



HAL
open science

Etudes d'impact du changement climatique

Guillaume Thirel, Lila Collet

► **To cite this version:**

| Guillaume Thirel, Lila Collet. Etudes d'impact du changement climatique. 2019. hal-03276739

HAL Id: hal-03276739

<https://hal.inrae.fr/hal-03276739>

Submitted on 2 Jul 2021

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.



Etudes d'impact du changement climatique

Journée Changement Climatique
Agence Française de Développement

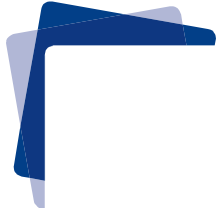
24/06/2019

Guillaume Thirel – guillaume.thirel@irstea.fr

Lila Collet – lila.collet@irstea.fr



Equipe Hydrologie, UR HYCAR
Iristea, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, 92761 Antony Cedex,
<http://webgr.irstea.fr>



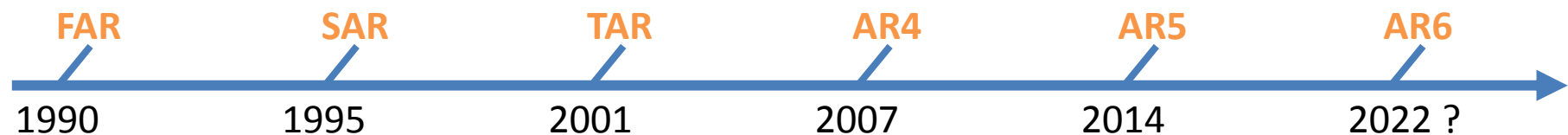
Introduction générale

Objectifs :

- Présenter la méthodologie d'étude de l'impact du changement climatique
- Aborder la prise en compte des incertitudes

IPCC / GIEC

- Deux sessions plénières par an
- Trois groupes de travail :
 - Etude des principes physiques du changement climatique
 - Etude des impacts, de la vulnérabilité et de l'adaptation
 - Etude des moyens d'atténuation du CC
- Rapports d'évaluation + rapports de synthèse et résumé pour les décideurs :



- Prix Nobel de la paix en 2007 pour le GIEC et son ancien vice-président Al Gore

Impacts du changement climatique

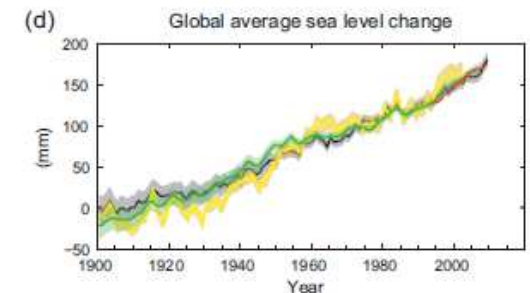
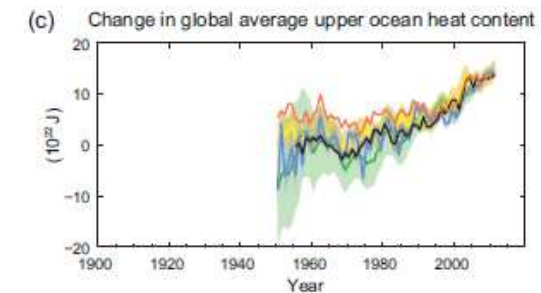
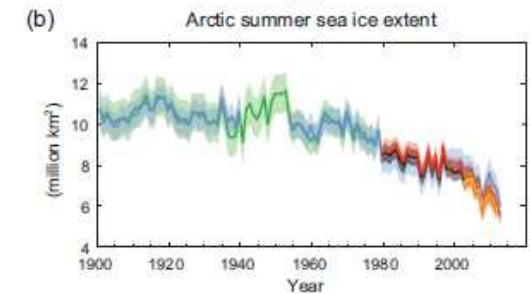
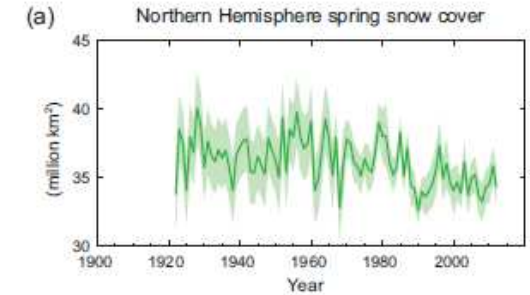
Des impacts déjà observés : quelles conséquences?

⇒ diminution de la couverture neigeuse

⇒ diminution de la banquise

⇒ augmentation de la température des océans

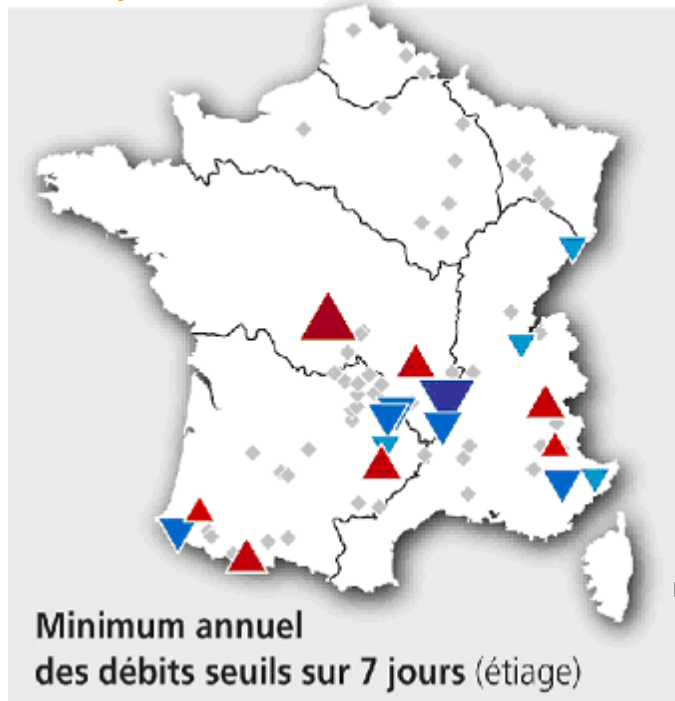
⇒ augmentation du niveau moyen des océans



Tendances passées : quelques résultats en France

- ✓ Tests de **détection d'évolutions** : séries hydrométriques en France (crues et étiages)

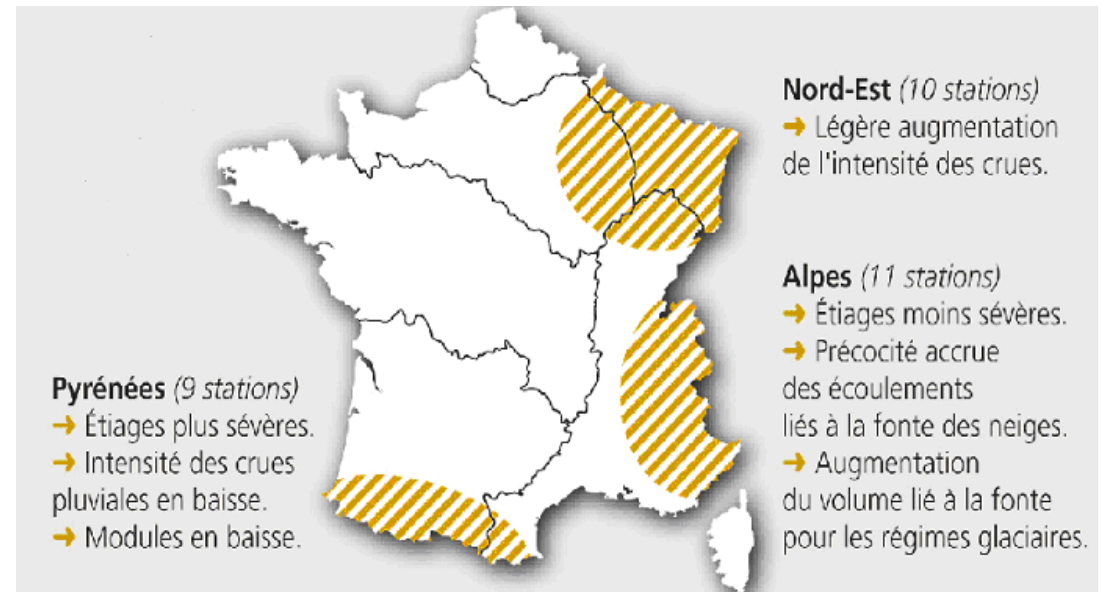
Analyse locale



Changement sur la moyenne (significativité)



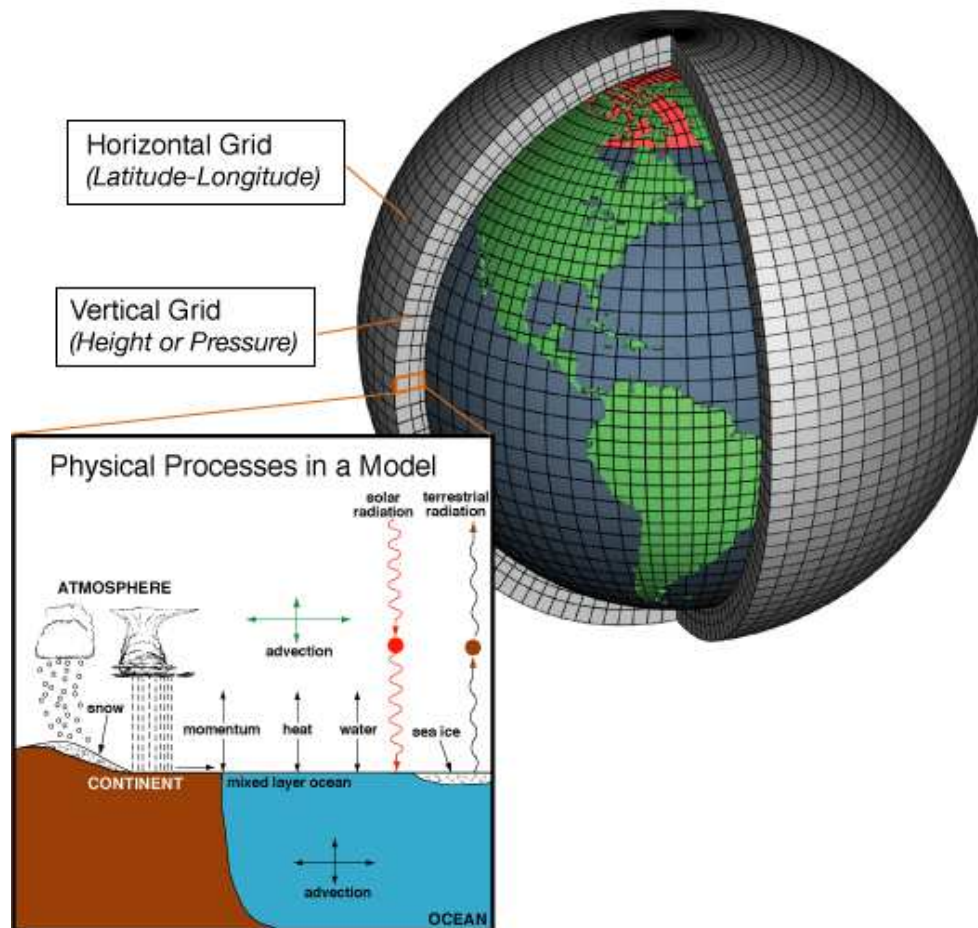
Analyse régionale



Renard *et al.*, 2006. Évolution des extrêmes hydrométriques en France à partir de données observées. La Houille blanche, 6, 48-54.

Lang *et al.*, 2003. Projet PNRH : Détection de changements éventuels dans le régime des crues : Convention INSU 02CV036. 75 p.

Les modèles de circulation générale (GCM)

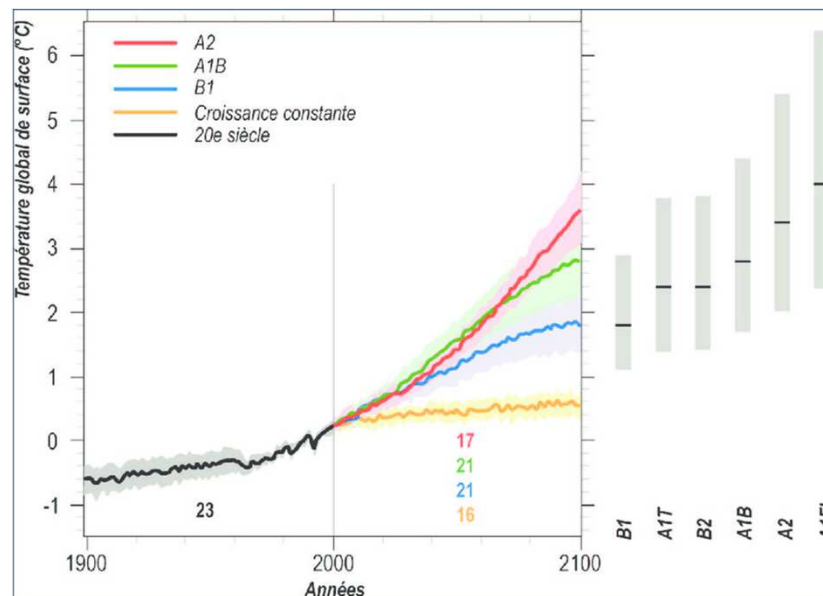


- Simulent la circulation atmosphérique et la circulation océanique
- Basés sur les équations de Navier-Stokes
- Mailles grossières
- Temps de calcul longs

Ces modèles ont besoin de forçages d'émission de gaz à effet de serre

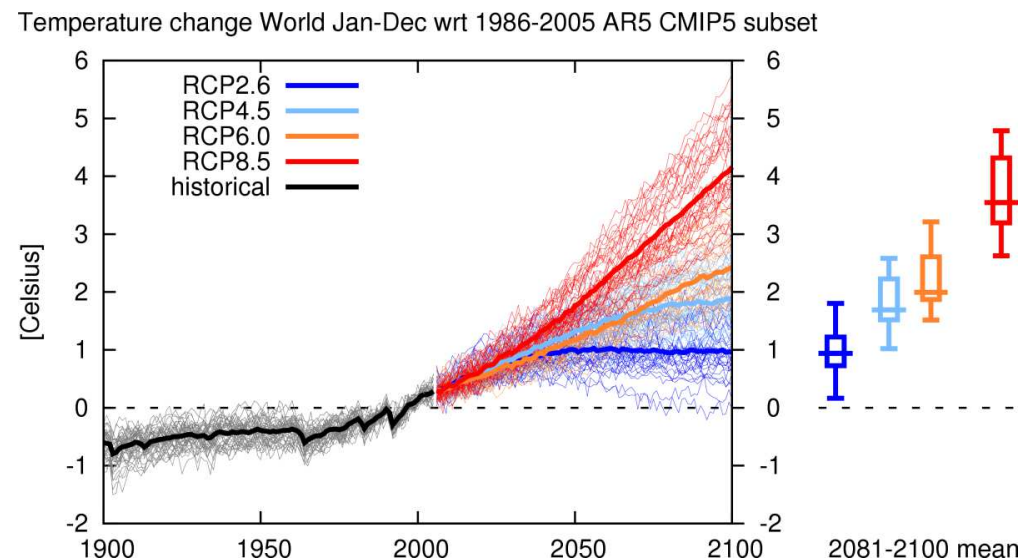
Les scénarios de gaz à effet de serre

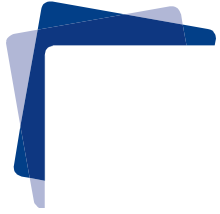
- Les scénarios SRES (AR4, CMIP3, 2007)
 - Quatre scénarios (narratives) décrivent des hypothèses d'évolutions démographiques, sociales, économiques, technologiques et environnementales
 - Ces quatre scénarios, traduits en scénarios d'émissions ou de concentration de gaz à effet de serre, forcent les modèles climatiques



Les scénarios de gaz à effet de serre

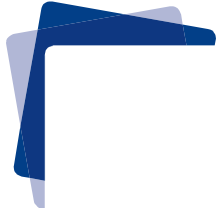
- Les scénarios Representative Concentration Pathway (RCP, AR5, CMIP5, 2012)
 - 4 scénarios de forçage radiatif et d'évolution des sols définis a priori
 - Ces 4 scénarios forcent les modèles climatiques
 - RCP2.6 : atténuation
 - RCP8.5 : tendanciel





Sorties des GCM

- **Variables d'intérêt** pour nous
 - Précipitation, température, vitesse du vent, humidité de l'air, rayonnements
- **Résolution spatiale**
 - Grille de 50 à 200 km de côté
- **Résolution temporelle**
 - Journalier



Projections climatiques

Climate Model Intercomparison Projects

- CMIP3 (AR4 – 2007) : basé sur les scénarios SRES
- CMIP5 (AR5 – 2013) : basé sur les scénarios RCP

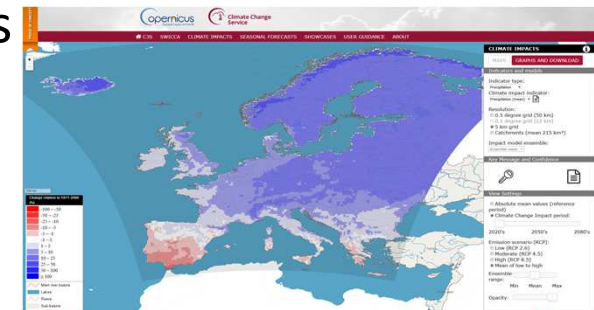
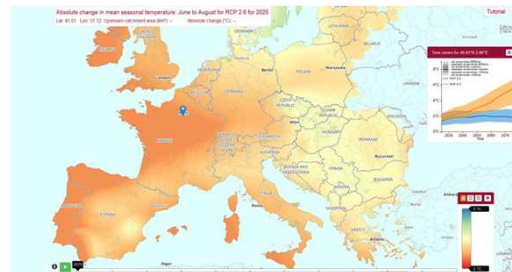
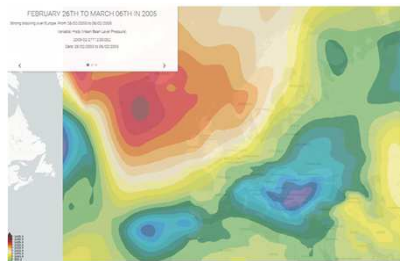
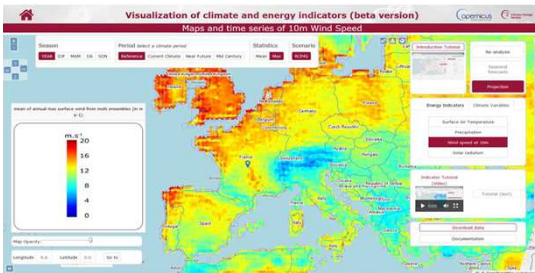
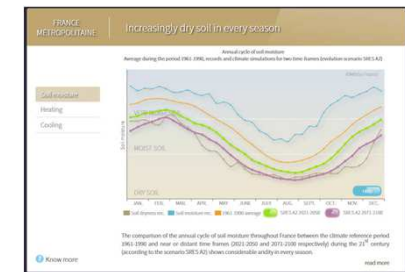
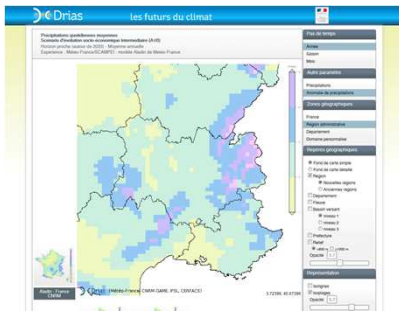
En France :

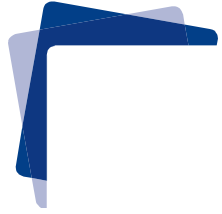
- **IPSL2014, CNRM2014**
 - 1950 à 2100
 - **EuroCordex**
 - 1971 à 2100
 - 12 couples GCM / RCM
 - **AdaMont**
 - 1970 à 2100
 - 5 couples GCM / RCM
 - **Advanced Delta Change (ADC)**
 - 2021-2050 et 2071-2100
 - Très nombreux GCM (de > 20 à > 40)
-
- CMIP6 (à venir) : basé sur les scénarios RCP
 - Meilleure représentation **des nuages, de la cryosphère, des extrêmes climatiques, de l'information régionale, du niveau de la mer, de la ressource en eau et des forçages biogéochimiques**



Portails climatiques / services climatiques

- Sites web qui fournissent un accès à des projections climatiques ou à des indicateurs issus de projections climatiques
- Se focalisent souvent sur certains secteurs : climat, hydrologie, énergie, agriculture...
- Peuvent évaluer des méthodes d'adaptation





Portails climatiques / services climatiques

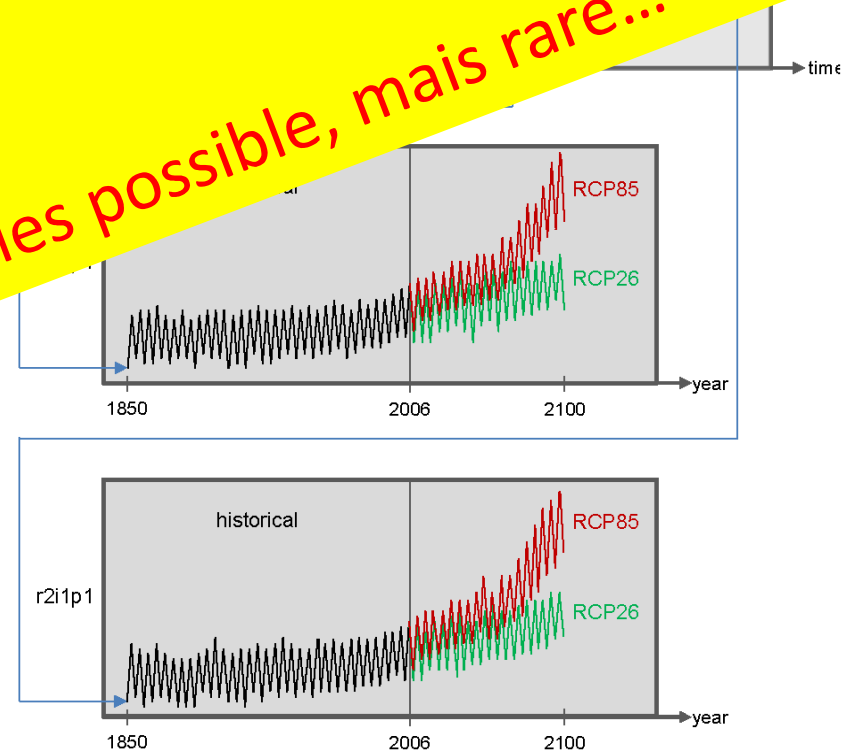
- **Avantages** : facilité d'extraction des données, plateforme de visualisation, accessible aux décideurs
- **Inconvénients** : difficulté de connaître la configuration exacte des modèles / projections disponibles, qualité parfois mauvaise des simulations






















Ne jamais utiliser une unique sortie de GCM

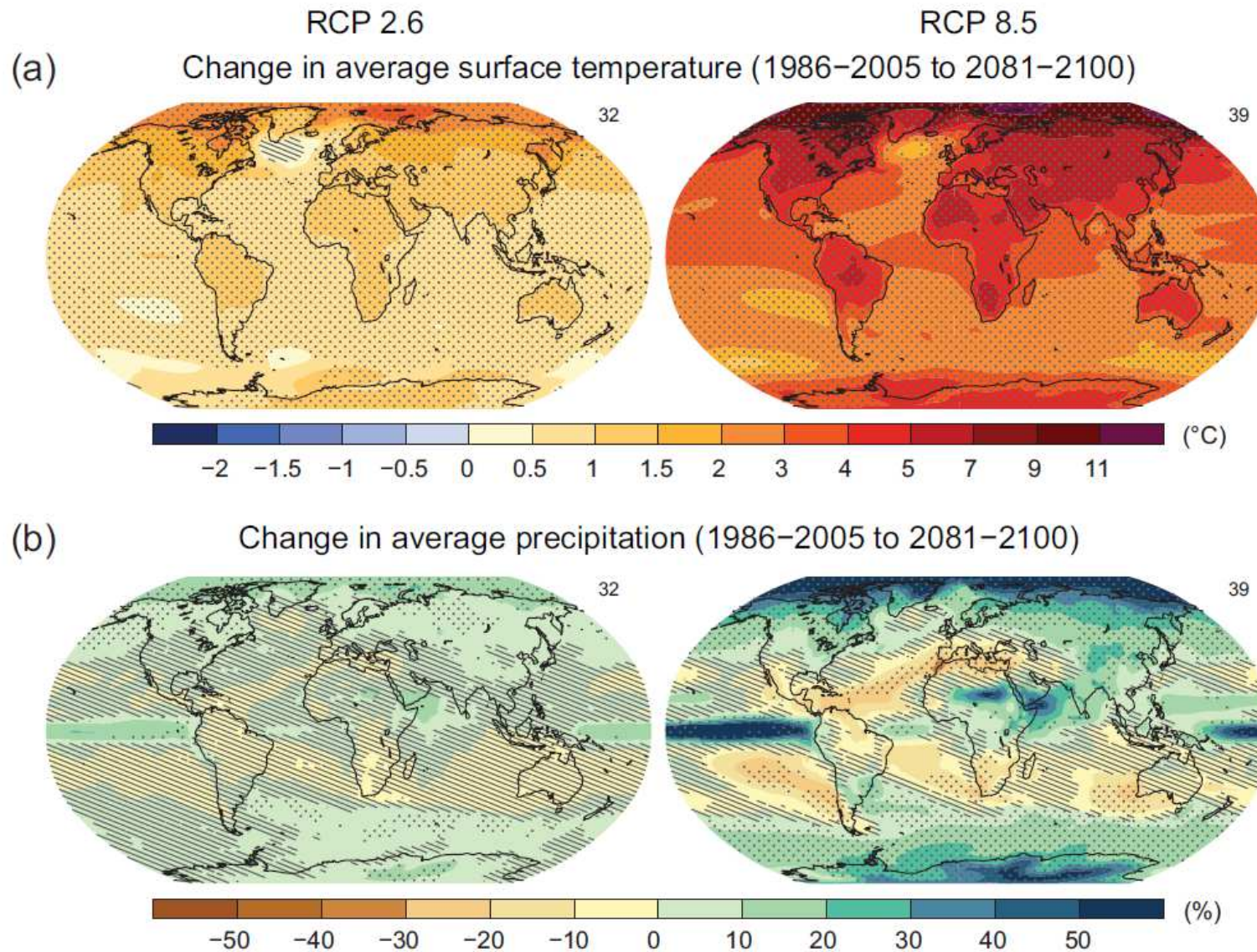
- Un modèle isolé donne très souvent des résultats qui ne sont pas représentatifs (la variabilité est aléatoire)
- Nom d'une projection (ex: RCP85, RCP26, etc.)

L'étude de l'impact du CC repose sur l'utilisation d'ensembles !
Il n'y a pas de « best model »
Pondération des différents modèles possible, mais rare...



Centre de modélisation	ID de l'Institut	Nom du modèle	Nationalité
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Australia	CSIRO-BOM		 Australie
Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	BCC	BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1(m)	 Chine
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (National Institute for Space Research)	INPE	BESM OA 2.3	 Brésil
College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University	GCESS	BNU-ESM	 Chine
Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique ⁴	CCmaC/CCCMA	CanESM2 CanCM4 CanAM4	 Canada
University of Miami - RSMAS	RSMAS	CCSM4(RSMAS)	 États-Unis
National Center for Atmospheric Research	NCAR	CCSM4	 États-Unis
Community Earth System Model (en) Contributors	NSF-DOE-NCAR	CESM1(BGC) CESM1(CAM5) CESM1(CAM5.1,FV2) CESM1(FASTCHEM) CESM1(WACCM)	 États-Unis
Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies and National Centers for Environmental Prediction	COLA and NCEP	CFSv2-2011	 États-Unis
Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici	CMCC	CMCC-CESM CMCC-CM CMCC-CMS	 Italie
Centre National de Recherches Météorologiques / Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5 CNRM-CM5-2	 France
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence	CSIRO-QCCCE	CSIRO-Mk3.6.0	 États-Unis
EC-EARTH consortium	EC-EARTH	EC-EARTH	 Europe
LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences and CESS, Tsinghua University	LASG-CESS	FGOALS-g2	 Chine
LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	LASG-IAP	FGOALS-gl FGOALS-s2	 Chine
The First Institute of Oceanography, SOA, China	FIO	FIO-ESM	 Chine
NASA Global Modeling and Assimilation Office	NASA GMAO	GEOS-5	 États-Unis
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	NOAA GFDL	GFDL-CM2.1 GFDL-CM3 GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M GFDL-HIRAM-C180 GFDL-HIRAM-C360	 États-Unis
Institut Pierre-Simon Laplace	IPSL	IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR IPSL-CM5B-LR	 France

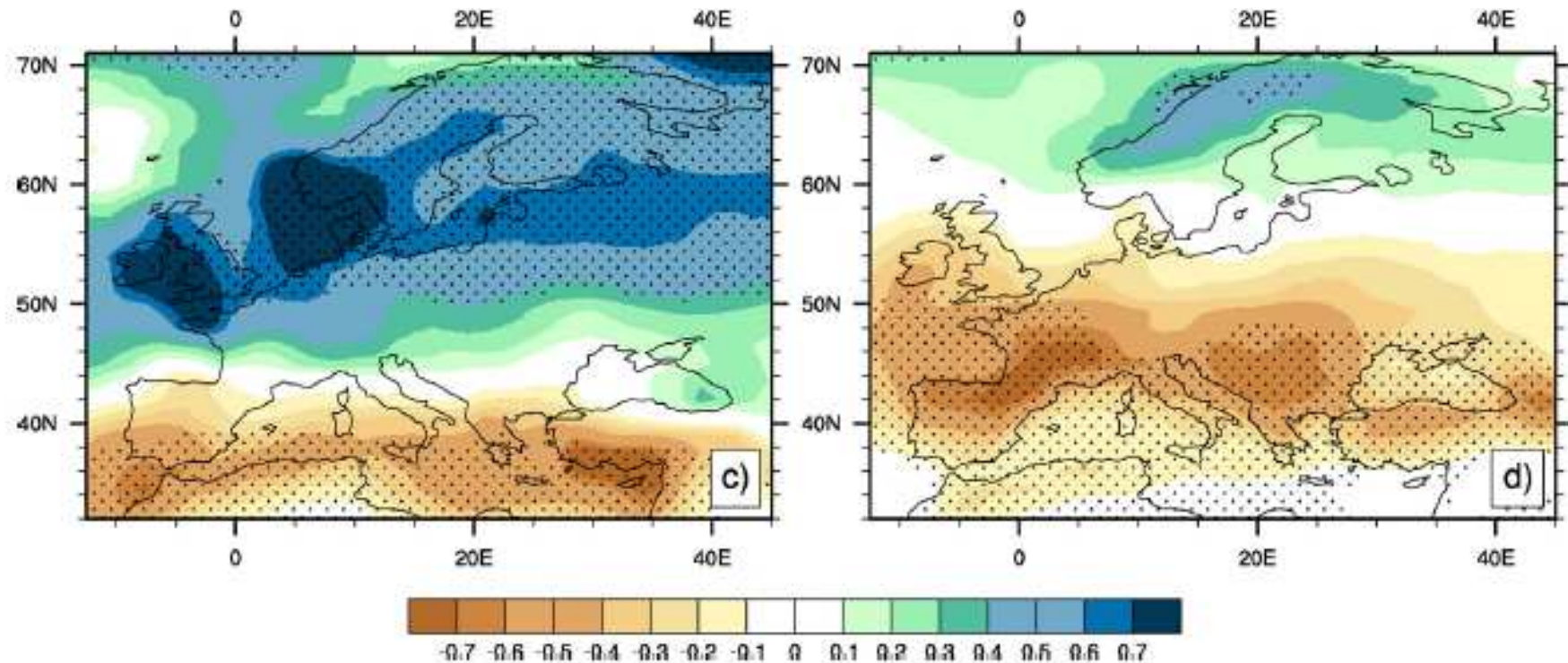
Quel climat futur dans le monde ?



Quel climat futur en Europe ?

Hiver

Eté



Résultats issus de plus de 25 modèles de climat
et plus de 60 projections pour le scénario RCP8.5 (tendanciel)

Quel climat futur à Paris ?

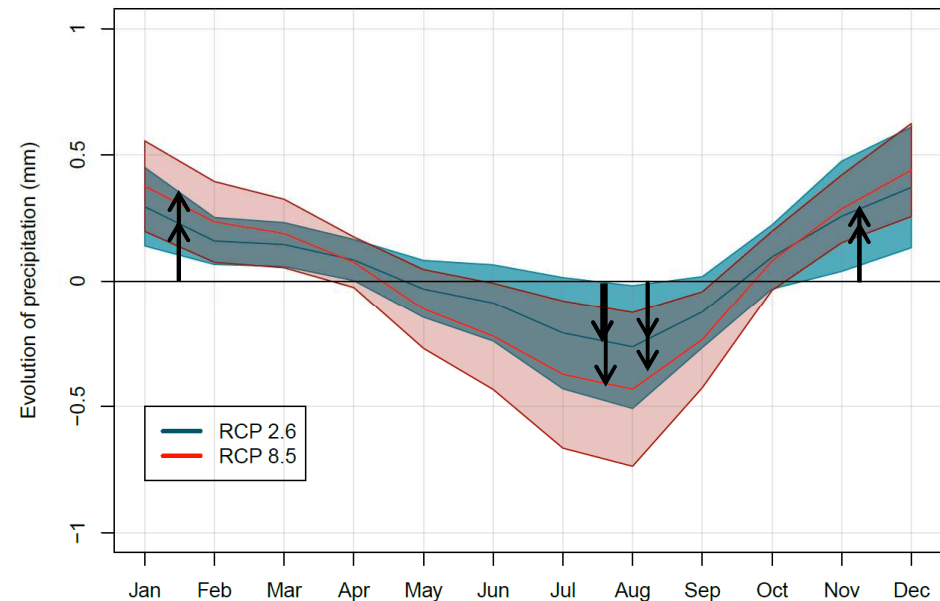
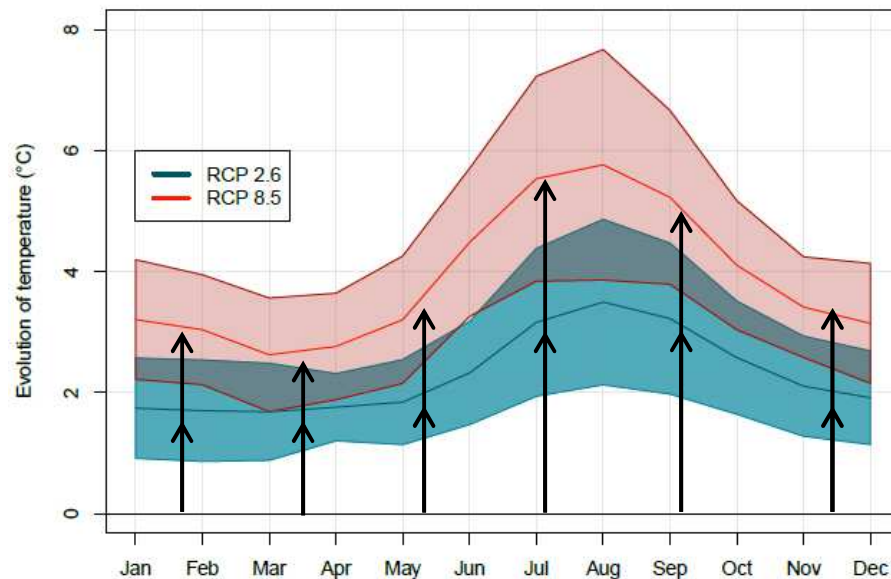
Températures

RCP2.6 : +2,3°C

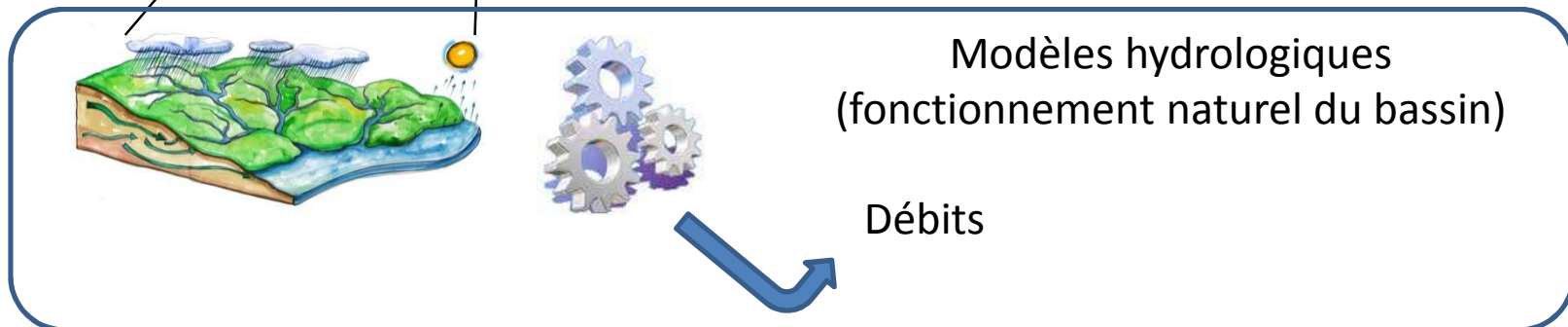
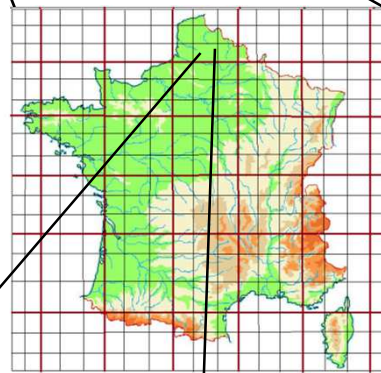
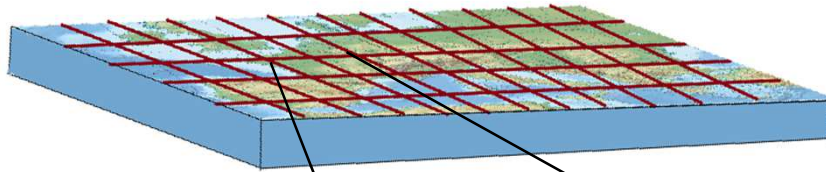
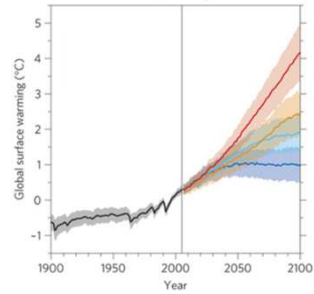
RCP8.5 : +3,9°C

Précipitations (2.5 mm/j actuel.)

RCP2.6 et 8.5 : stable en moyenne annuelle



- RCP2.6 (atténuation) → Moindre évolution des précipitations et de la température
- RCP8.5 (tendanciel) → Evolution des précipitations plus marquée entre l'hiver et l'été, augmentation plus importante des températures



Profils d'évolution de la concentration

GIEC



Modèles de Circulation Générale

CMIP5



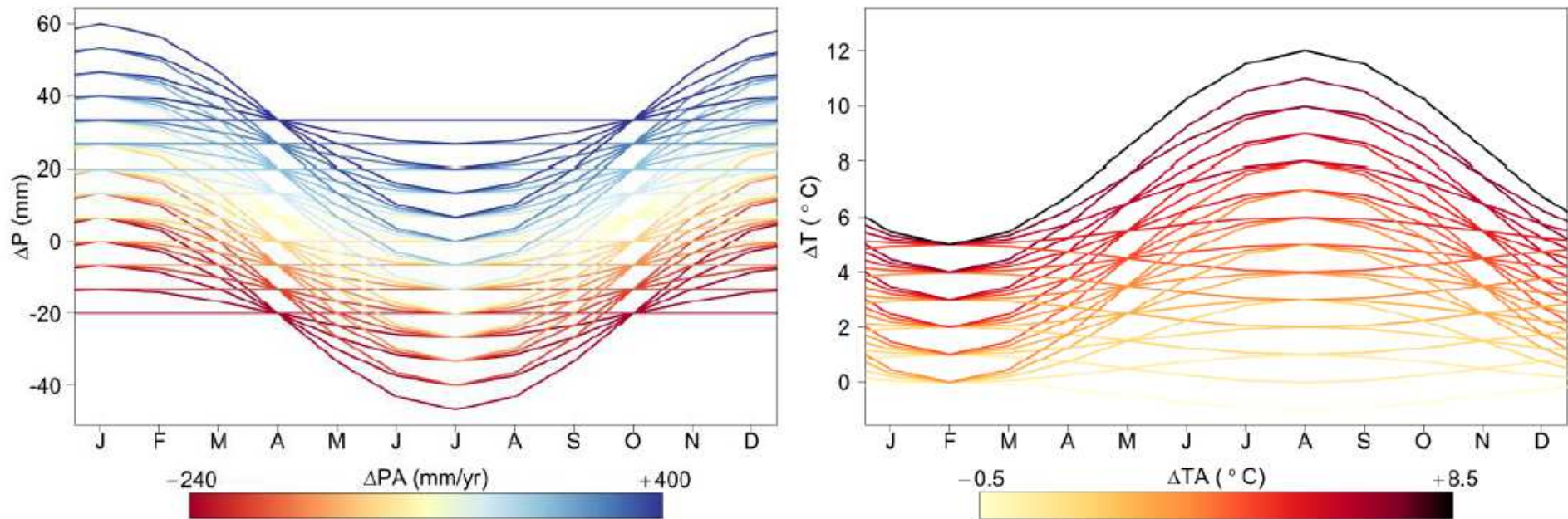
Régionalisation
(Méthode de Descente d'Echelle)



Modèles hydrologiques
(fonctionnement naturel du bassin)

Débits

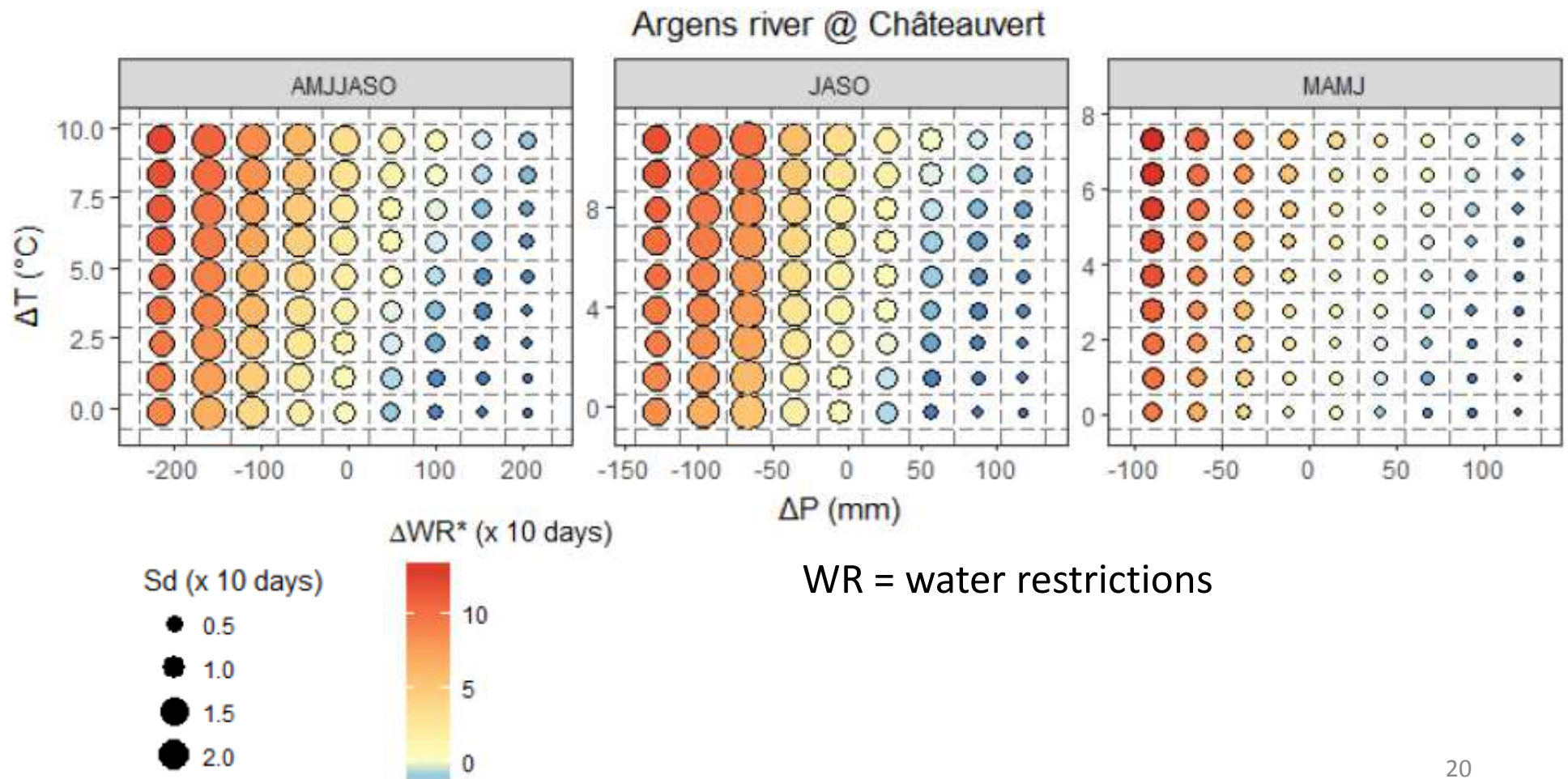
Approches bottom-up



- Teste la sensibilité des débits à des variations du climat prescrites
- Donne une idée de la réaction d'un système à des évolutions climatiques, mais ne donne pas des scénarios futurs précis
- Méthode peu utilisée en hydrologie

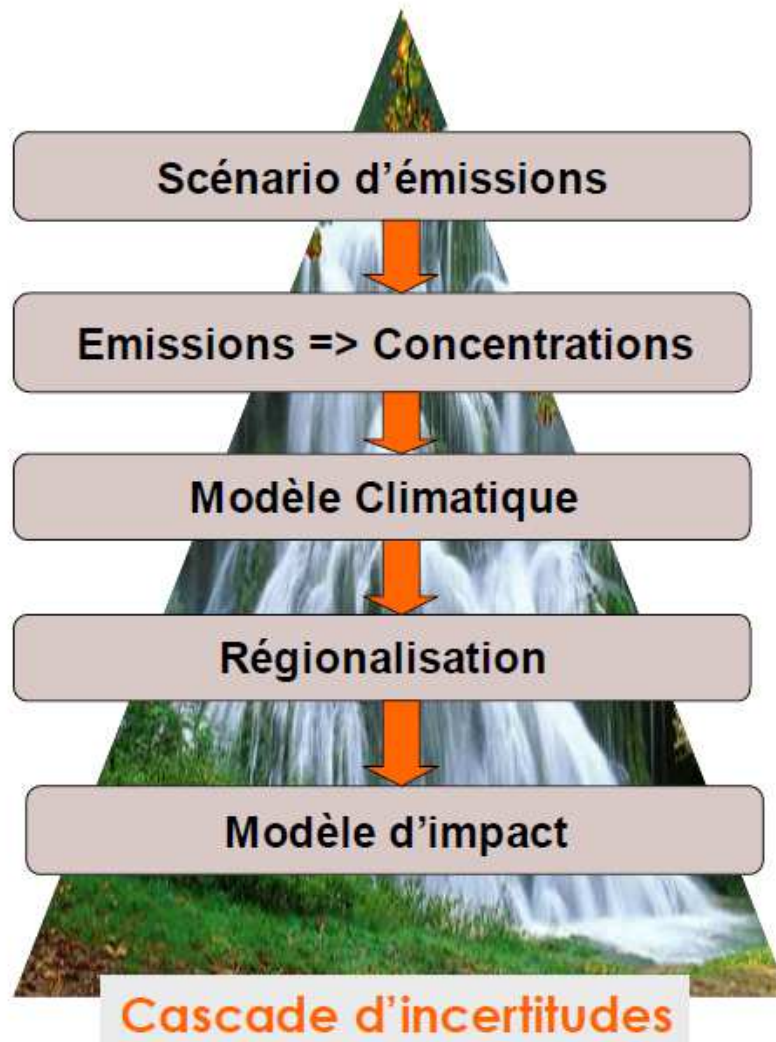


Approches bottom-up






Une cascade d'incertitude



Les incertitudes s'enchainent mais ne s'additionnent pas.

Certains maillons de la chaine peuvent contraindre l'enveloppe des futurs possibles.

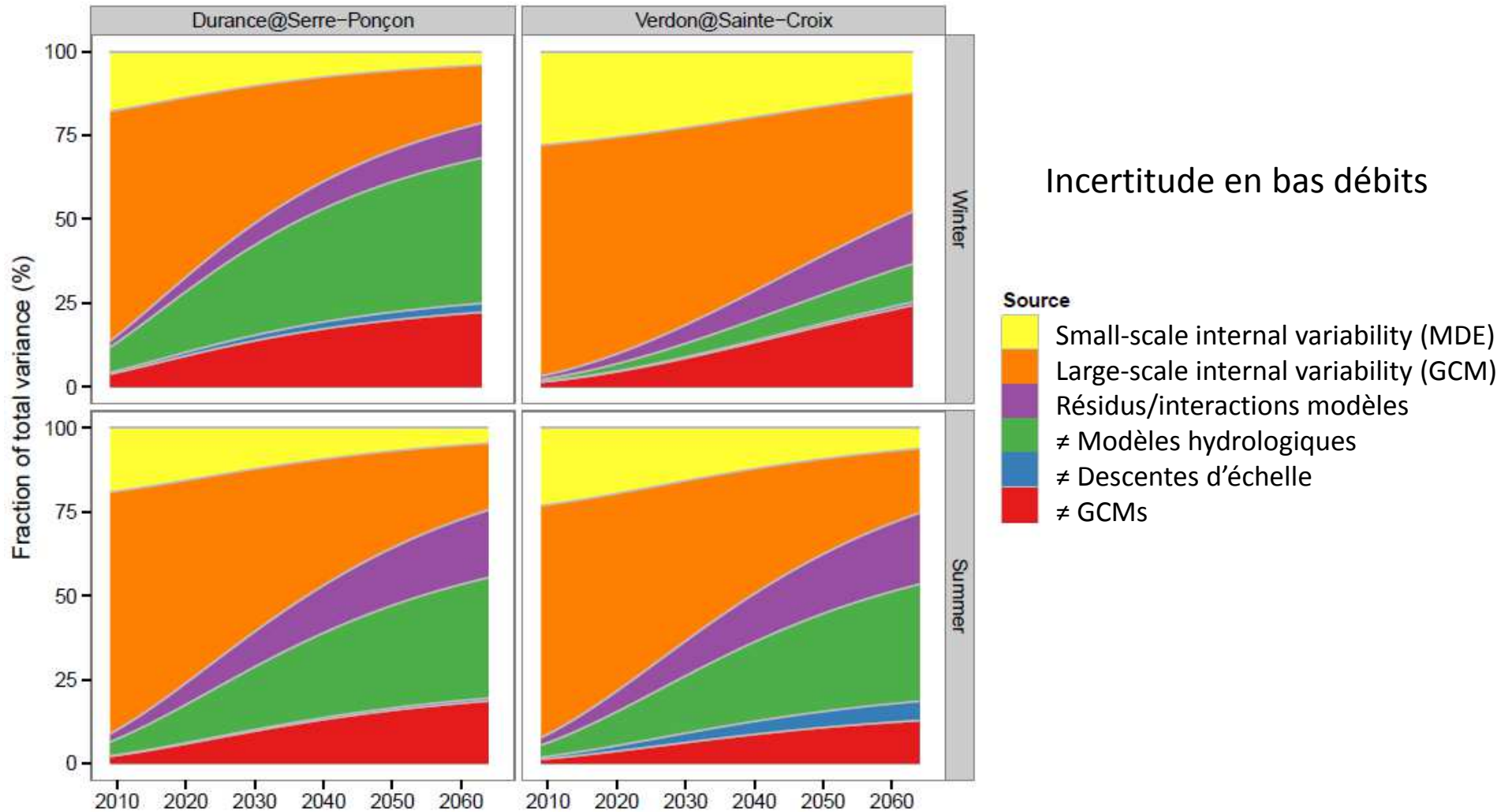


Pourquoi tant d'incertitudes ?

- **Tout modèle comporte de l'incertitude**, les modèles ne sont pas parfaits (structure, paramétrages, données)
- Aucun modèle n'est « meilleur » qu'un autre
- On ne sait pas encore avec certitude vers quel scénario d'émission de gaz à effet de serre on se dirige
- Nécessité de faire du **multi-scénario / multi-modèle**

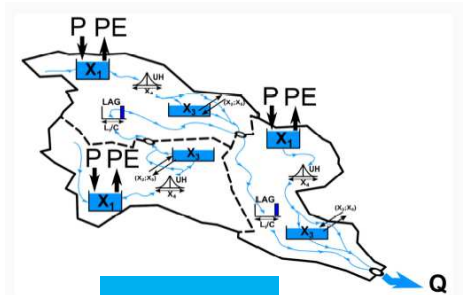
- => **ensemble de futurs possibles**, pas de réponse déterministe !

Des sources d'incertitude à tous les échelons de la chaîne de modélisation



Variance expliquée par chaque source d'incertitude pour les bas débits

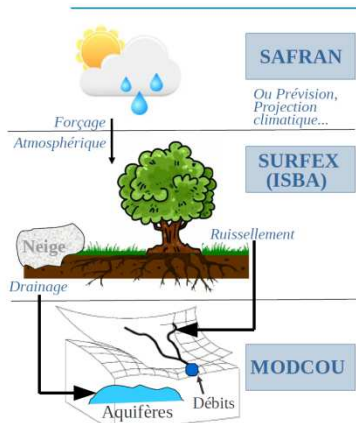
Utilisation de différents modèles hydrologiques



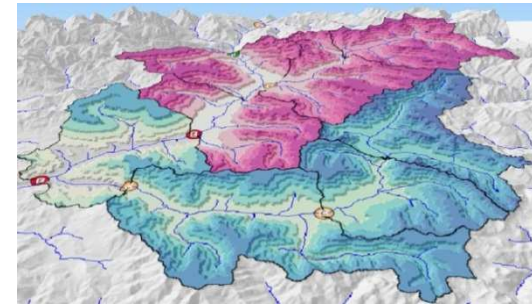
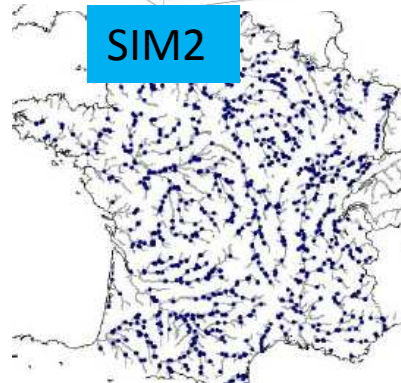
GRSD



Un exemple...

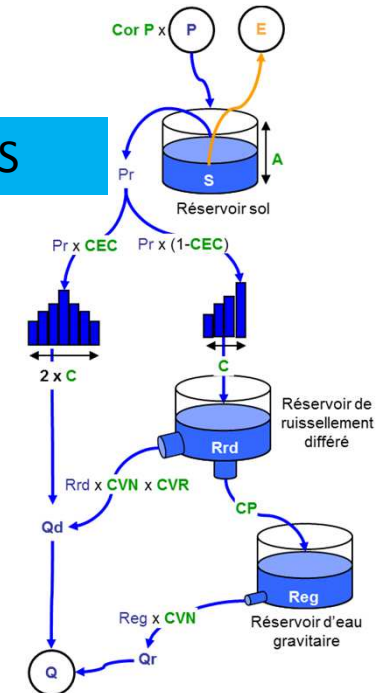


SIM2



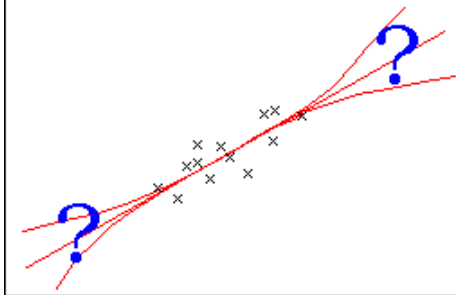
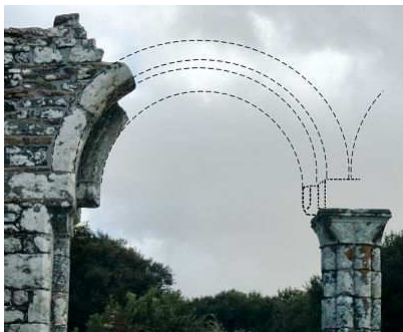
MORDOR SD

PRESAGES

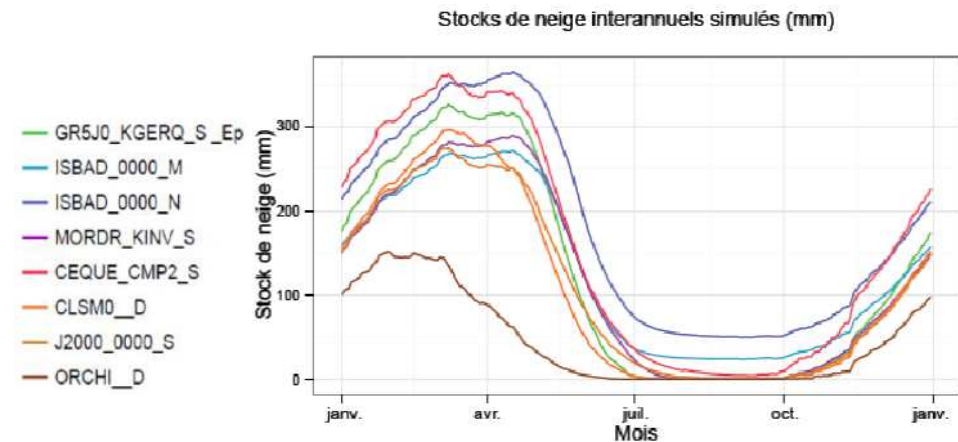


Travaux sur la robustesse des modèles hydrologiques et approches multi-modèles

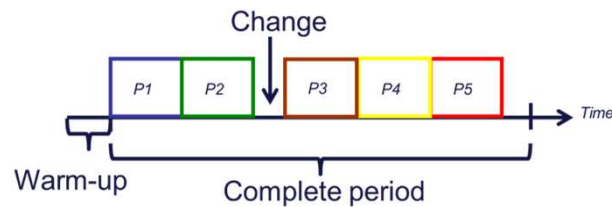
Un fonctionnement des modèles en extrapolation difficile



Des modèles dont la réponse diffère



Mise en place de protocoles de calage



Special issue: Modelling Temporally-variable Catchments

Editorial

On the need to test hydrological models under changing conditions


Guillaume Thirel, Vazken Andréassian & Charles Perrin

Pages: 1165-1173

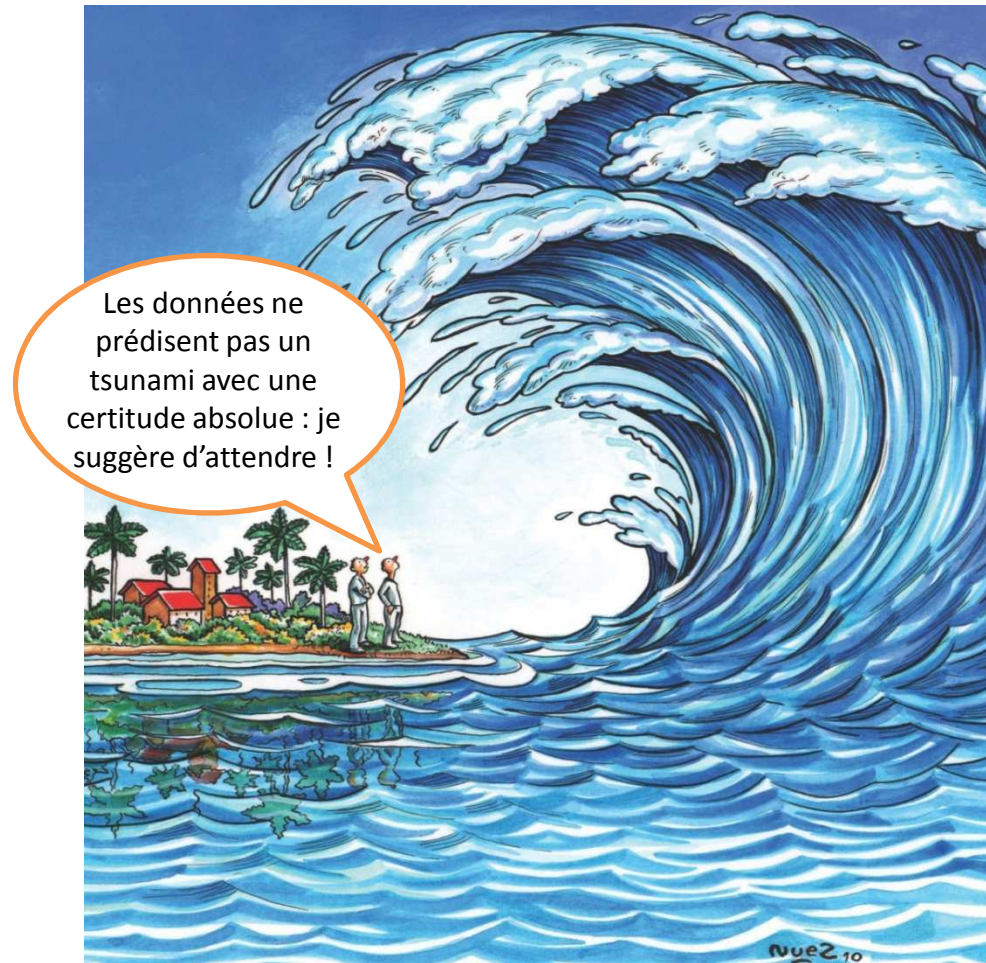
Published online: 14 Aug 2015

[Abstract](#) | [Full Text](#) | [References](#) | [PDF \(130 KB\)](#)





Les incertitudes ne doivent pas empêcher l'action





Etapes de comparaison pour une étude d'impact

- Comparer Q_{obs} vs $Q_{sim}^{météo}$ sur le passé
 - **incertitude modèle hydro**
- Puis comparer $Q_{sim}^{météo}$ vs $Q_{sim}^{proj.clim.}$ sur le passé
 - **incertitude projection climatique**
- Puis comparer $Q_{sim}^{proj.clim.}$ passé vs futur
 - **impact du changement climatique**



Evolution entre périodes de temps

- On prend des **périodes de 30 ans** : on suppose le climat stationnaire sur ces périodes
- On **compare des indicateurs** (moyennes...) entre une période future et une période de référence « passée »
 - Exemple : Débit moyen 2071-2100 VS 1976-2005



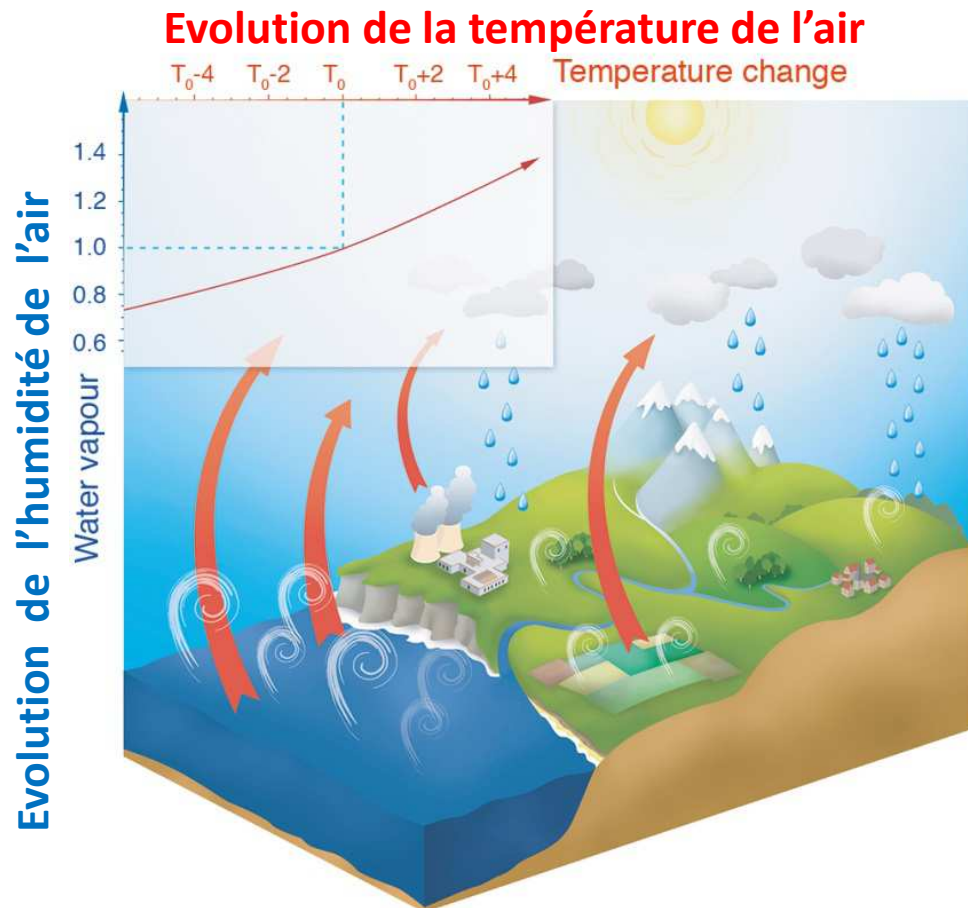
Les indicateurs qui nous intéressent en hydrologie

- Indicateurs de ressource
- Indicateurs de crues
- Indicateurs de bas débits
- Régimes, débits saisonniers
- Moyennes annuelles glissantes
- Manteau neigeux
- Nombre de jours de canicule
- Nombre de jours de gel

...

➤ **Aspects importants : fréquence, magnitude, durée et saisonnalité**

Evolution du risque de crue et d'inondation

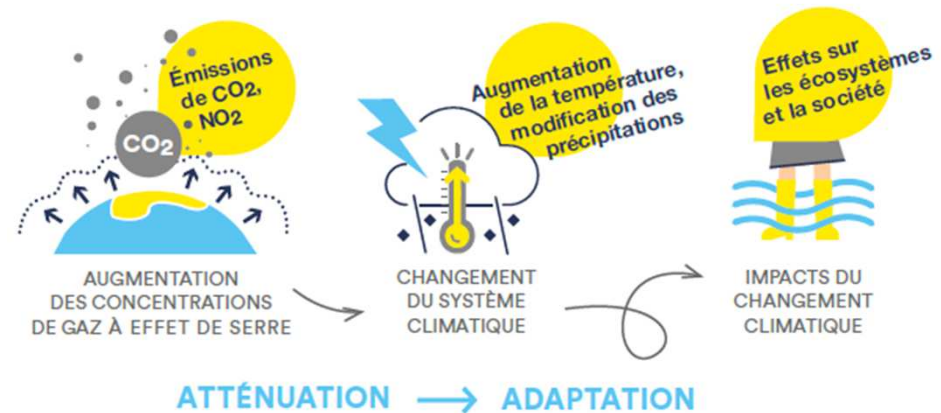


- **Evolution modérée** du risque de crue et d'inondation par débordement sur la France
- **Augmentation probable** d'inondations locales et temporaires dues à des phénomènes ponctuels de précipitations intenses

Adaptation au Changement Climatique

Adaptation vs atténuation/mitigation

Adaptation (GIEC) : « démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. »



PNACC2 (2017) :

« la France vise une **adaptation effective** dès le milieu du XXI^e siècle à un climat régional [...] cohérent avec une hausse de température de +1,5 à 2 °C [...] par rapport au XIX^e siècle. »

« mieux protéger les Français face aux **événements climatiques extrêmes**, mais aussi de construire la **résilience** des principaux secteurs de l'économie face aux changements climatiques »

Quelques stratégies testées dans des projets de recherche – lien avec gestionnaires et décideurs !



Une plus grande implication des acteurs territoriaux.



La priorité donnée aux solutions fondées sur la nature, partout où cela a du sens.










OUTRE MER

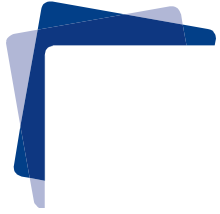
Une attention forte portée à l'outre-mer à travers des mesures spécifiques.



L'implication des grandes filières économiques,

Utiliser des projections climatiques demande méthode et prudence !

- Le jargon, les composantes de la chaîne de modélisation et les incertitudes de chaque élément rendent l'utilisation de projections climatiques par des « débutants » extrêmement piègeuse.
- Se demander quel est **l'objectif** :
 - Etudier un scénario spécifique ?
 - Etudier l'incertitude qui régit les évolutions futures ?
 - Donner un chiffre à un gestionnaire ?
- Être conscient des **réponses** que les projections peuvent apporter
 - Une évolution d'une caractéristique moyenne 
 - Une chronologie 
 - Des informations fiables sur une région 
 - Des informations locales fiables  
 - Une gamme d'évolution d'un indicateur 
 - Une valeur précise d'indicateur future 

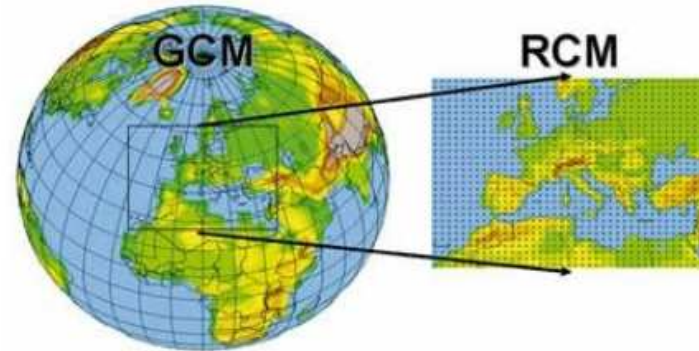


Merci !

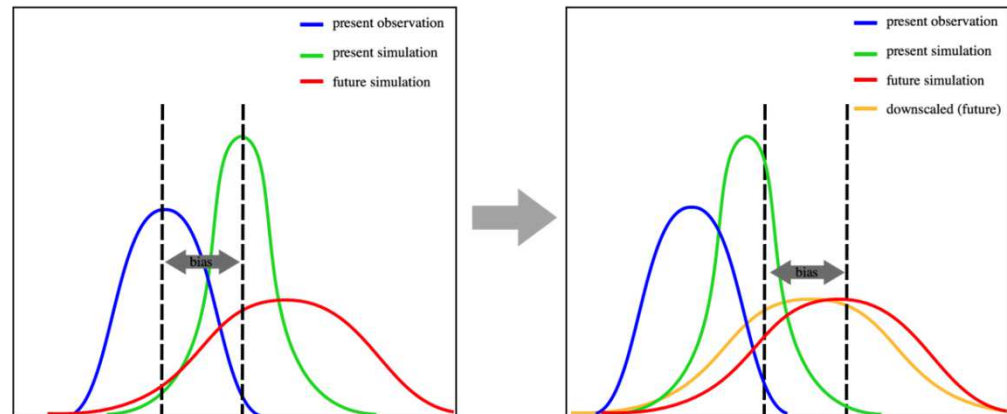


Deux types de descente d'échelle

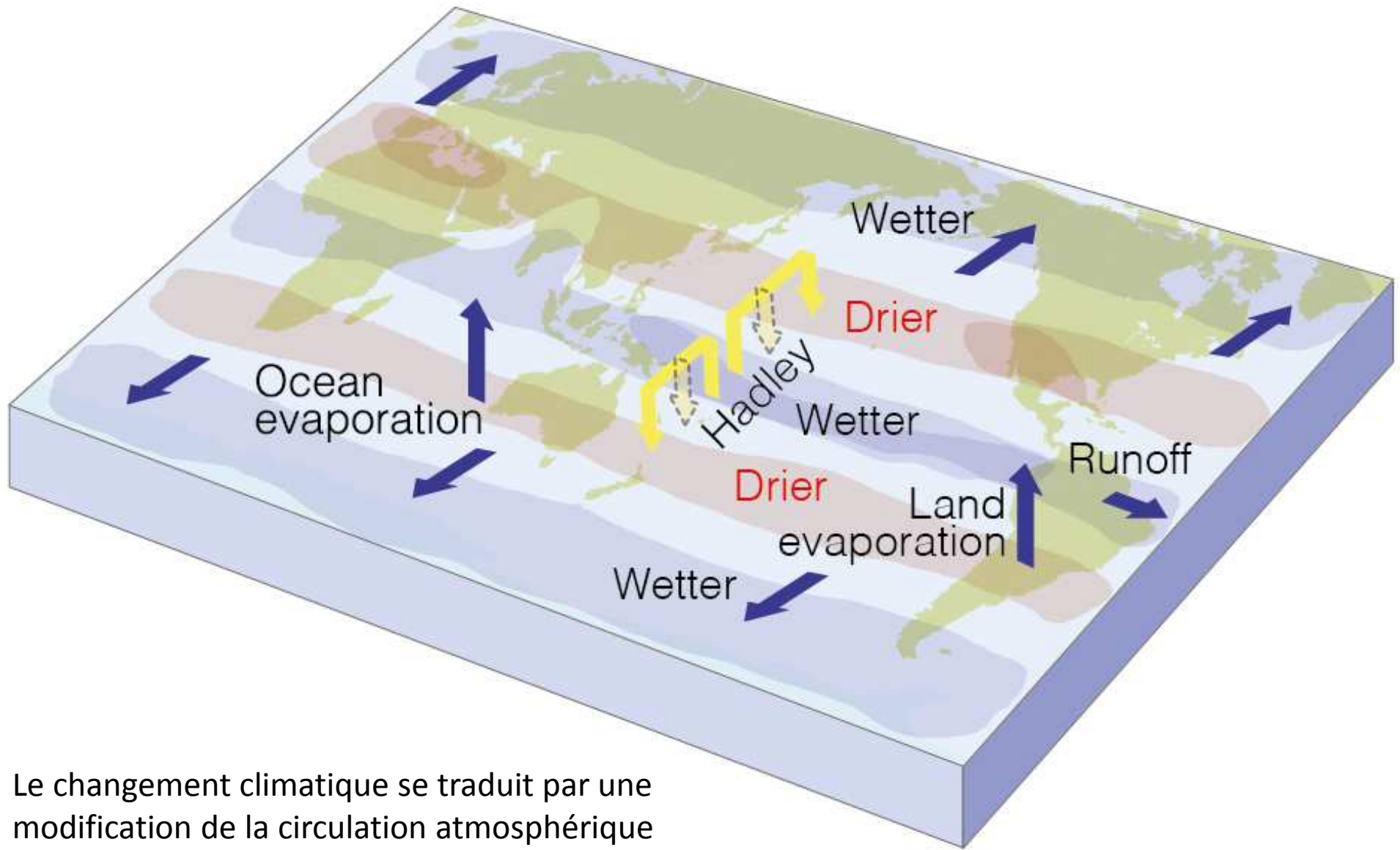
- Méthodes dynamiques



- Méthodes statistiques



- Une correction des biais reste souvent nécessaire

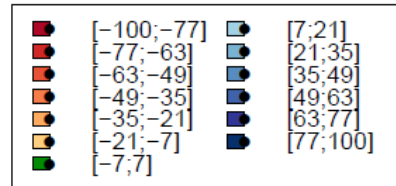


Le changement climatique se traduit par une modification de la circulation atmosphérique
 → **La zone méditerranéenne** est une zone de changement intense

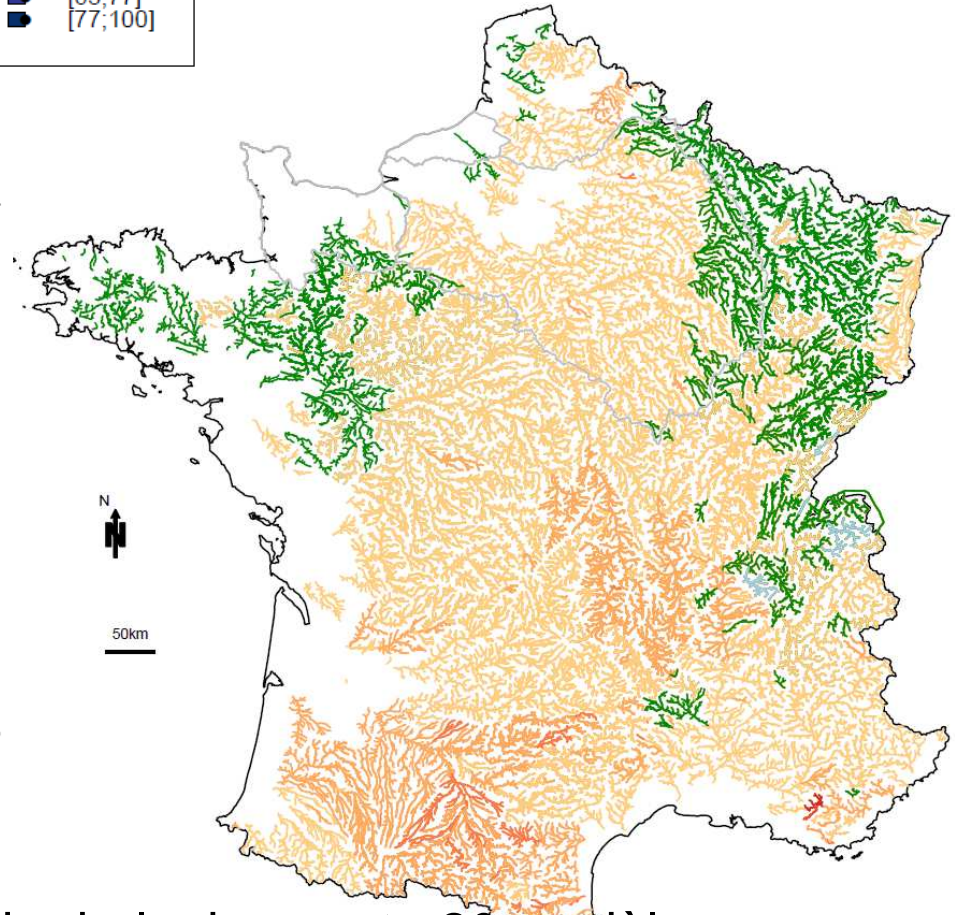
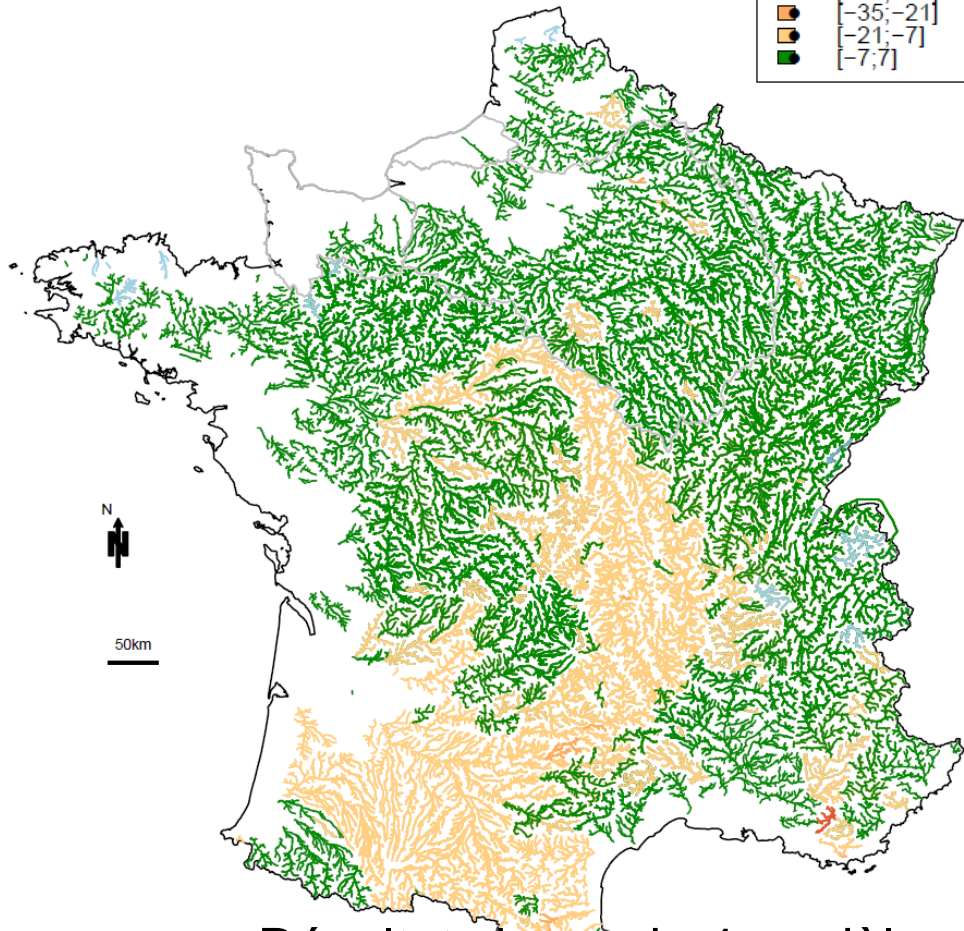
Evolution débits moyens : futur lointain / présent

RCP2.6

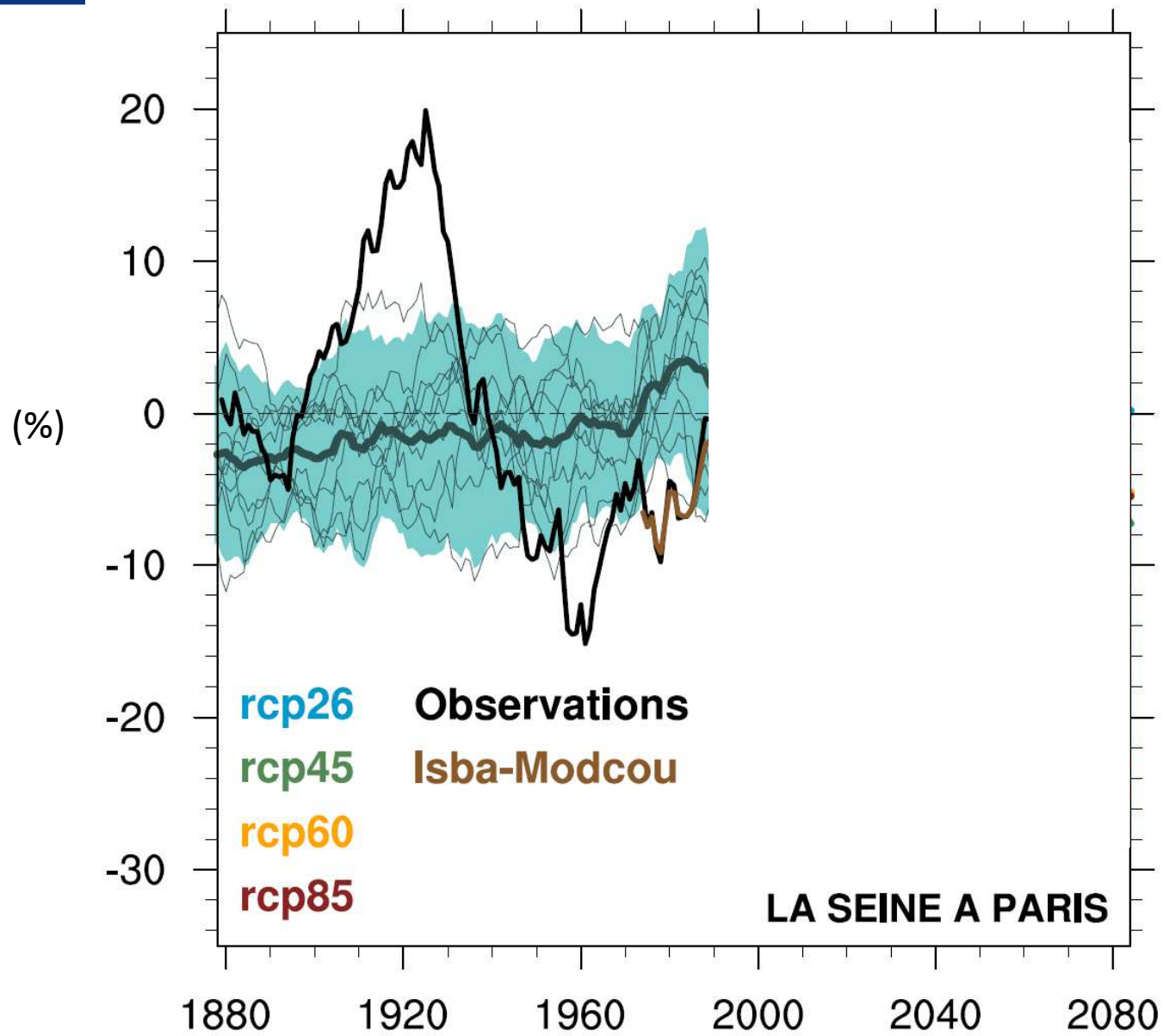
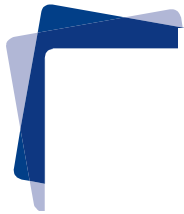
Evolution [%]



RCP8.5



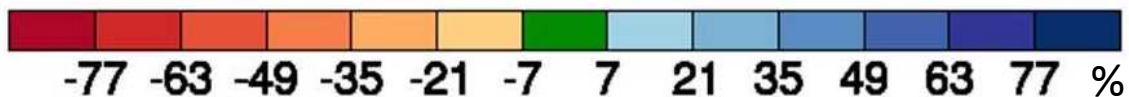
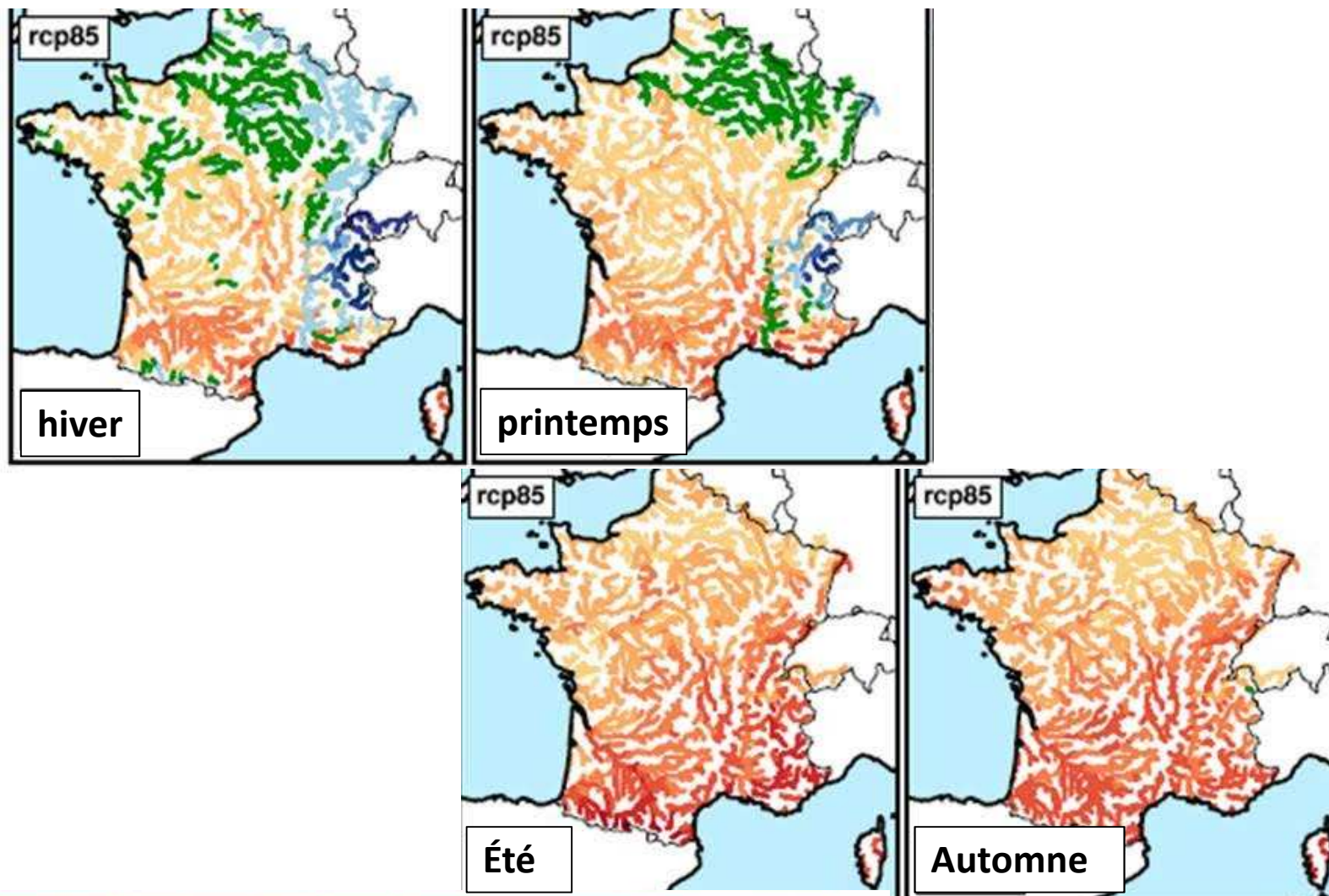
Résultats issus de 4 modèles hydrologiques et ~20 modèles de climat



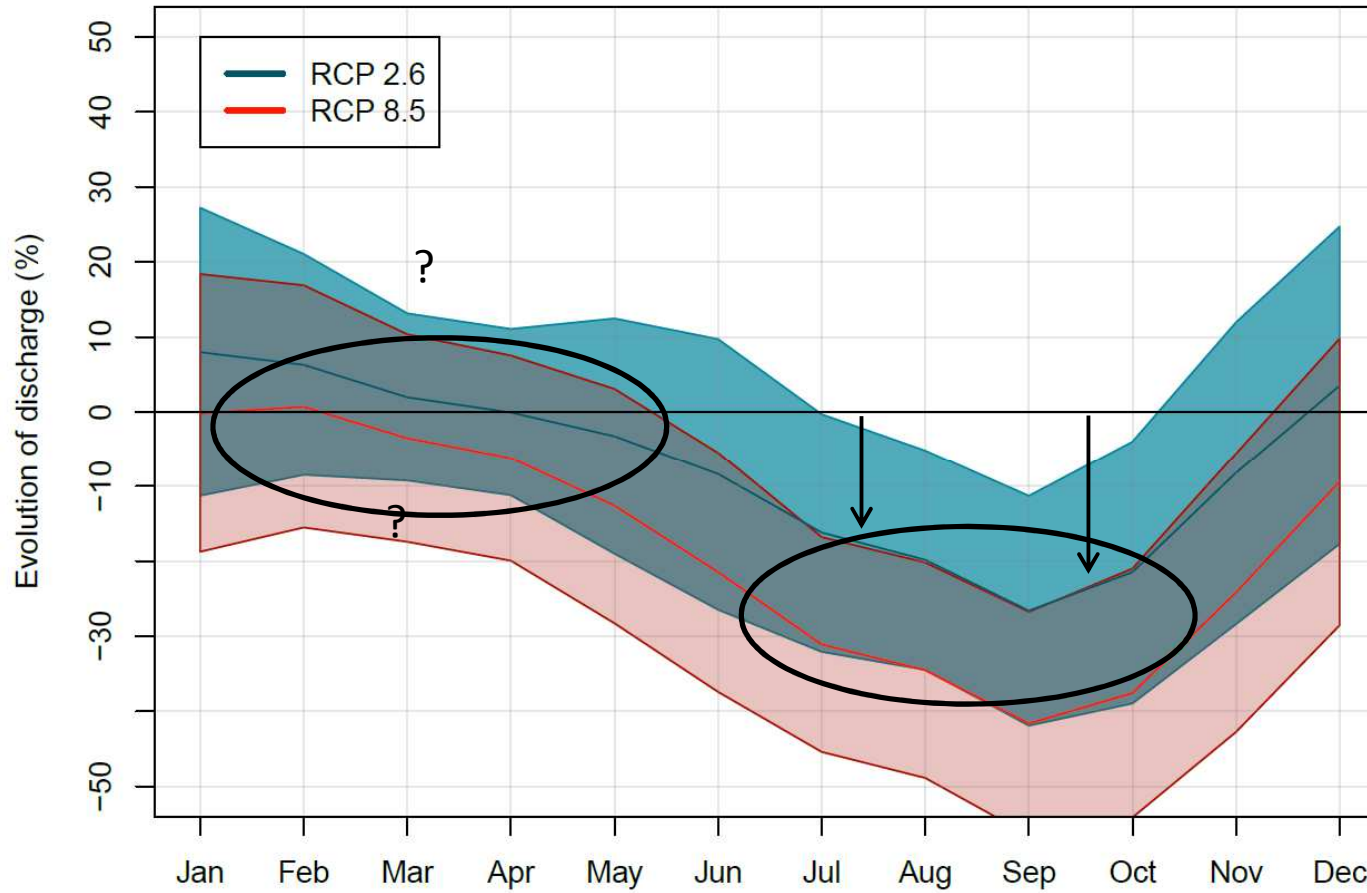
Mais les projections s'accordent sur une baisse future



Evolution des débits saisonniers en France vers 2100 (en %)



Evolution des débits de la Seine à Paris vers 2100 (en %)

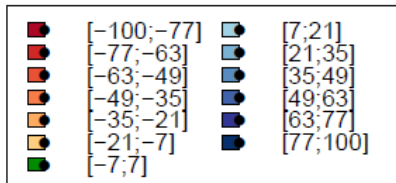


Forts impacts saisonniers

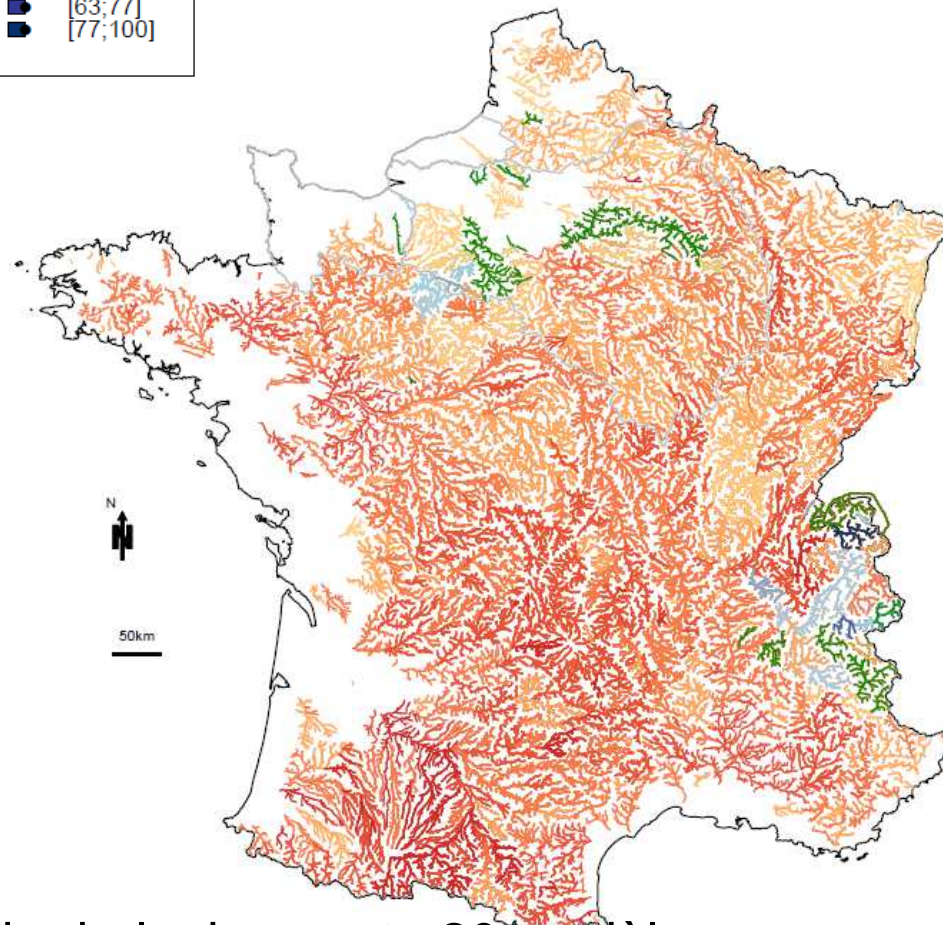
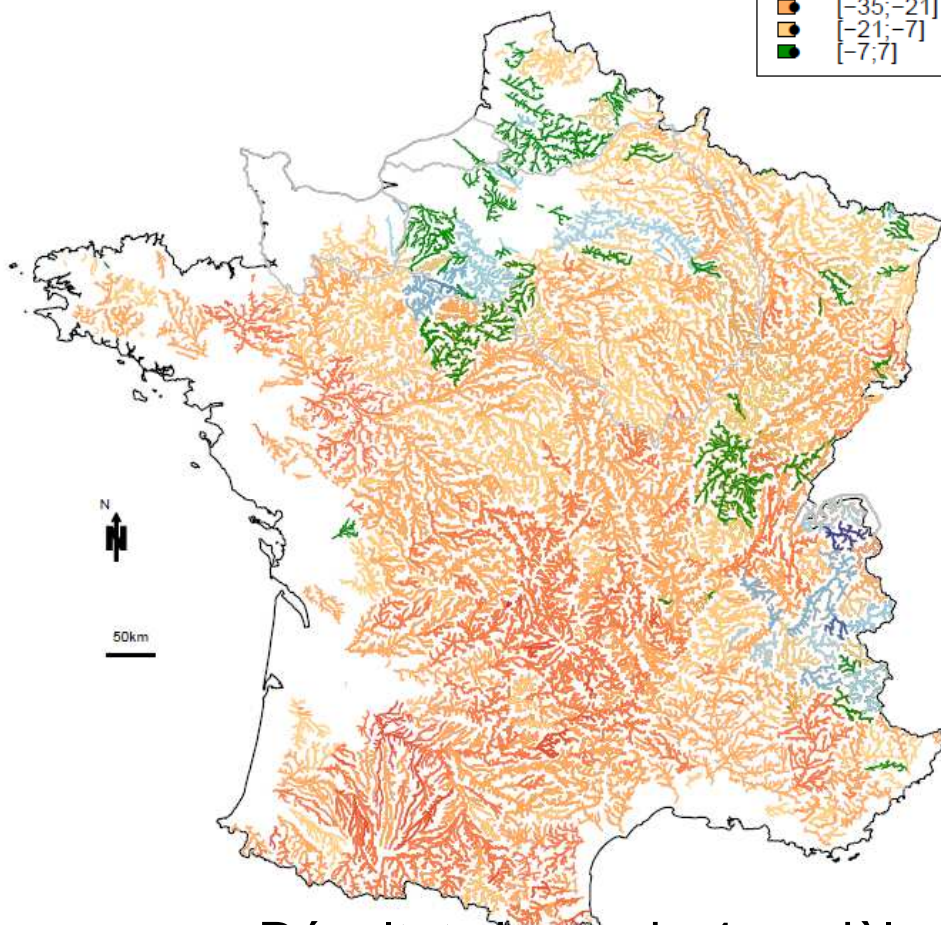
Evolution débits faibles : futur lointain / présent

RCP2.6

Evolution [%]



RCP8.5

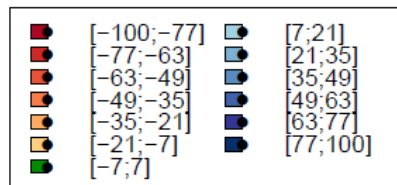


Résultats issus de 4 modèles hydrologiques et ~20 modèles de climat

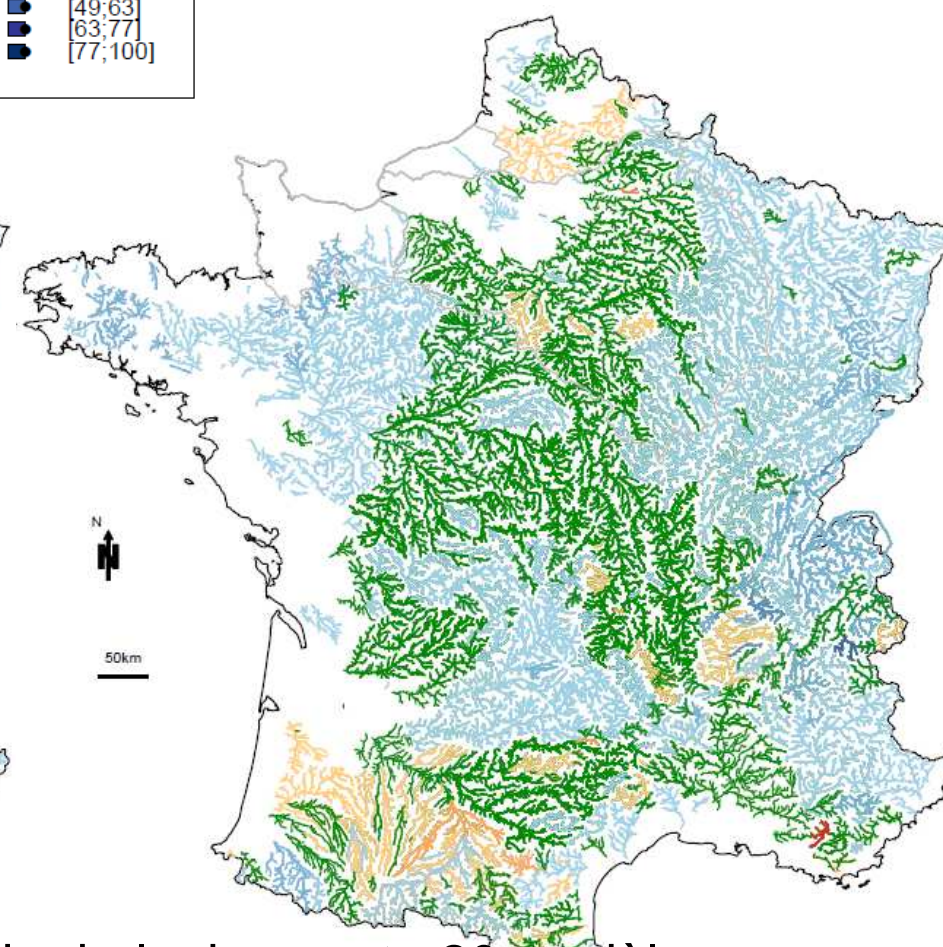
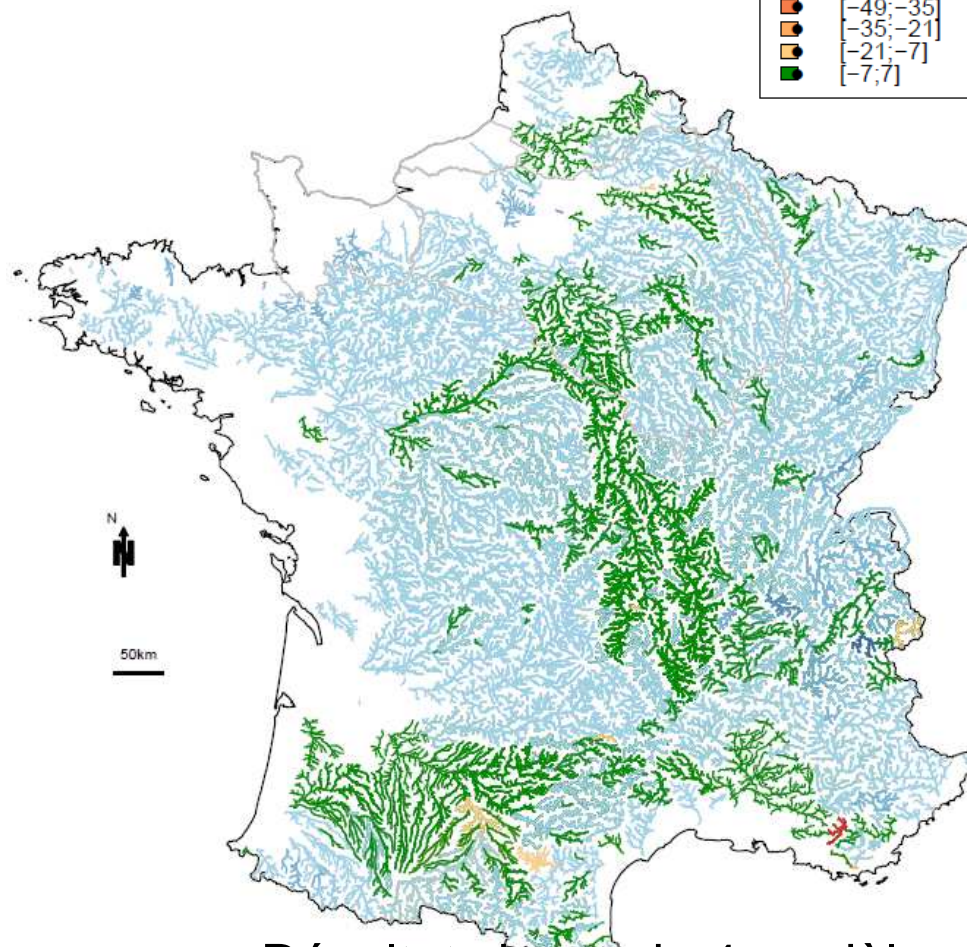
Evolution crues : futur lointain / présent

RCP2.6

Evolution [%]



RCP8.5



Résultats issus de 4 modèles hydrologiques et ~20 modèles de climat