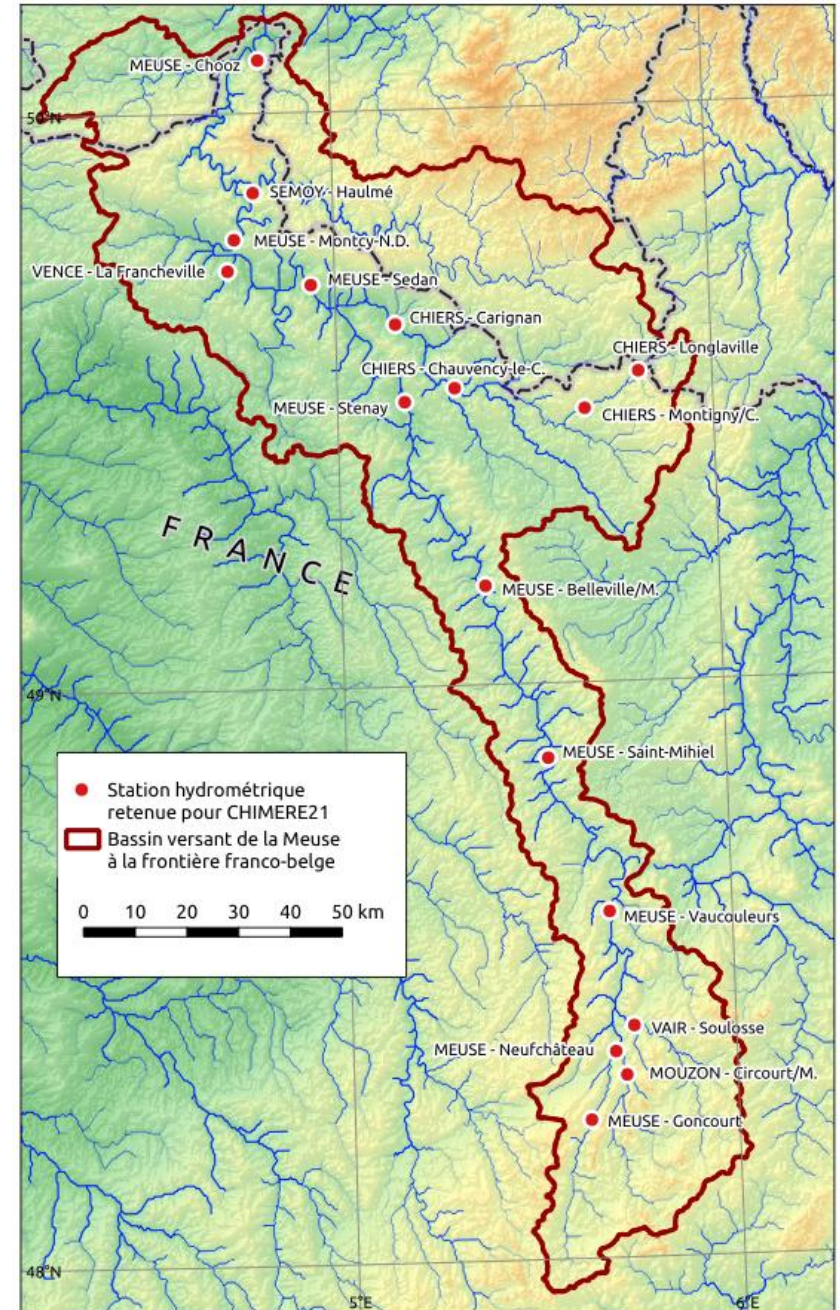
➤ Données hydroclimatiques

Données hydrométriques

- 17 stations sélectionnées.
- Données à l'échelle journalière issues de la Banque Hydro
- Absence de données d'usage continues sur la période d'étude (1970-2016) et influences faibles
 - Pas de naturalisation des débits à l'exception de la station de Chooz.
 - Données jugées significativement influencées non prises en compte dans l'évaluation des modèles

Données climatiques observées

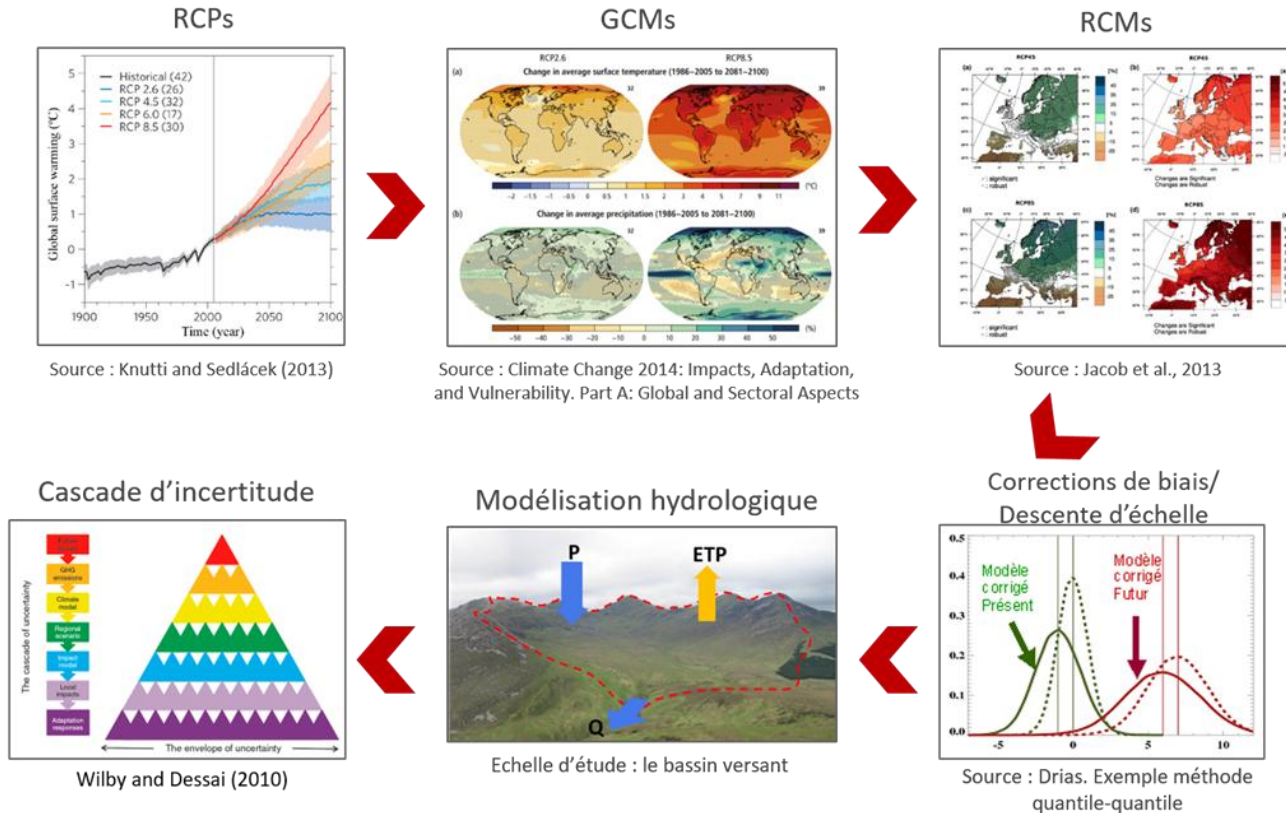
- Issues de la réanalyse SAFRAN : des observations de surface combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques



➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Les étapes de modélisation : chaîne de modélisation composée de plusieurs maillons

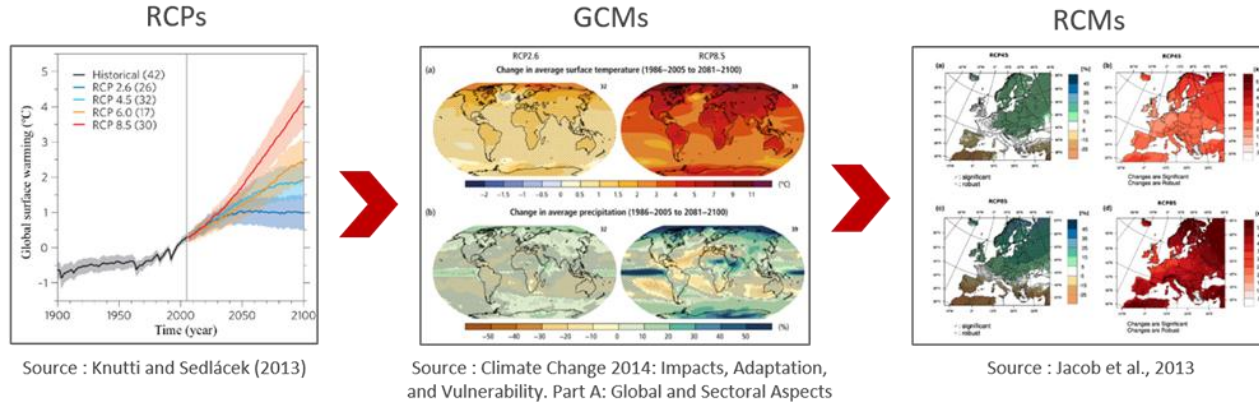


RCP = Radiative Concentration Pathway
 GCM = General Circulation Model
 RCM = Regional Climate Model

Figure de Lemaitre-Basset (2020)

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Sélection des données climatiques pour CHIMERE 21 :



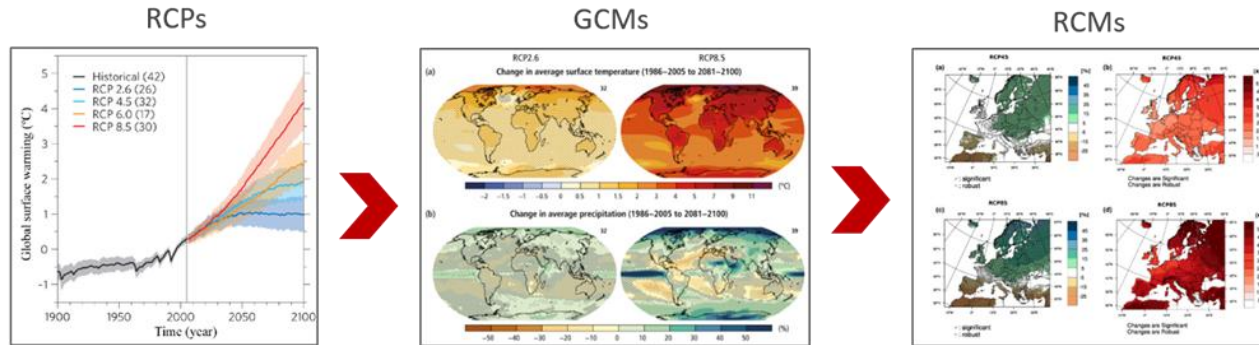
.RCP 4.5
.RCP 8.5

| | GCM | RCM |
|----------|-----------|-----------------|
| Couple 1 | CNRM-CM5 | ALADIN53 |
| Couple 2 | IPSL-CM5A | IPSL-INERIS-WRF |
| Couple 3 | CNRM-CM5 | RCA4 |
| Couple 4 | IPSL-CM5A | RCA4 |
| Couple 5 | MPI-ESM | RCA4 |

3 GCM différents, 3 RCM différents

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Correction de biais/descente d'échelle pour CHIMERE 21 :



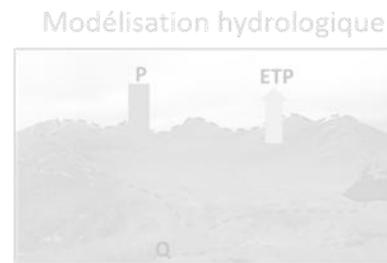
Source : Knutti and Sedláček (2013)

Source : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects

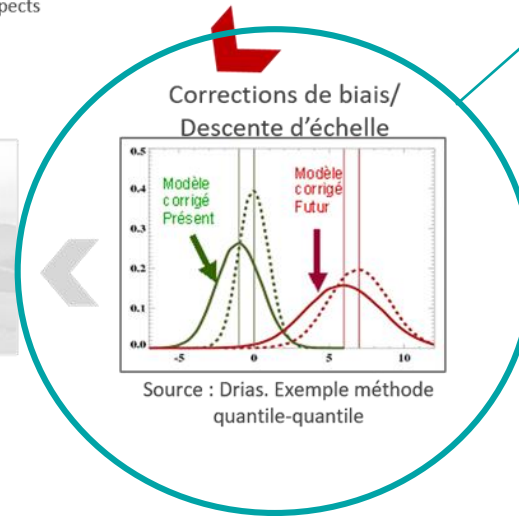
Source : Jacob et al., 2013



Wilby and Dessai (2010)



Echelle d'étude : le bassin versant



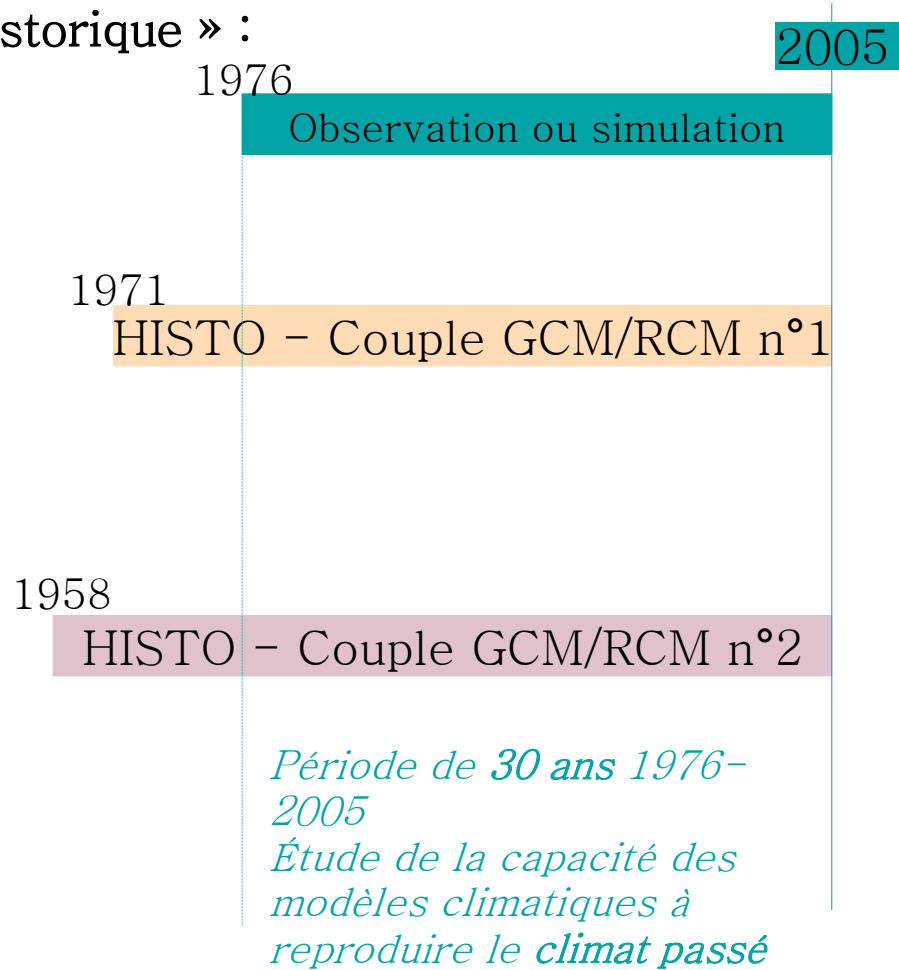
➤ADAMONT (Météo-France)

- Correction de biais statistique
- Entrée : RCM
- Sortie : données à pas de temps spatio-temporel fin

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Périodes temporelles :

Période « historique » :



Climat futur :

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Périodes temporelles :

Période « historique » :

1976

Observation ou simulation

2005

Climat futur :

1971

HISTO - Couple GCM/RCM n°1

RCP 4.5 - Couple GCM/RCM n°1

2100

RCP 8.5 - Couple GCM/RCM n°1

2100

1958

HISTO - Couple GCM/RCM n°2

RCP 4.5 - Couple GCM/RCM n°2

2100

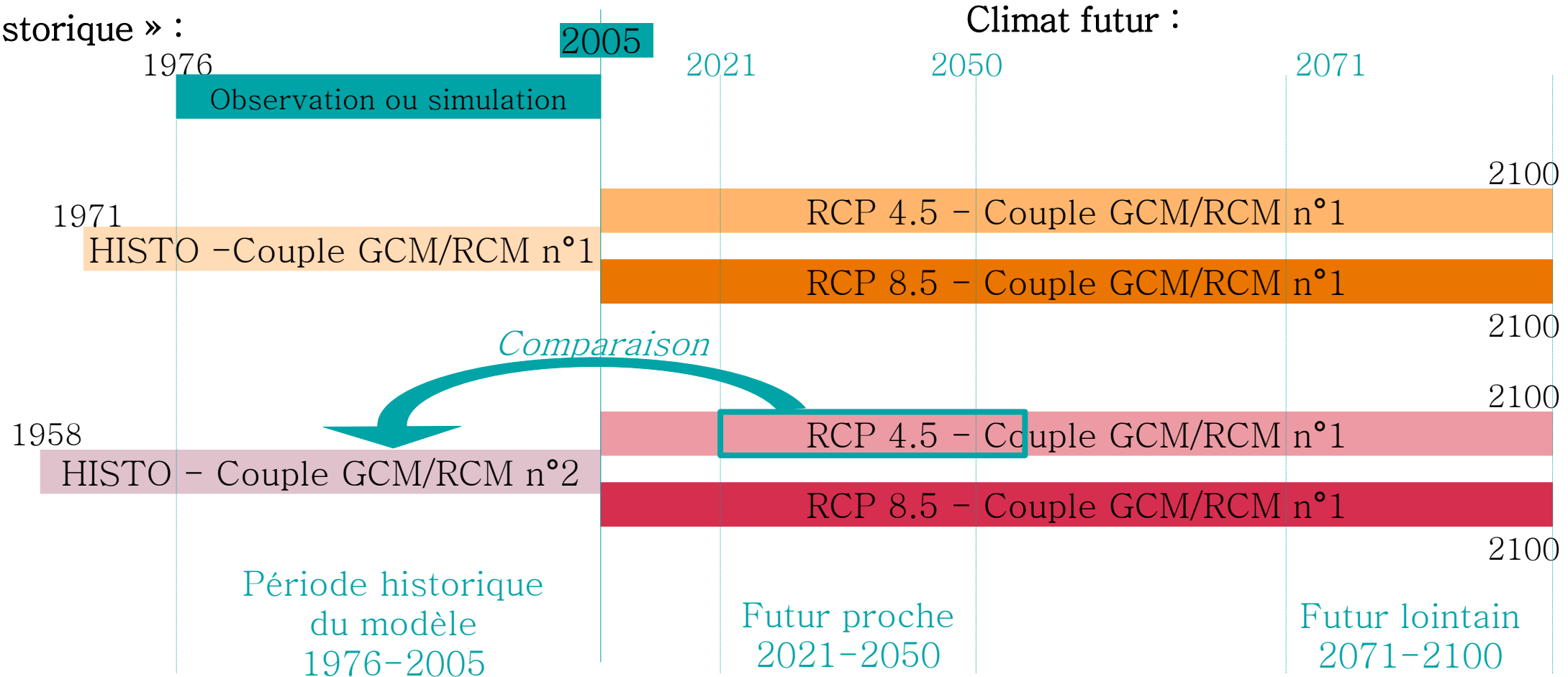
RCP 8.5 - Couple GCM/RCM n°2

2100

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Périodes temporelles :

Période « historique » :



➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Evolution climatique saisonnière sur le bassin de la Meuse :

| Été (tous modèles et RCP) | Températures |
|------------------------------|------------------|
| Futur proche | + 0,4 à + 1,2 °C |
| Futur lointain | + 1 à + 4,4 °C |

| Hiver (tous modèles et RCP) | Températures |
|--------------------------------|------------------|
| Futur proche | + 0,8 à + 1,5 °C |
| Futur lointain | + 1,8 à + 4,4 °C |

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Evolution climatique saisonnière sur le bassin de la Meuse :

| Été (tous modèles et RCP) | Températures | Précipitations |
|------------------------------|------------------|----------------|
| Futur proche | + 0,4 à + 1,2 °C | -14 à + 23 % |
| Futur lointain | + 1 à + 4,4 °C | -39 à + 21 % |

| Hiver (tous modèles et RCP) | Températures | Précipitations |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| Futur proche | + 0,8 à + 1,5 °C | + 1 à + 35 % |
| Futur lointain | + 1,8 à + 4,4 °C | + 18 à + 57 % |

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Evolution climatique saisonnnière sur le bassin de la Meuse :

Forte incertitude

| Été (tous modèles et RCP) | Températures | Précipitations | Hiver (tous modèles et RCP) | Températures | Précipitations |
|------------------------------|------------------|----------------|--------------------------------|------------------|----------------|
| Futur proche | + 0,4 à + 1,2 °C | -14 à + 23 % | Futur proche | + 0,8 à + 1,5 °C | + 1 à + 35 % |
| Futur lointain | + 1 à + 4,4 °C | -39 à + 21 % | Futur lointain | + 1,8 à + 4,4 °C | + 18 à + 57 % |

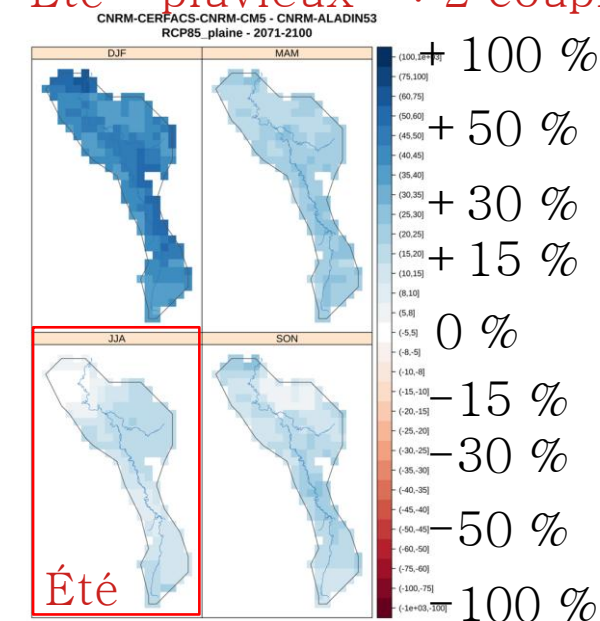
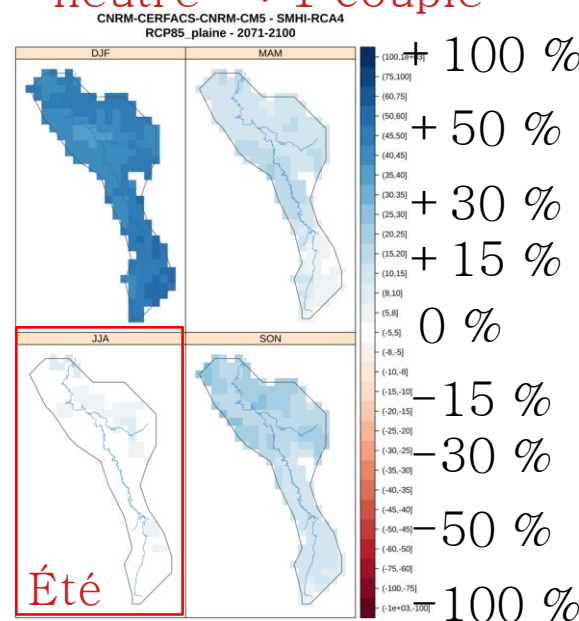
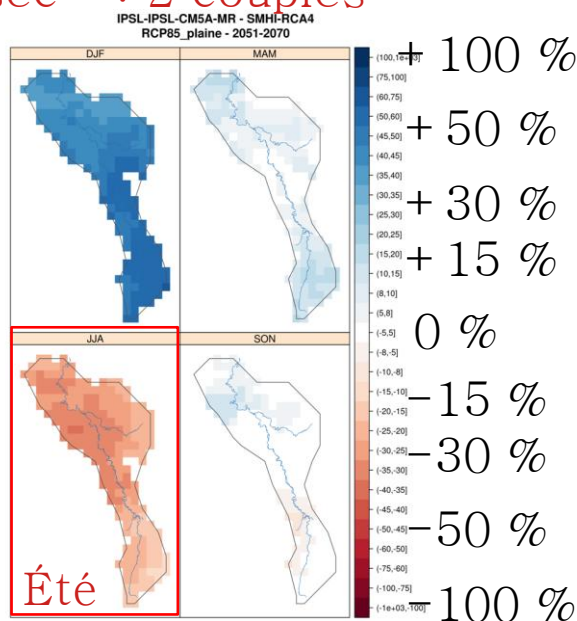
Été « sec » : 2 couples

Été « neutre » : 1 couple

Été « pluvieux » : 2 couples

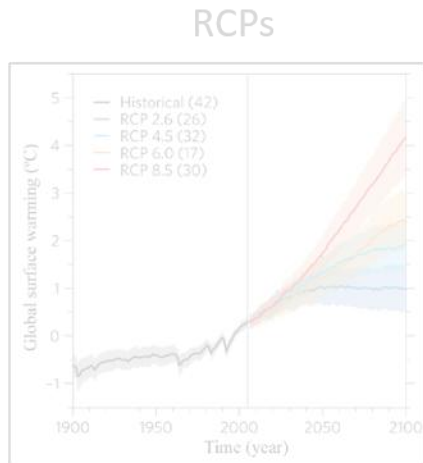
Futur lointain
RCP8.5

Écarts par rapport à la
Période historique

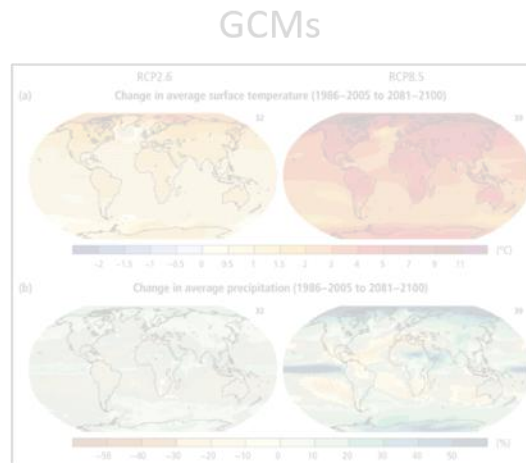


➤ Modélisation hydrologique du bassin

➤ La modélisation hydrologique



Source : Knutti and Sedláček (2013)



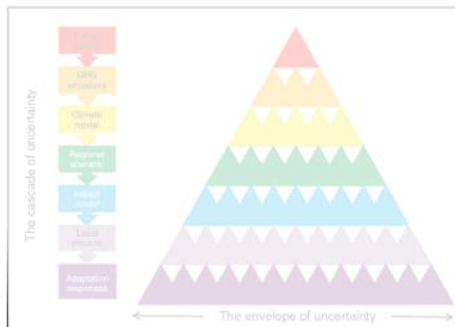
Source : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects



Source : Jacob et al., 2013



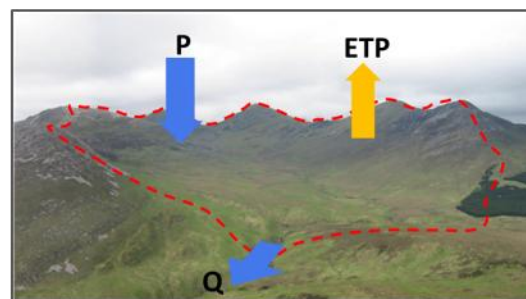
Cascade d'incertitude



Wilby and Dessai (2010)



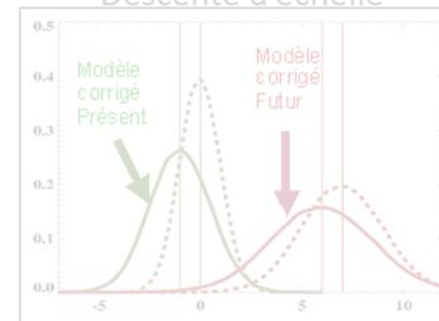
Modélisation hydrologique



Echelle d'étude : le bassin versant



Corrections de biais/ Descente d'échelle



Source : Drias. Exemple méthode quantile-quantile

Figure tirée de Lemaitre-Basset (2020)

➤ Modélisation hydrologique

Quatre modèles hydrologiques pour la prise en compte de l'incertitude liée aux modèles

Choix de quatre modèles hydrologiques :



GRSD

Conceptuel
Semi-distribué
(sous-bassins)



MORDOR

Conceptuel
Semi-distribué
(sous-bassins)



PRESAGES

Conceptuel
Global



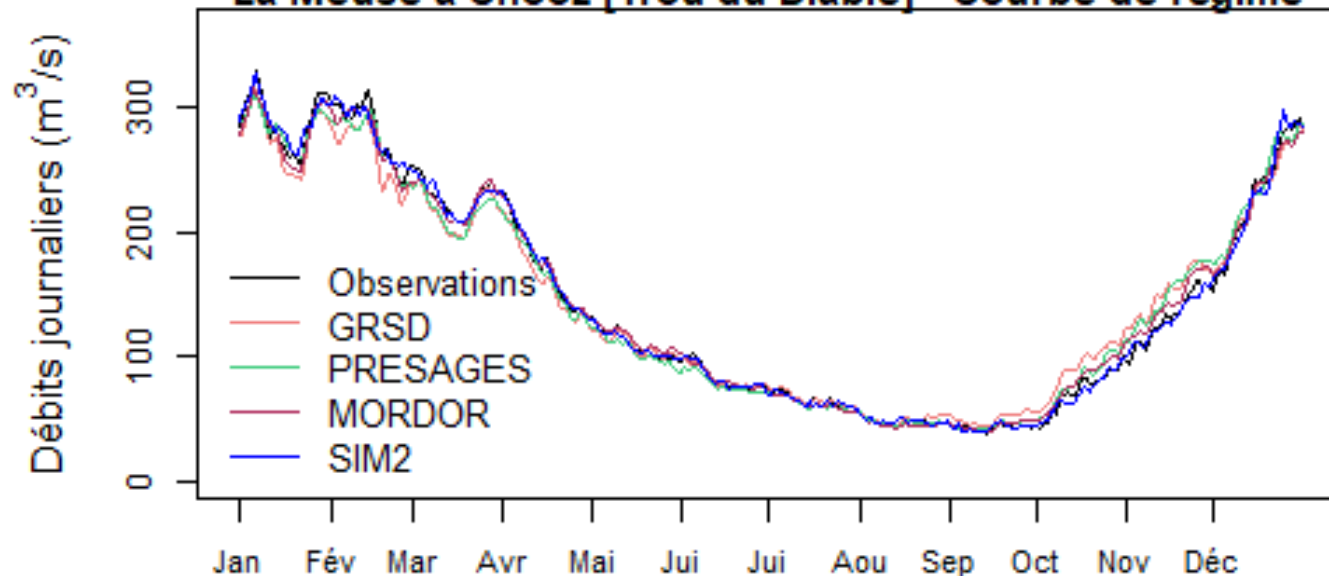
SIM2

A bases physiques
Distribué
(grille régulière)

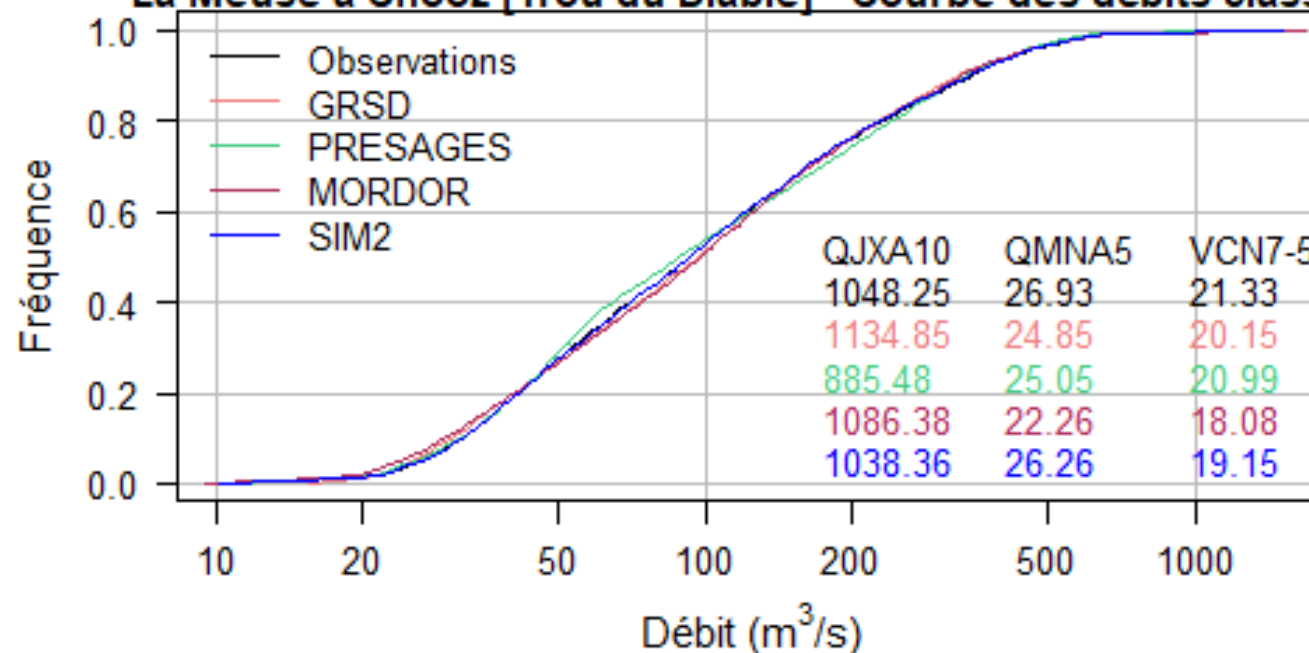
➤ Régimes simulés

- Très bonnes performances
- Légère sous-estimation des débits hivernaux
- Courbe de remontée des débits (automne) un peu surestimée
- Débits extrêmes en général bien représentés

La Meuse à Chooz [Trou du Diable] - Courbe de régime

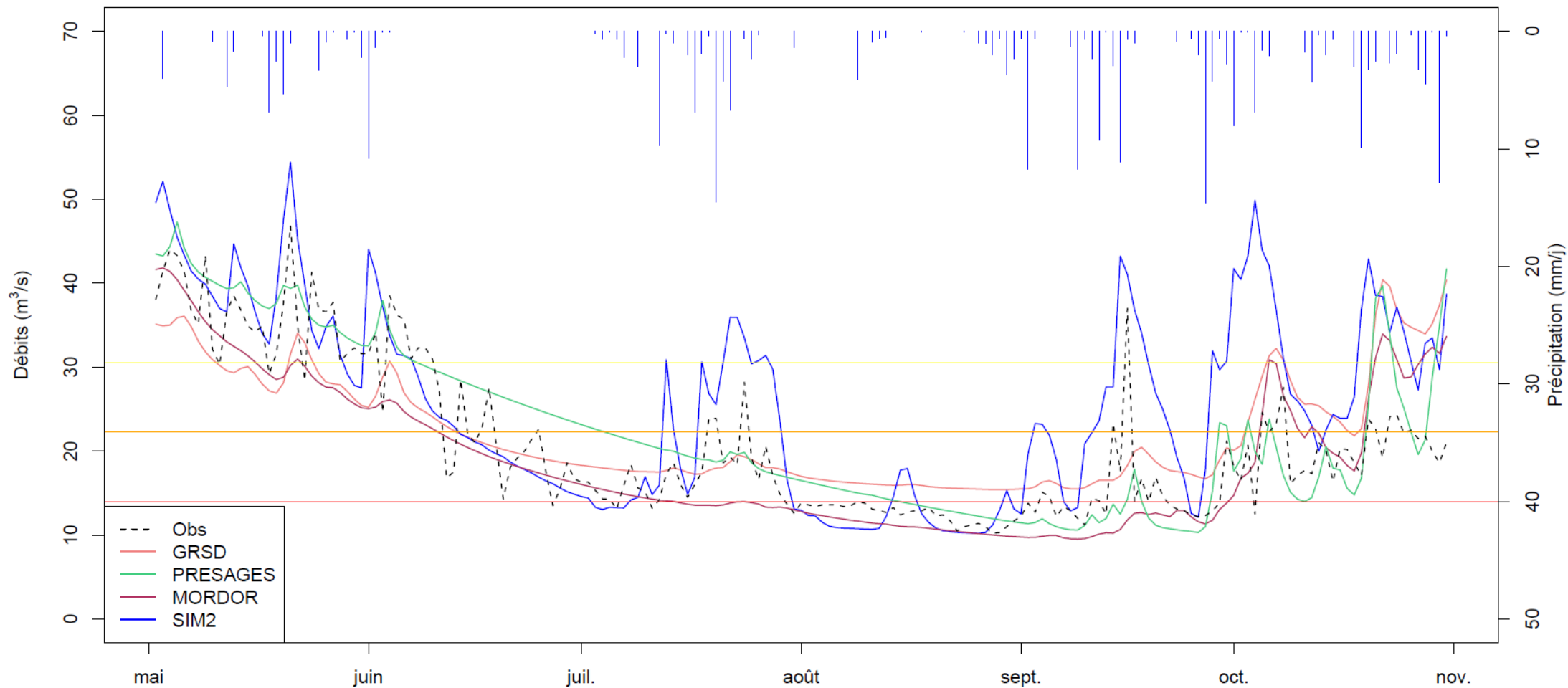


La Meuse à Chooz [Trou du Diable] - Courbe des débits classés



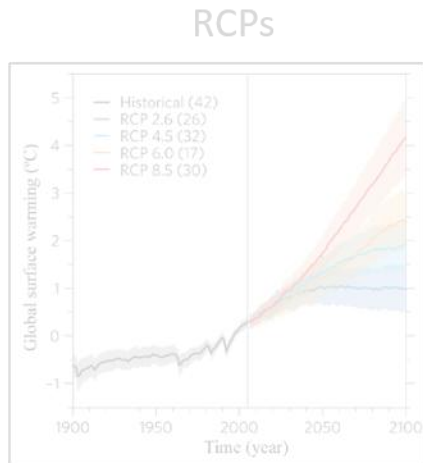
➤ Focus sur la sécheresse de 1976

Sécheresse de 1976 pour La Meuse à Chooz [Trou du Diable]

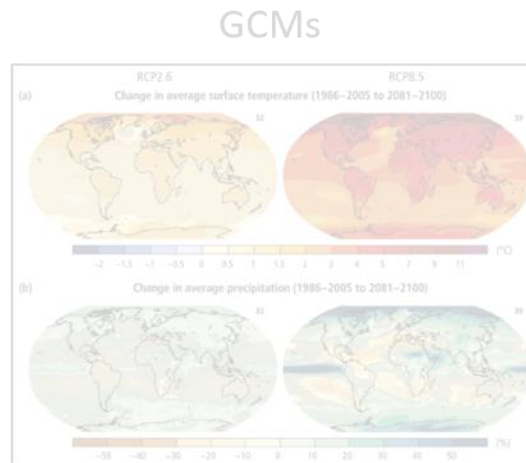


➤ Impact du changement climatique sur l'hydrologie du bassin

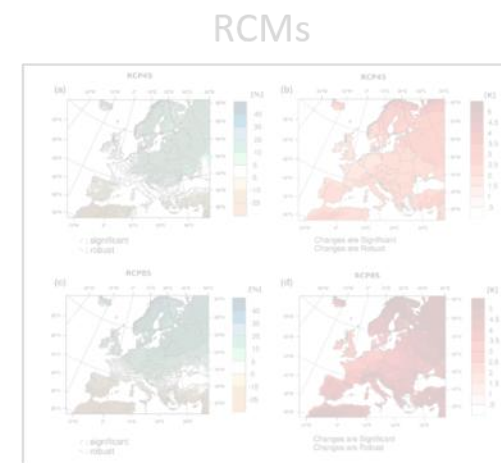
➤ Impact du changement climatique sur l'hydrologie du bassin



Source : Knutti and Sedláček (2013)



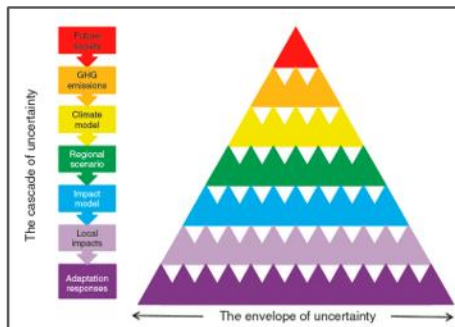
Source : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects



Source : Jacob et al., 2013



Cascade d'incertitude



Wilby and Dessai (2010)

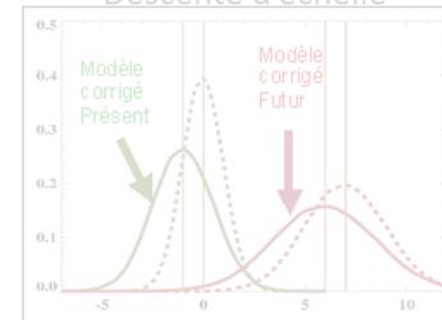


Modélisation hydrologique



Echelle d'étude : le bassin versant

Corrections de biais/ Descente d'échelle



Source : Drias. Exemple méthode quantile-quantile



➤ Une évaluation multi-aspect de l'impact du changement climatique sur les débits

Une analyse de l'impact du changement climatique réalisée selon quatre aspects différents :

- Les régimes hydrologiques
- Des indicateurs le long de la Meuse
- Une analyse des sources d'incertitudes
- Une analyse de la probabilité associée aux différentes tendances

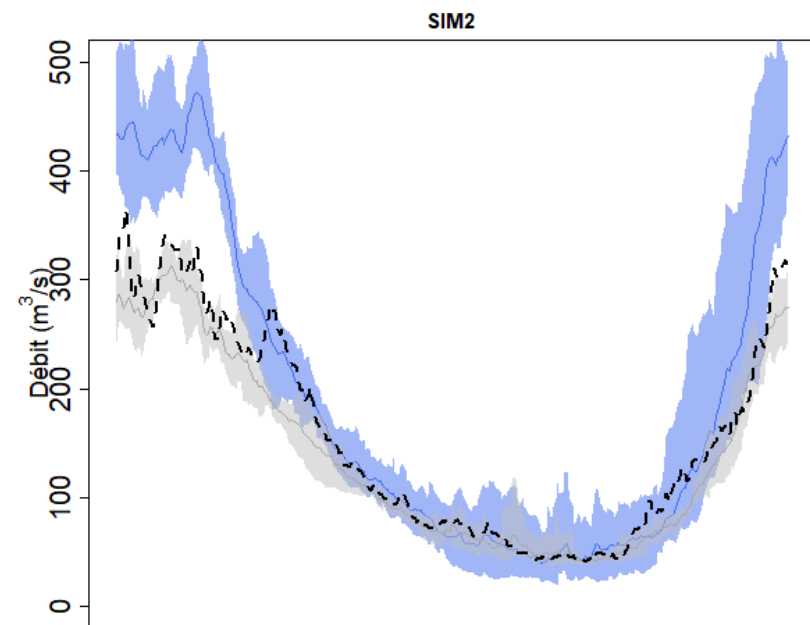
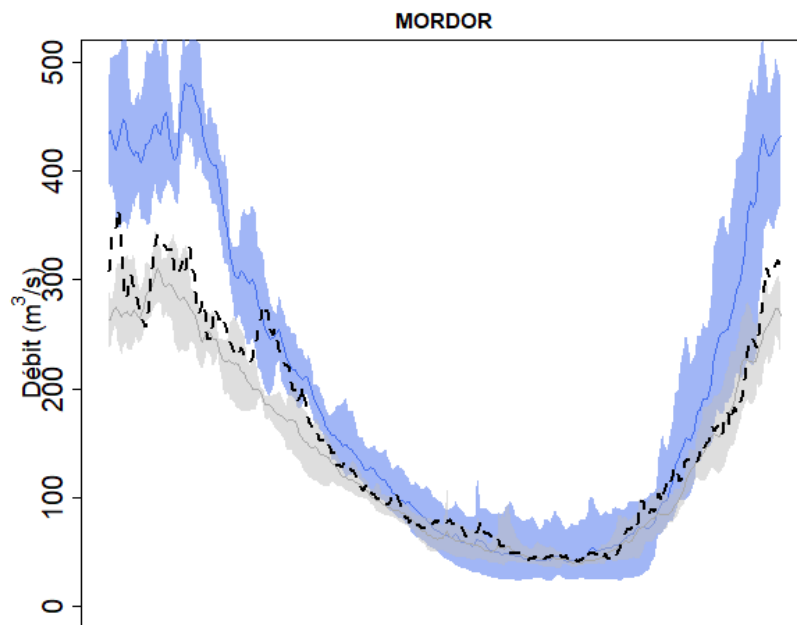
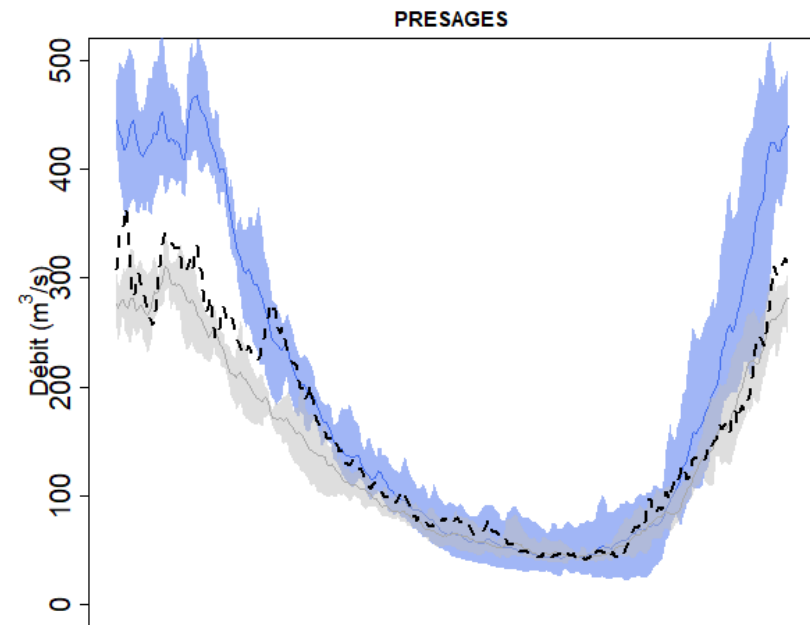
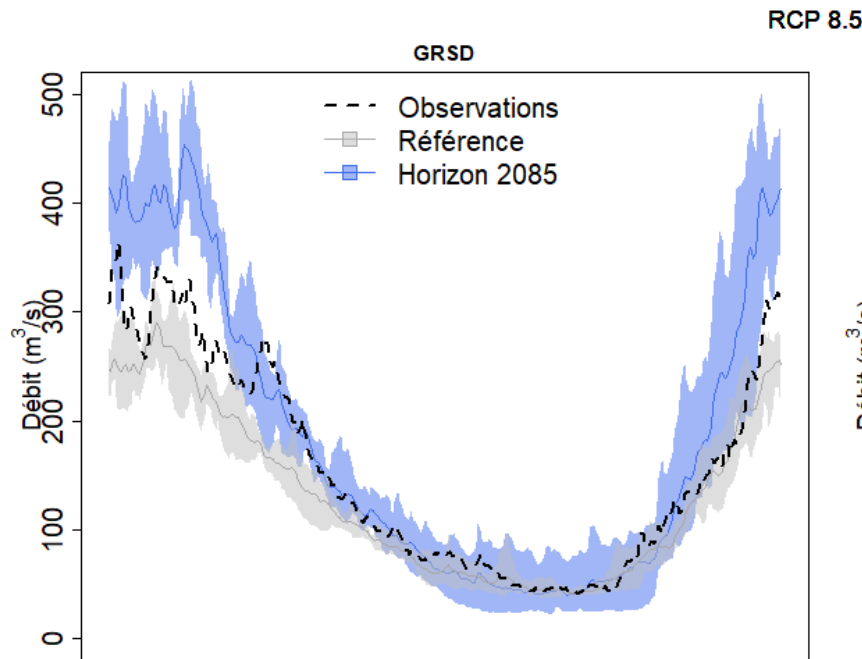
➤ Régimes futurs

RCP 8.5, Horizon 2051-2100

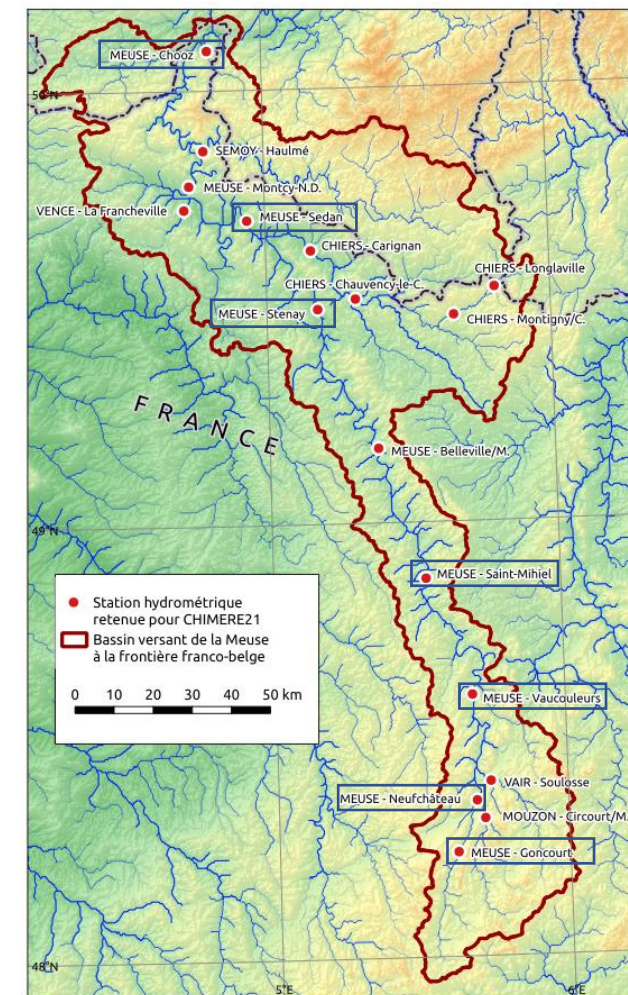
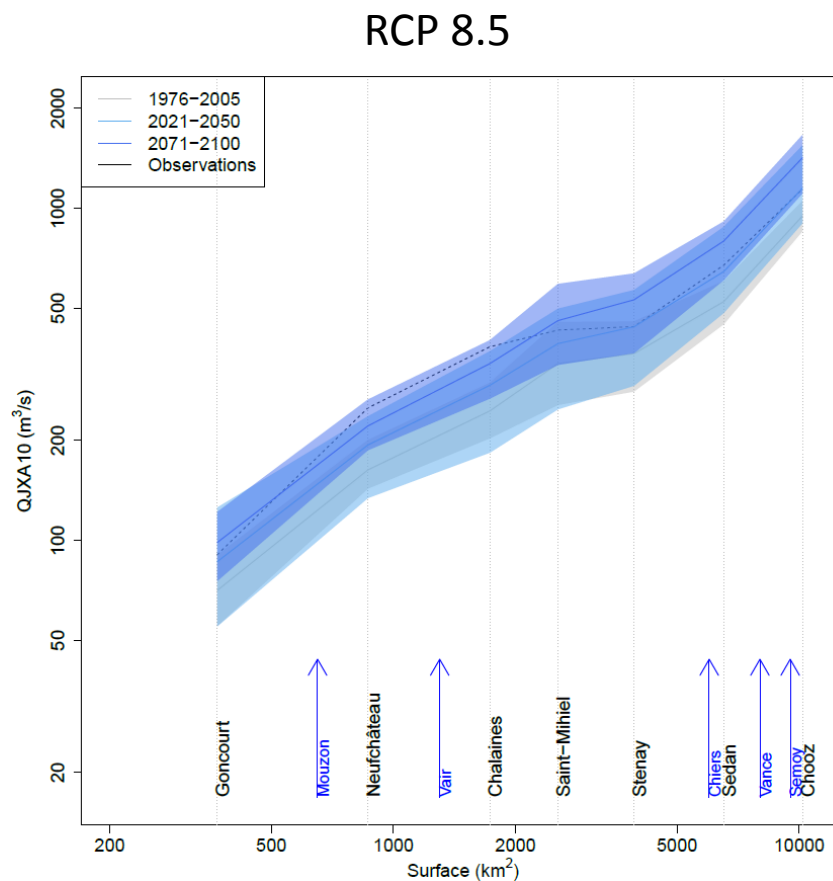
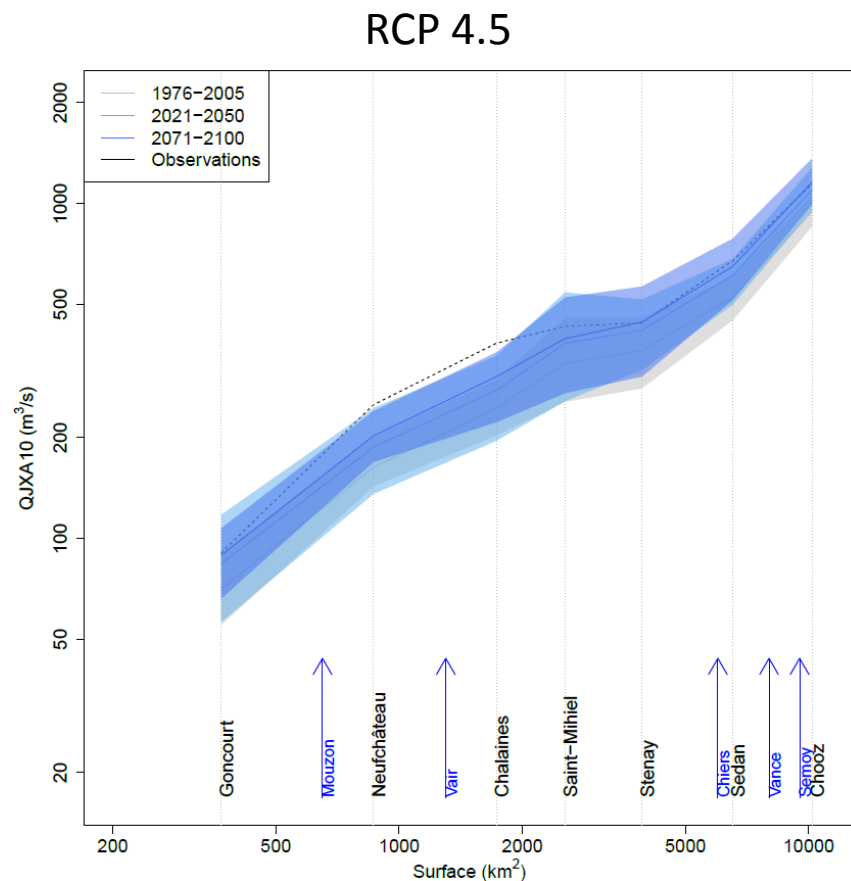
Analyse des régimes futurs (tous modèles climatiques inclus) pour la Meuse à Chooz

Forte augmentation des débits pour la période de hautes eaux

Forte incertitude sur les étiages



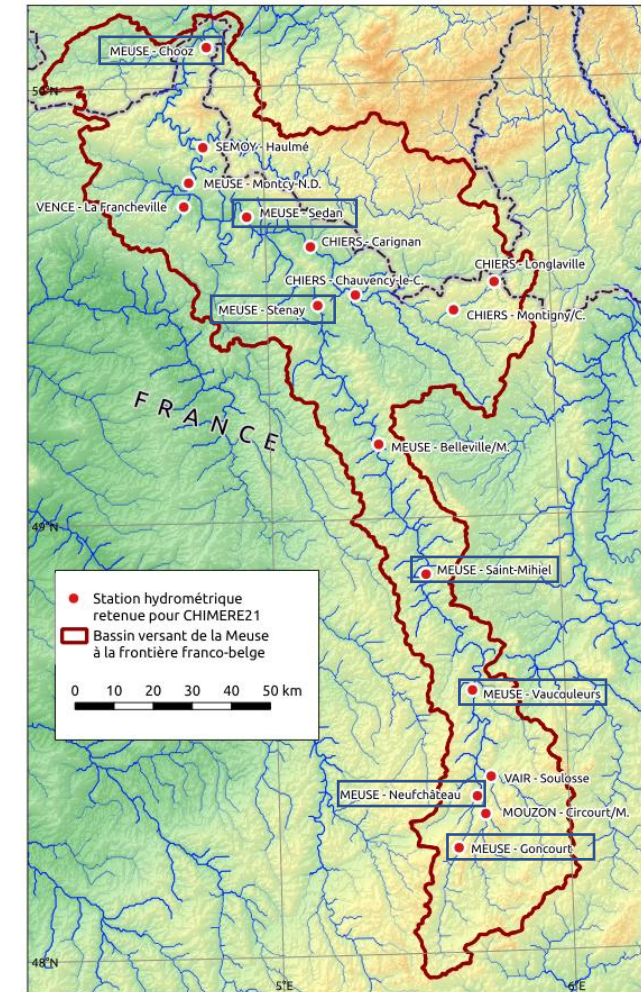
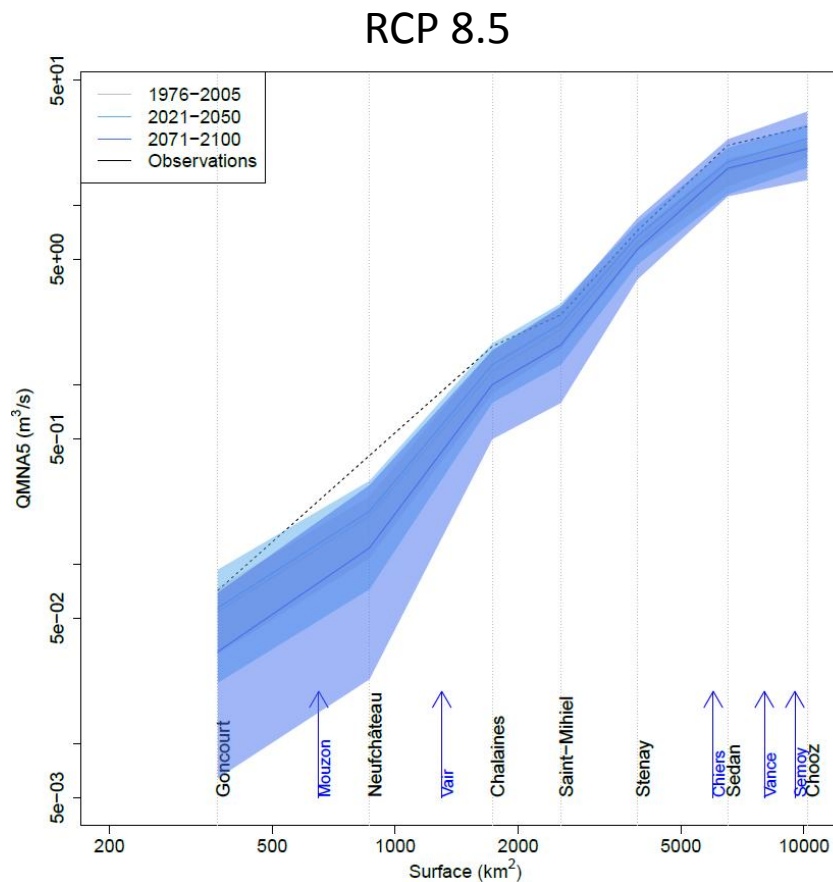
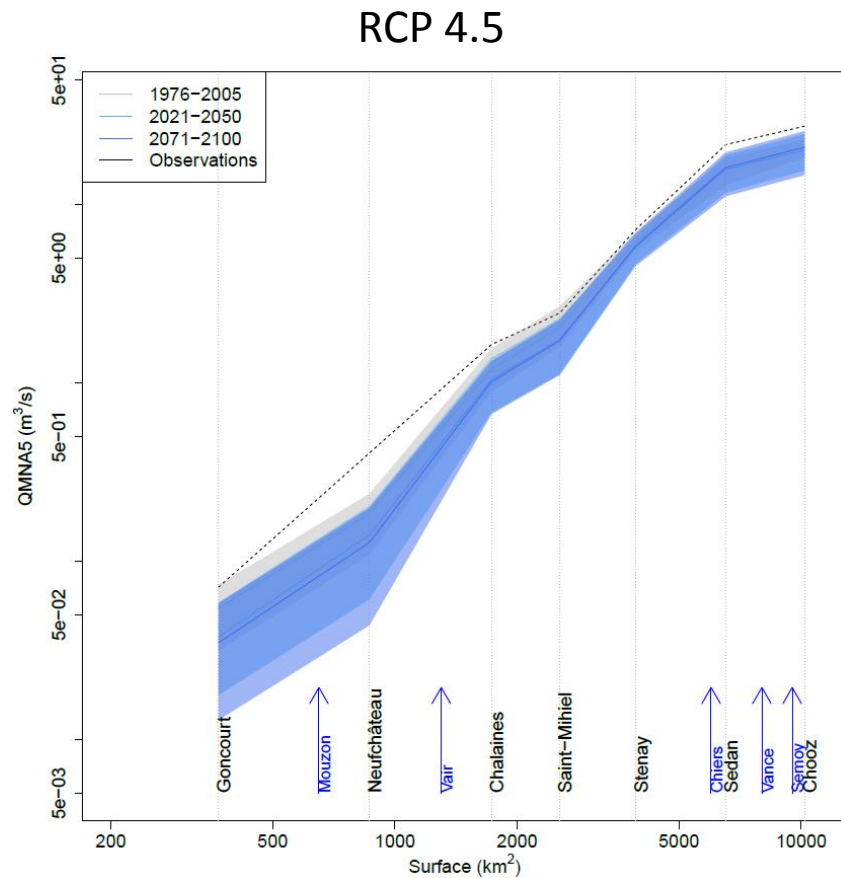
➤ Evolution des débits de crue sur le profil de la Meuse



RCP 4.5 : augmentation limitée (futur lointain seulement)

RCP 8.5 : augmentation importante pour le futur lointain, surtout en aval

➤ Evolution des débits d'étiage sur le profil de la Meuse



RCP 4.5 : diminution surtout à l'amont, mais qui reste légère

RCP 8.5 : diminution modérée à l'amont pour le futur lointain, faible sinon

➤ Quantification et hiérarchisation des incertitudes

Une méthode d'analyse récente pour mieux décrire les incertitudes

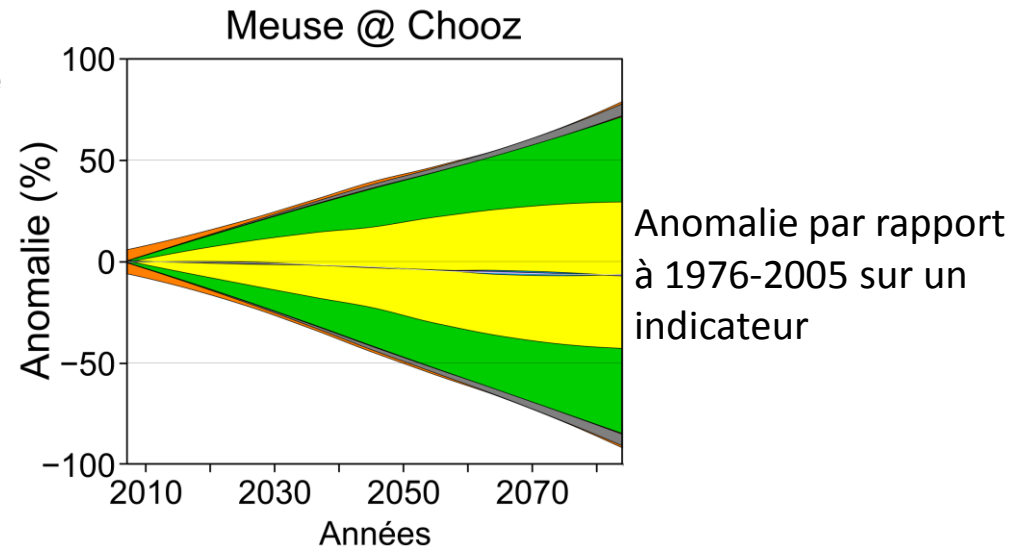
Utilisation de la méthode QUALYPSO (Evin et al., 2019) pour quantifier l'incertitude venant des différents maillons de la chaîne de modélisation :

- Détermination de la part relative de chaque maillon de la chaîne dans l'incertitude totale
- Possibilité de tracer l'évolution de l'incertitude dans le temps
- Enveloppe autour de la trajectoire moyenne de l'évolution d'indicateurs

Exemples :

Sources d'incertitude

- RCPs
- GCMs
- RCMs
- HMs
- HM Params
- Res. Var.
- Int. Var.



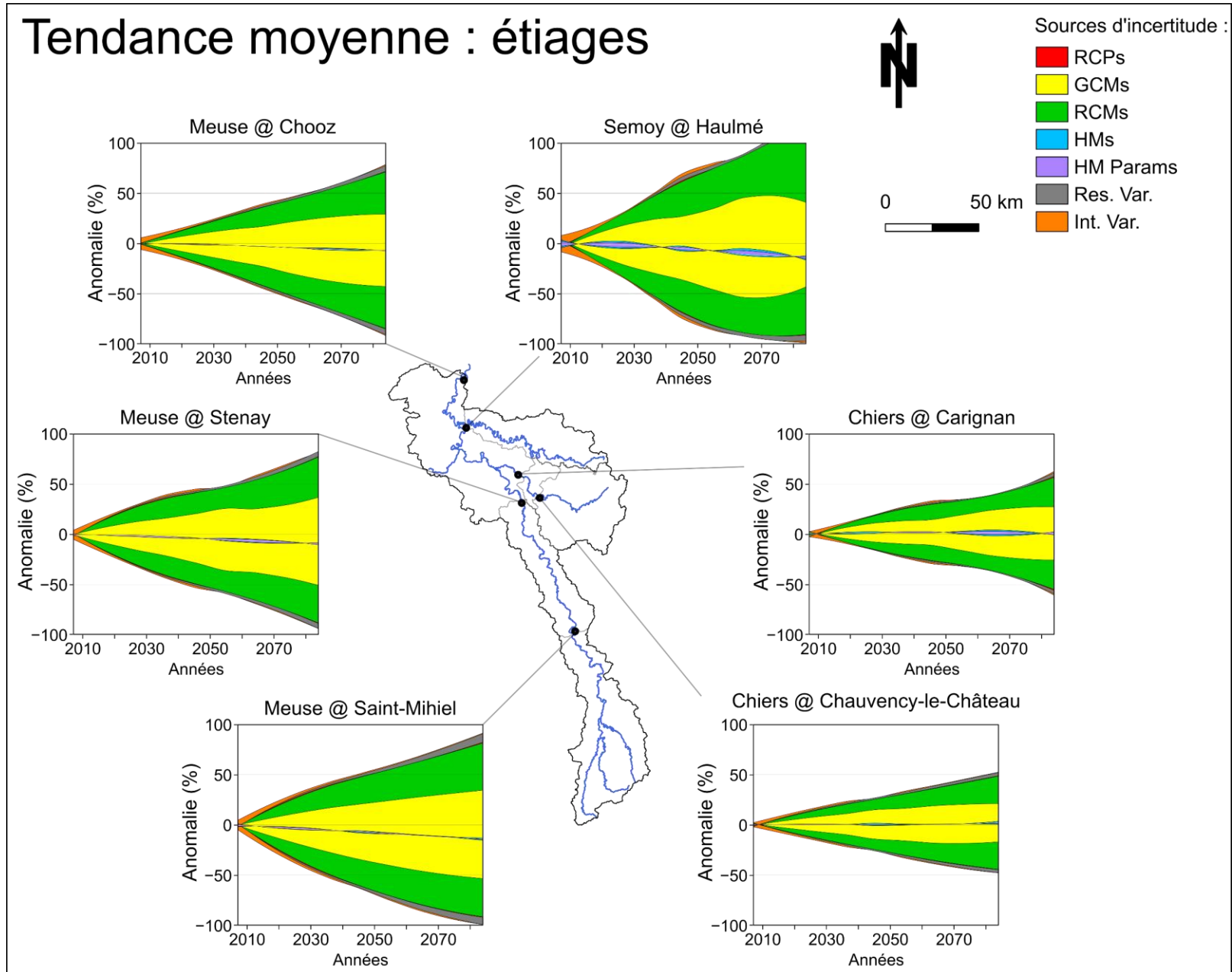
RCP = Radiative Concentration Pathway
GCM = General Circulation Model
RCM = Regional Climate Model
HM = Hydrological Model
Res. Var. = Residual Variability
Int. Var. = Internal Variability

➤ Quantification des incertitudes sur les étiages

Indicateur = VCN3

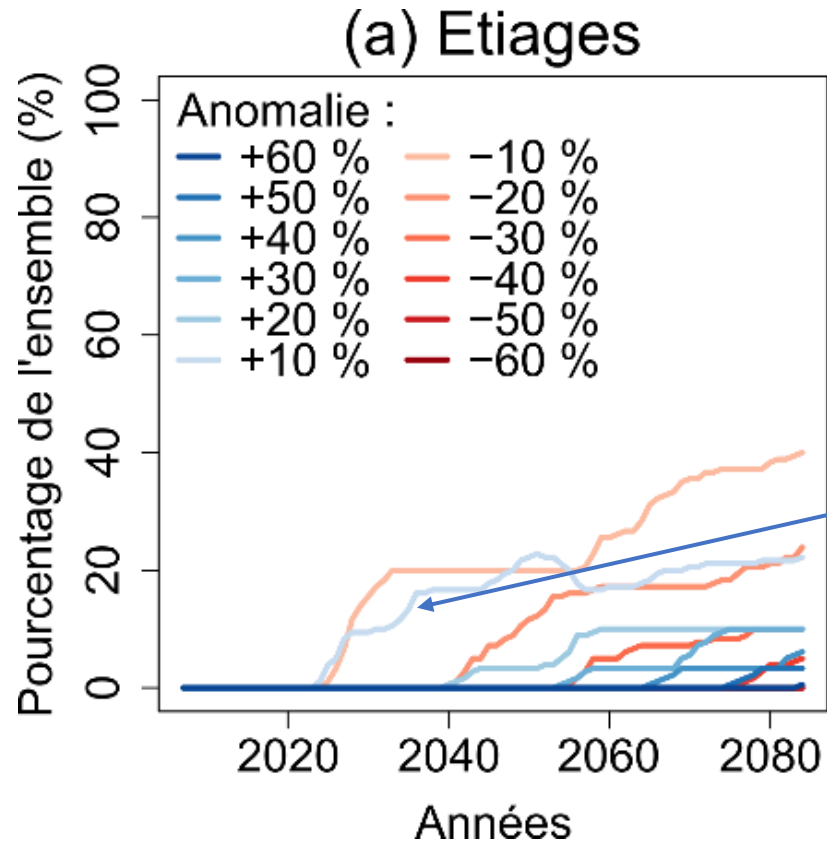
Très légère diminution moyenne (entre 0 et 10 %) de l'indicateur sauf à Chauvency et Carignan

Incertitude autour de l'évolution de l'anomalie croissante dans le temps et bien plus importante que l'évolution moyenne



➤ Probabilité des différentes tendances

Des analyses pour répondre aux questions suivantes : « Quelle est la probabilité qu'un indicateur change de X % sous contrainte climatique ? » et « A quel horizon temporel cette tendance pourrait émerger ? »



Pourcentage de toutes les simulations indiquant une augmentation d'au moins 10% des débits d'étiage (VCN3)

➤ Conclusions et perspectives

➤ Les conclusions principales de ce projet

Les évolutions hydroclimatiques

Evolution du climat :

- **Augmentation des températures**, d'autant plus qu'on se situe dans un scénario à émissions de GES fortes et dans un futur lointain
- **Evolution des précipitations hétérogène** : augmentation l'hiver, incertitude forte l'été

Evolution de l'hydrologie :

- **Evolution peu marquée l'été** de manière générale (**fortes incertitudes**), possible diminution des débits en amont
- **Augmentation des débits pendant l'hiver**, notamment en aval
- **Analyse des incertitudes** : la modélisation climatique (notamment les précipitations) porte l'essentiel des incertitudes sur le devenir des débits de la Meuse

➤ Les productions du projet CHIMERE 21

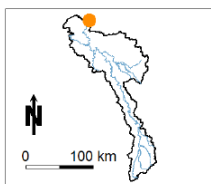
Rapports produits

- **Un rapport final** : <https://hal.inrae.fr/hal-03206168>
Thirel, G., Collet, L., Rousset, F., Delaigue, O. François, D., Gailhard, J., Le Lay, M., Perrin, C., Reverdy, M., Samacoits, R., Terrier, M., Vidal, J.-P., Wagner, J.-P., Projet CHIMERE 21. CHlers - Meuse : Evolution du RégimE hydrologique au 21^e siècle. Rapport final. Agence de l'Eau Rhin-Meuse, convention n° 17C08004. 23/04/2021. 152 pp.
- **Un rapport spécifique sur la naturalisation** : <https://hal.inrae.fr/hal-03267959>
Terrier, M., Perrin, C., Thirel, G., 2018. Projet CHIMERE 21, rapport sur la naturalisation des débits. Vers une estimation des débits naturels sur le bassin versant de la Meuse. 12/09/2018. 54 pp.
- **Un rapport spécifique sur la prévision de seuils de vigilance sécheresse** : <https://hal.inrae.fr/hal-03121126>
Collet, L., Thirel, G., Perrin, C., Gailhard, J., Vidal, J.-P., Rousset, F., Wagner, J.-P. CHlers - Meuse : Evolution du RégimE hydrologique au 21^e siècle, 2020. Prévision de seuils de vigilance sécheresse : tests de régression logistique avec des données hydro-climatiques. Rapport de recherche. INRAE. 2020. 25p. {hal-03121126}

Projet CHIMERE 21

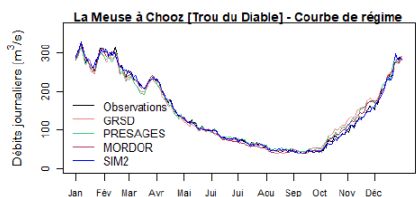
Fiche synthétique

B7200000 – La Meuse @ Chooz [Trou du Diable]

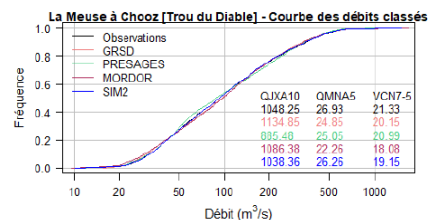
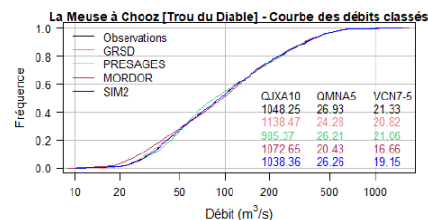
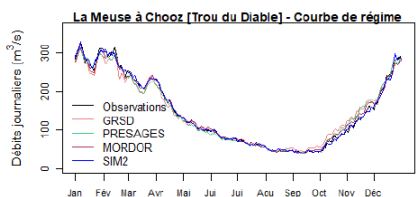


CALAGE DES MODELES

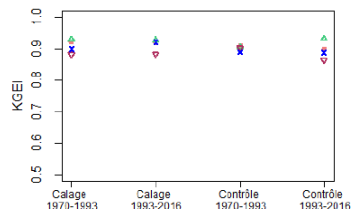
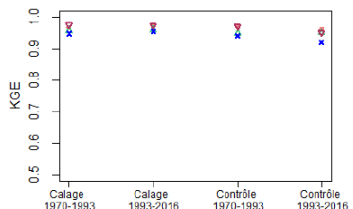
Calage régime



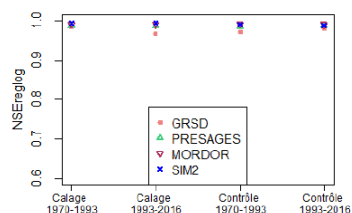
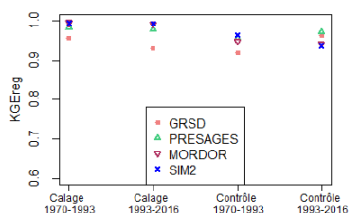
Calage étiages



PERFORMANCE SUR 1970-2016



ROBUSTESSE



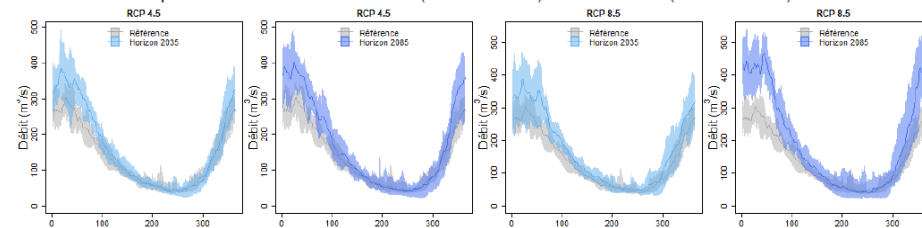
Les fiches synthétiques

<- page 1

Page 2 ->

PROJECTIONS FUTURES

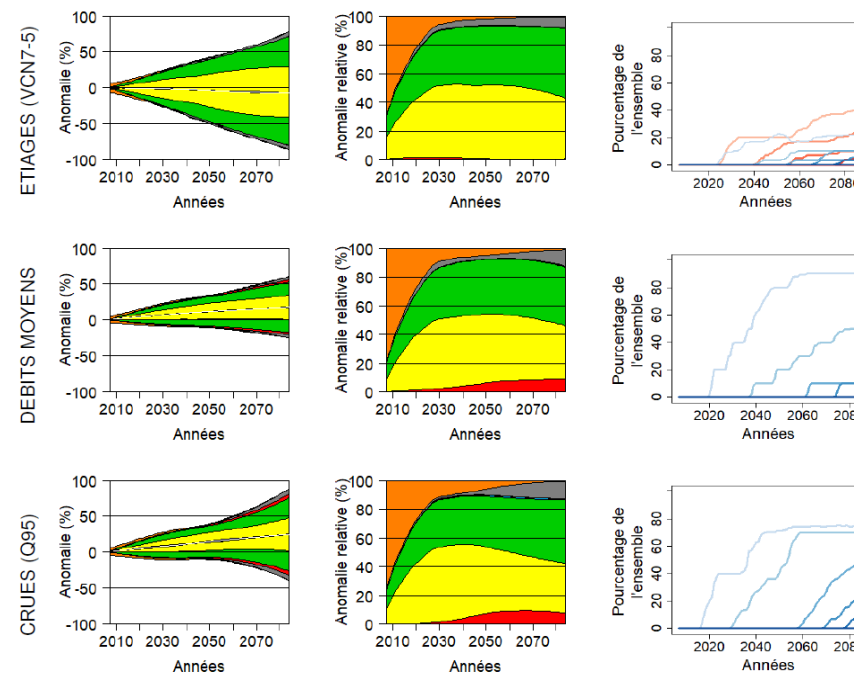
Régimes interannuels projetés, tous modèles hydrologiques confondus : période de référence = 1976-2005, périodes futures = 2021-2050 (horizon 2035) et 2071-2100 (horizon 2085)



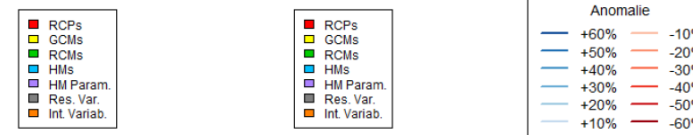
Incertitudes et tendances Anomalie

Hierarchisation

Probabilité de tendance



LEGENDES



➤ Perspectives

Les travaux de CHIMERE 21 permettent d'alimenter les réflexions sur les stratégies d'adaptation :

- Evolutions de débits entrevues dans ce projet qui soulèvent des enjeux forts :
 - Augmentation des débits sur le secteur de Sedan, qui est un Territoire à fort risque d'inondations
 - Evolution possible à la baisse des débits d'étiage en amont

LIFE Eau&Climat (<https://www.gesteau.fr/life-eau-climat>) : un projet qui a pour but d'aider les acteurs de la gestion locale des ressources en eau, en particulier dans le cadre des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), à évaluer les effets du changement climatique, à les prendre en compte dans leur planification et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation

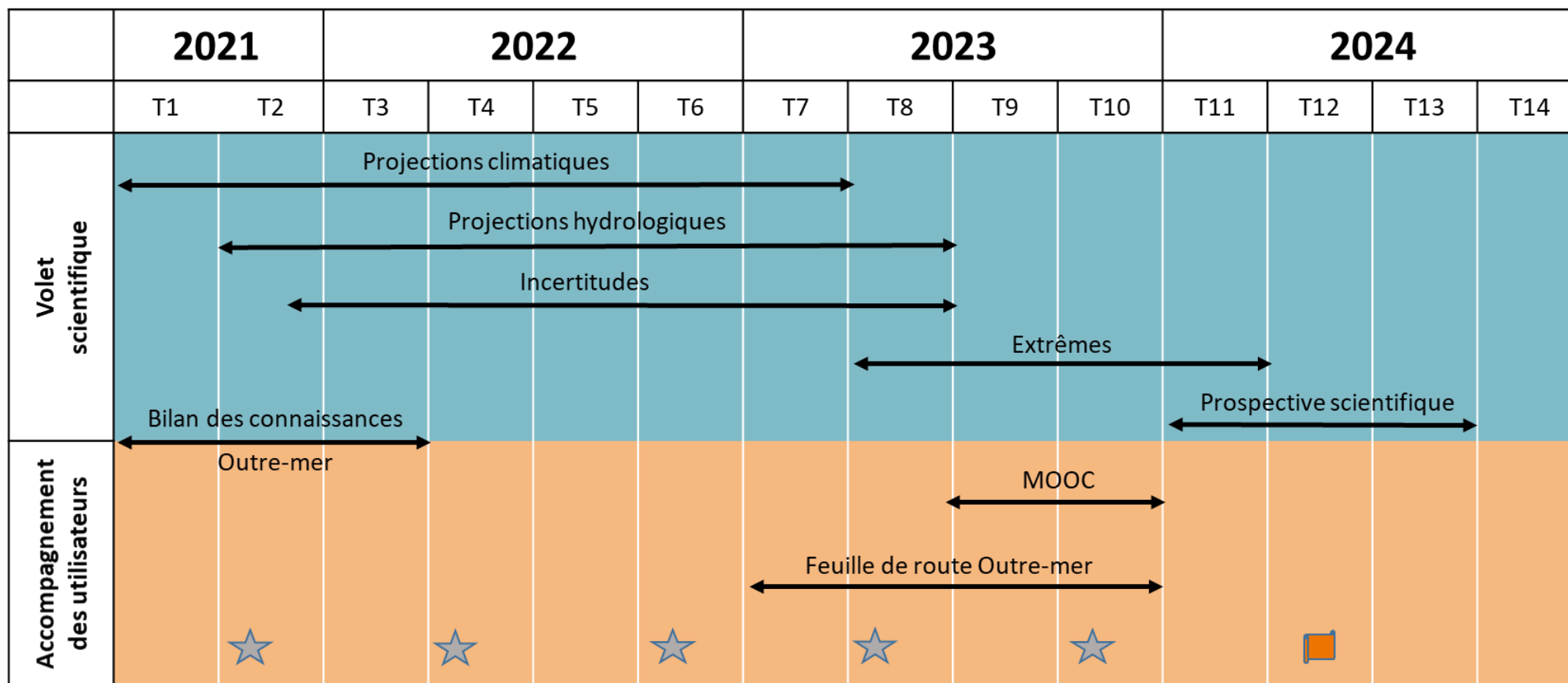
➤ Explore 2

Objectif principal : apporter des connaissances scientifiques sur l'impact du changement climatique sur le climat et l'hydrologie (ressource, aléa)

<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

★ Comités d'utilisateurs (COUT) Métropole et Outre-mer

📅 Conférence finale



Mise à disposition des projections hydro-climatiques sur l'extension Eau du portail DRIAS

Volet « Accompagnement des utilisateurs »

Deux comités d'utilisateurs (COUT)

COUT Métropole

MTE, MAA, OFB, AE,
DREAL, DDT, bureaux
d'études, collectivités

COUT Outre-mer

MTE, MOM, OFB, ODE,
DEAL, collectivités

Supports de communication, formations

Réflexion sur le format de présentation
des données et leur accès

Recensement des besoins en données et
en information dans les Outre-mer

→ MOOC pour expliquer les résultats du
projet (notions scientifiques sur le
changement climatique, bonne utilisation
des résultats des
simulations, etc.)



Volet scientifique

Coordination des simulations
(sélection des projections, des
variables d'intérêt, des points de
simulation, etc.)

Bilan des connaissances en
France métropolitaine et
dans les Outre-mer

→ Rapports de synthèse,
séries temporelles de variables
climatiques et hydrologiques,
calcul d'indicateurs statistiques pour la gestion de l'eau

