

*« Notre eau face au changement climatique »
Soirée d'information organisée par ICEO à Olivet (Loiret) – 30 juin 2021*

Evolution du climat et des ressources en eau

Agnès Ducharne

Directrice de recherches CNRS à l'UMR METIS-IPSL, Sorbonne Université, Paris



Pétrole au Nigeria



Antarctique



Barrage en Californie

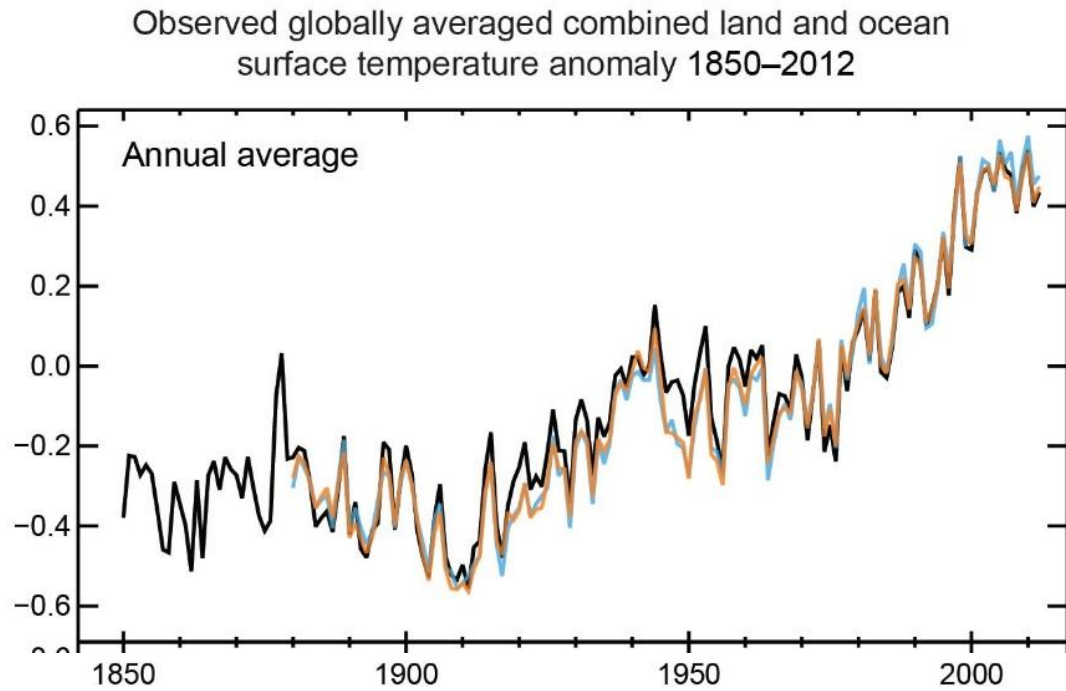


Méga-feux en Australie

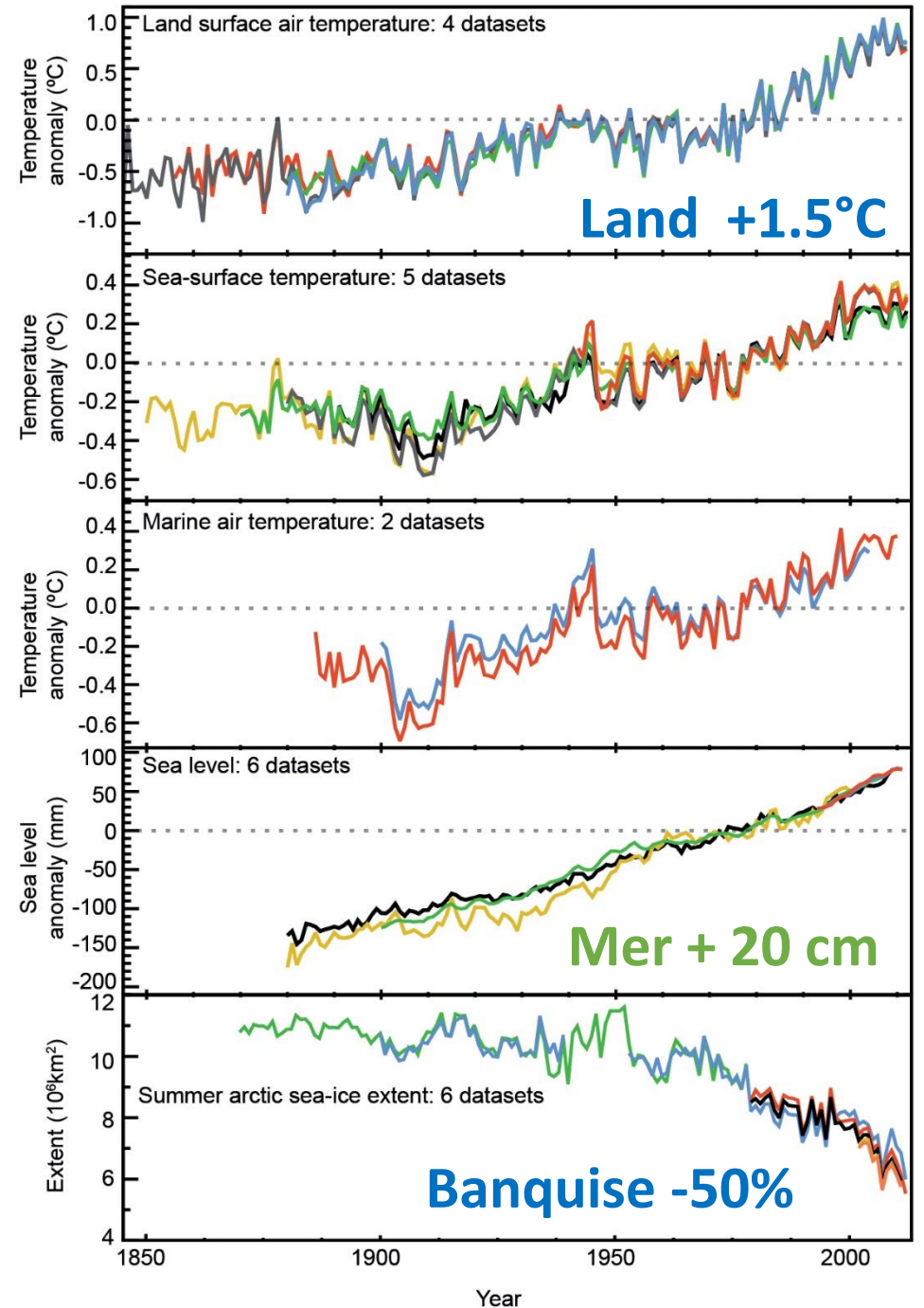


Algues vertes en Bretagne

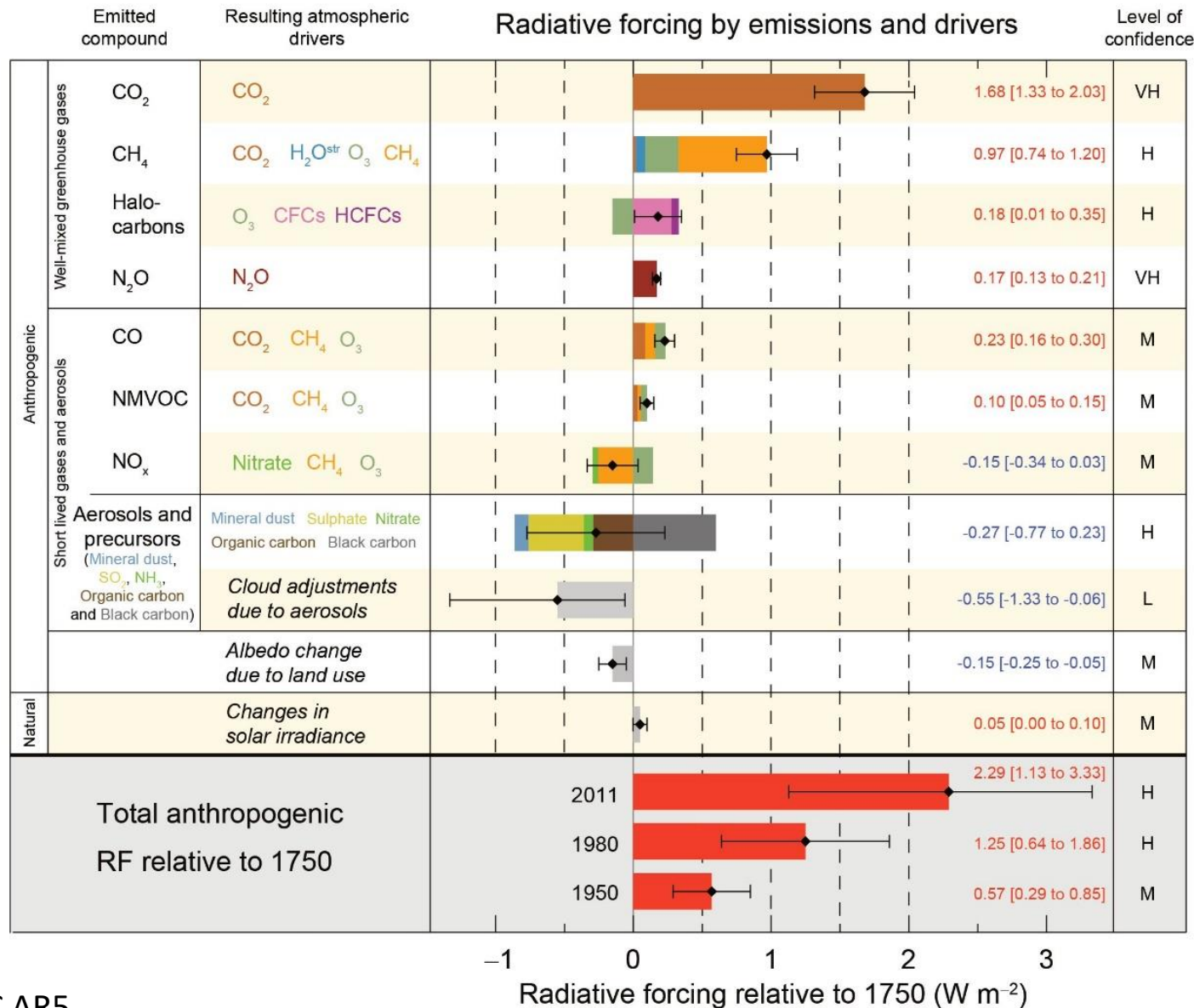
Le changement climatique est en cours



Anomalie de température globale en °C par rapport à 1961-1990



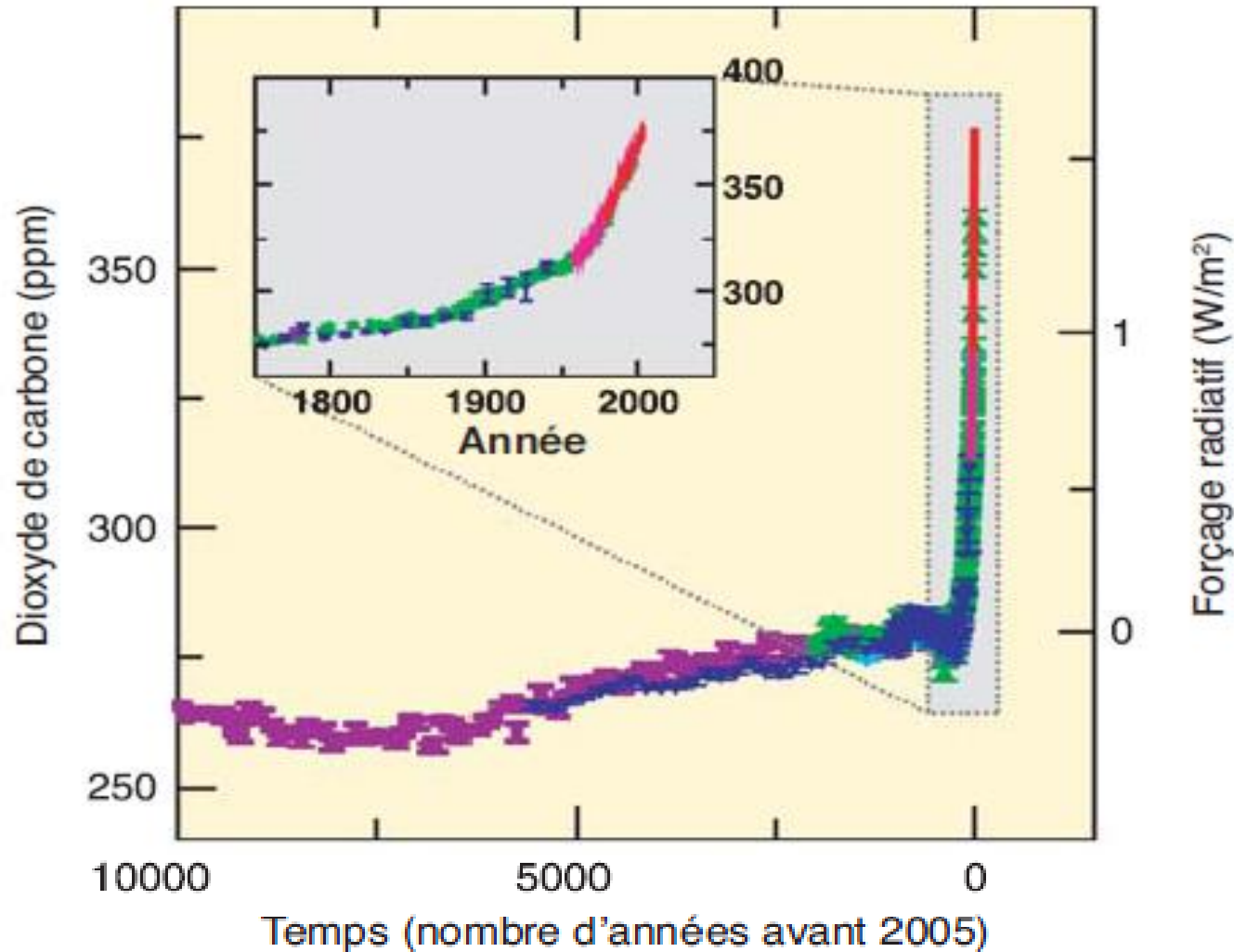
Le réchauffement observé depuis 1850 est dû aux activités humaines



Le forçage radiatif (radiative forcing RF) quantifie l'impact de certains facteurs affectant le climat sur l'équilibre énergétique du système couplé Terre/atmosphère. Le terme « radiatif » est utilisé parce que ces facteurs modifient l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant au sommet de l'atmosphère et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère. Le forçage radiatif est généralement exprimé par unité surfacique du globe, en « watts par mètre carré » (W/m²).

RF de +2.3 W/m² en 2011
 par rapport à rayonnement solaire de 340 W/m²
A causé un réchauffement global de 1°C

L'Anthropocène



GIEC, 2007

Terme proposé pour désigner l'époque où l'Homme devient une « force géologique »

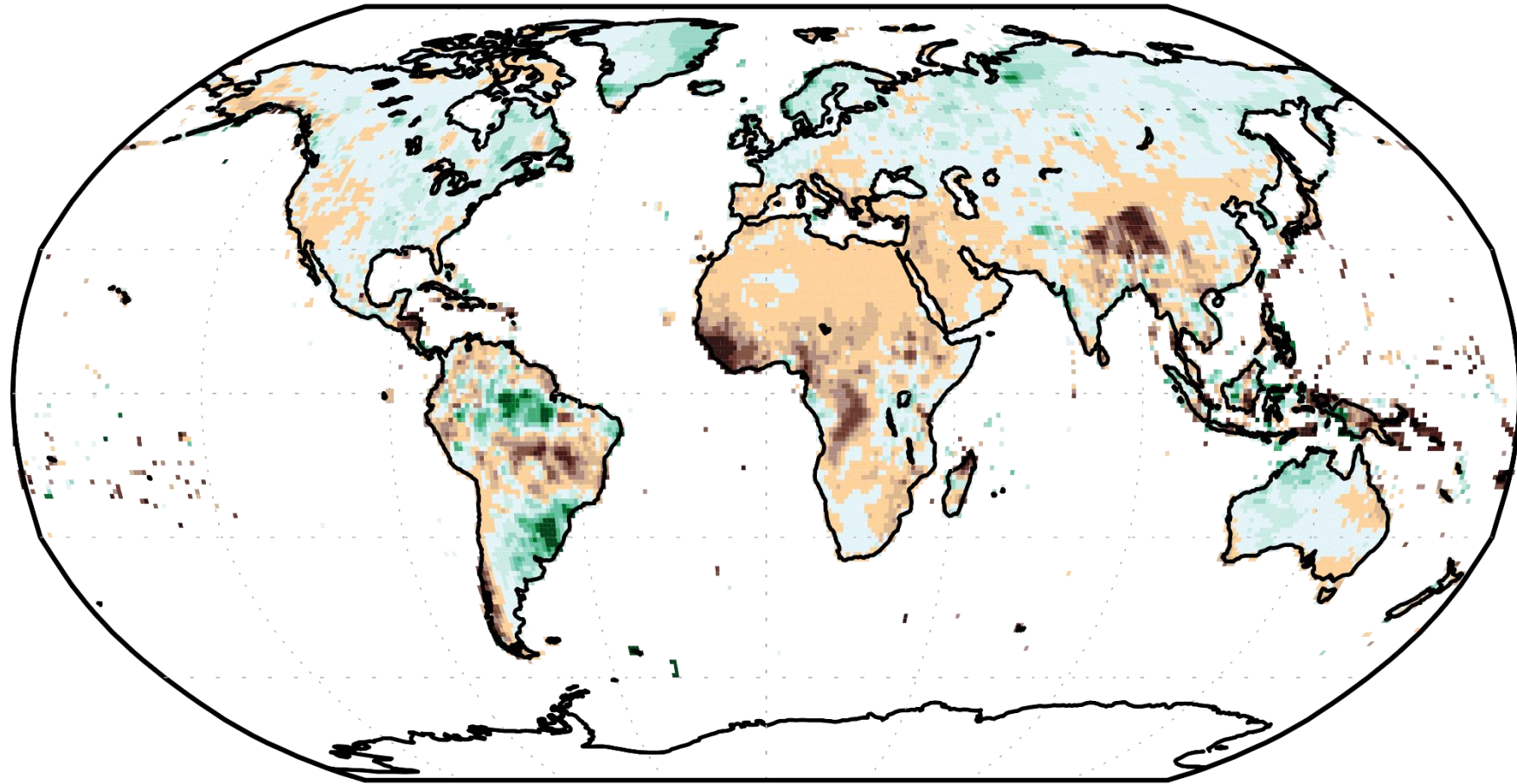
Début en 1784 (machine à vapeur de Watt) selon Crutzen (Nobel 1995)

Changements multiples et prononcés :

- Composition atmosphérique
- Climat
- Acidification des océans
- 6^{ème} extinction de masse
- Dépôts de plastique
- Orbite terrestre
- Séismes induits

Les précipitations changent aussi, bien que la moyenne globale change peu

Changements de précipitation moyenne annuelle entre 1986-2015 et 1901-1960
à partir des observations de stations long-terme (donc sur continents)



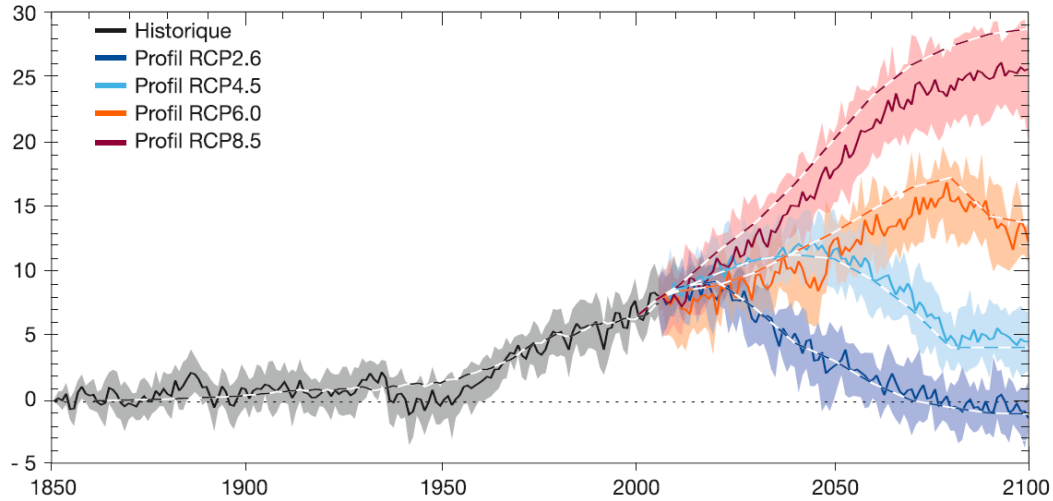
Bcp de
baisses dans
les zones
sèches et/ou
déforestées

Change in Precipitation (inches)



Et dans le futur ??

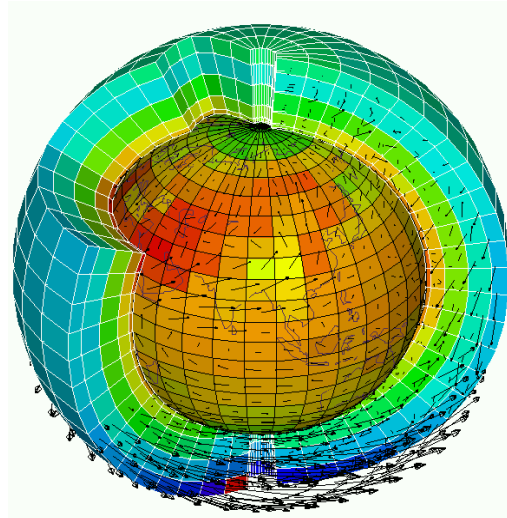
4 scénarios d'émissions futures (en GtC/an)



RCPx indique une augmentation de RF de x W/m^2 entre 1850 et 2100

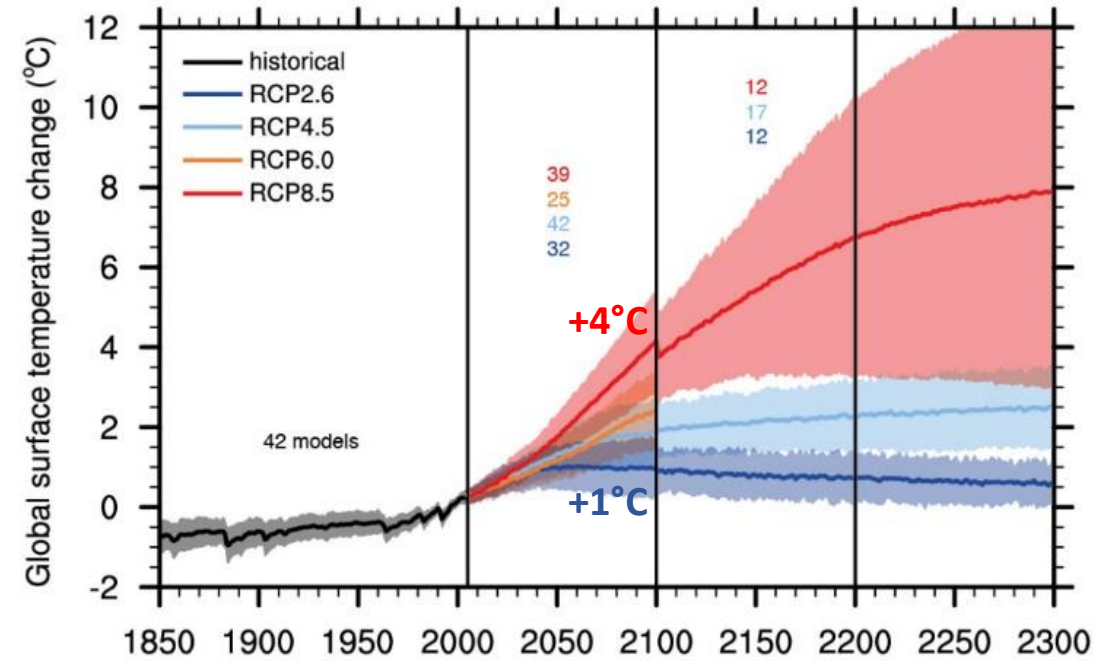
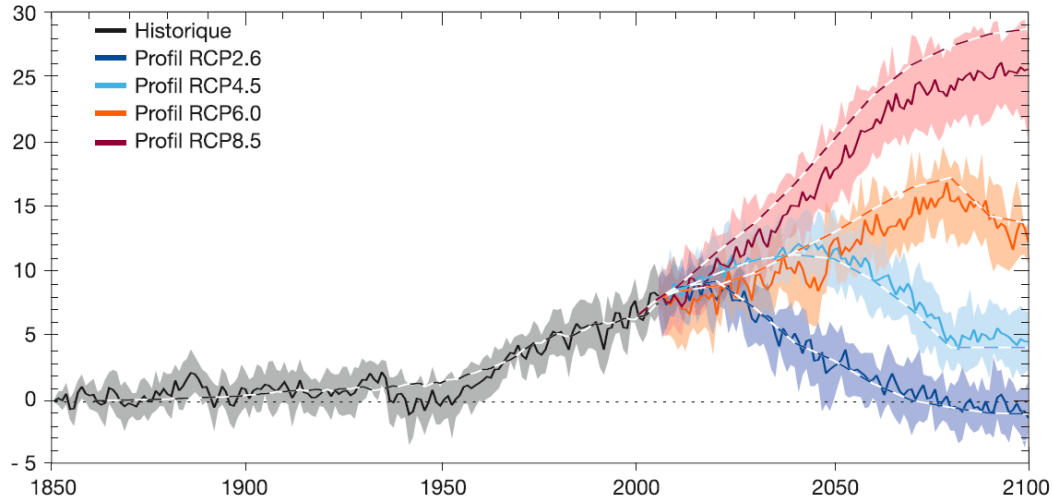
Avec aussi des scénarios d'aérosols et occupation des terres

Modèles climatique



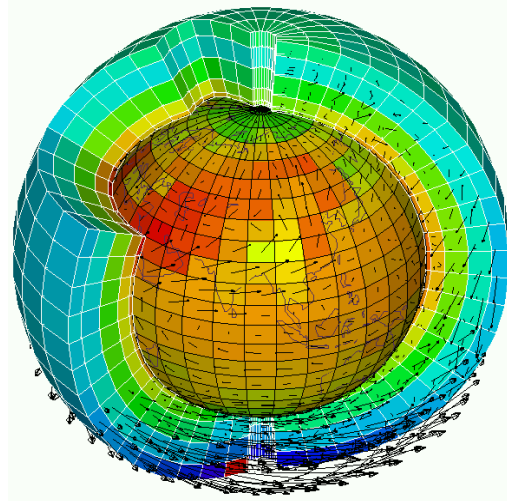
Et dans le futur ??

4 scénarios d'émissions futures (en GtC/an)

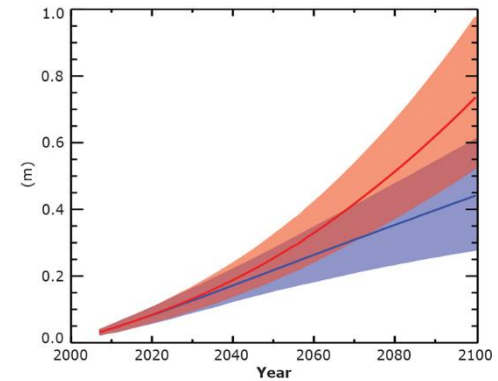


Avec aussi des scénarios d'aérosols et occupation des terres

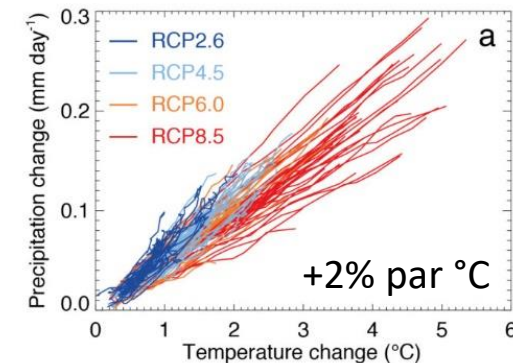
Modèles climatique



Niveau de la mer

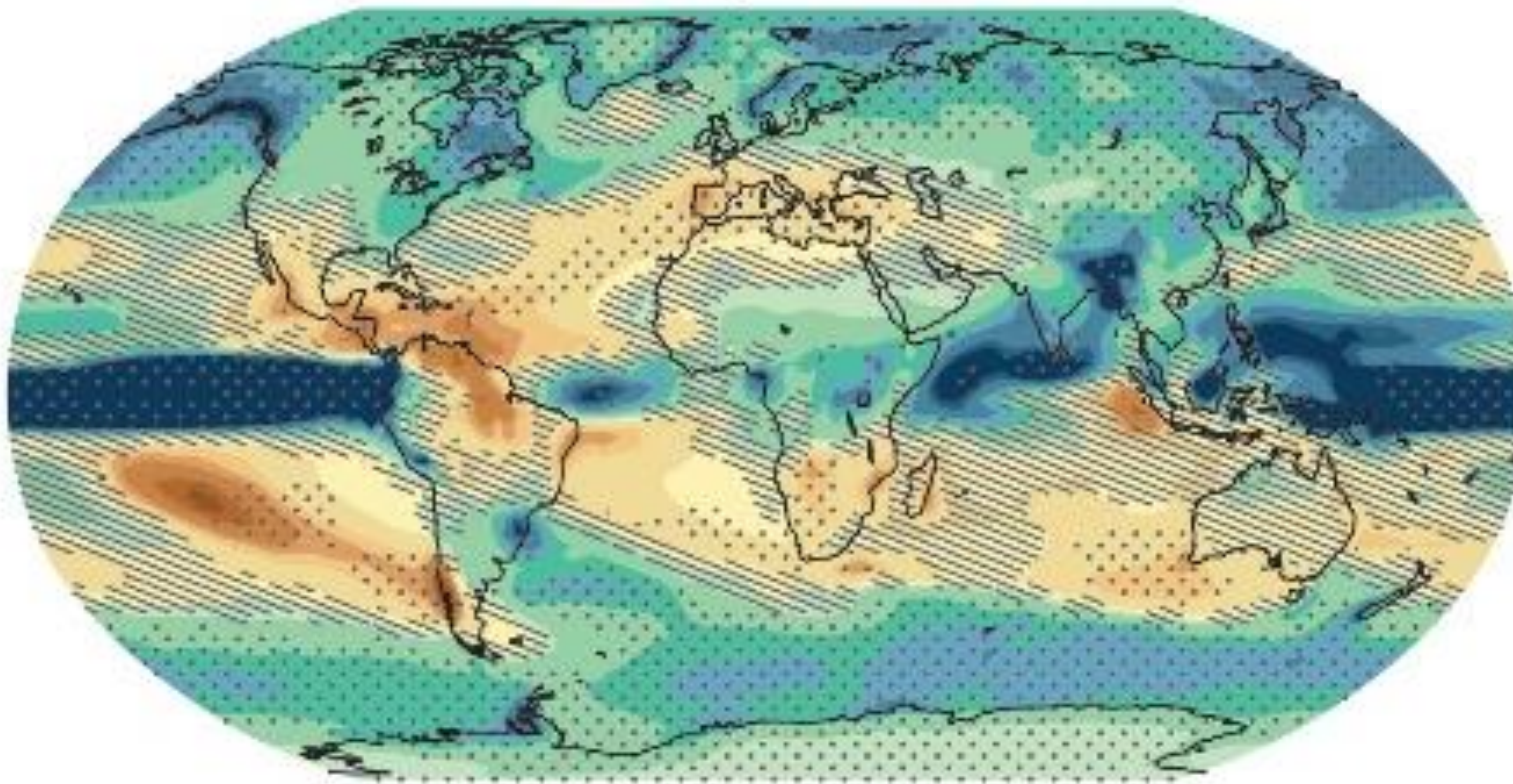


Précipitations

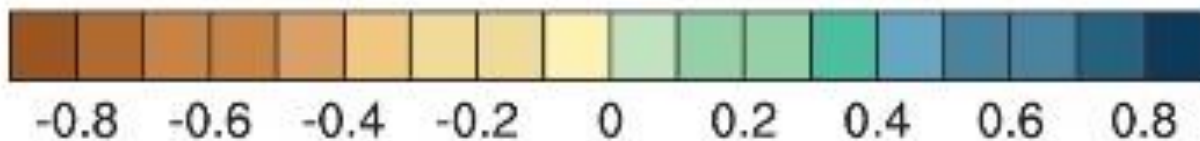


Accroissement des inégalités de précipitations

Annual mean changes in precipitation in 2081–2100 relative to 1986–2005 under RCP8.5



(mm day⁻¹)



Pointillés si changement robustes :

P augmente dans zones humides

P baisse dans zones sèches

Hachures si changements incertains :

Dans les zones de transition

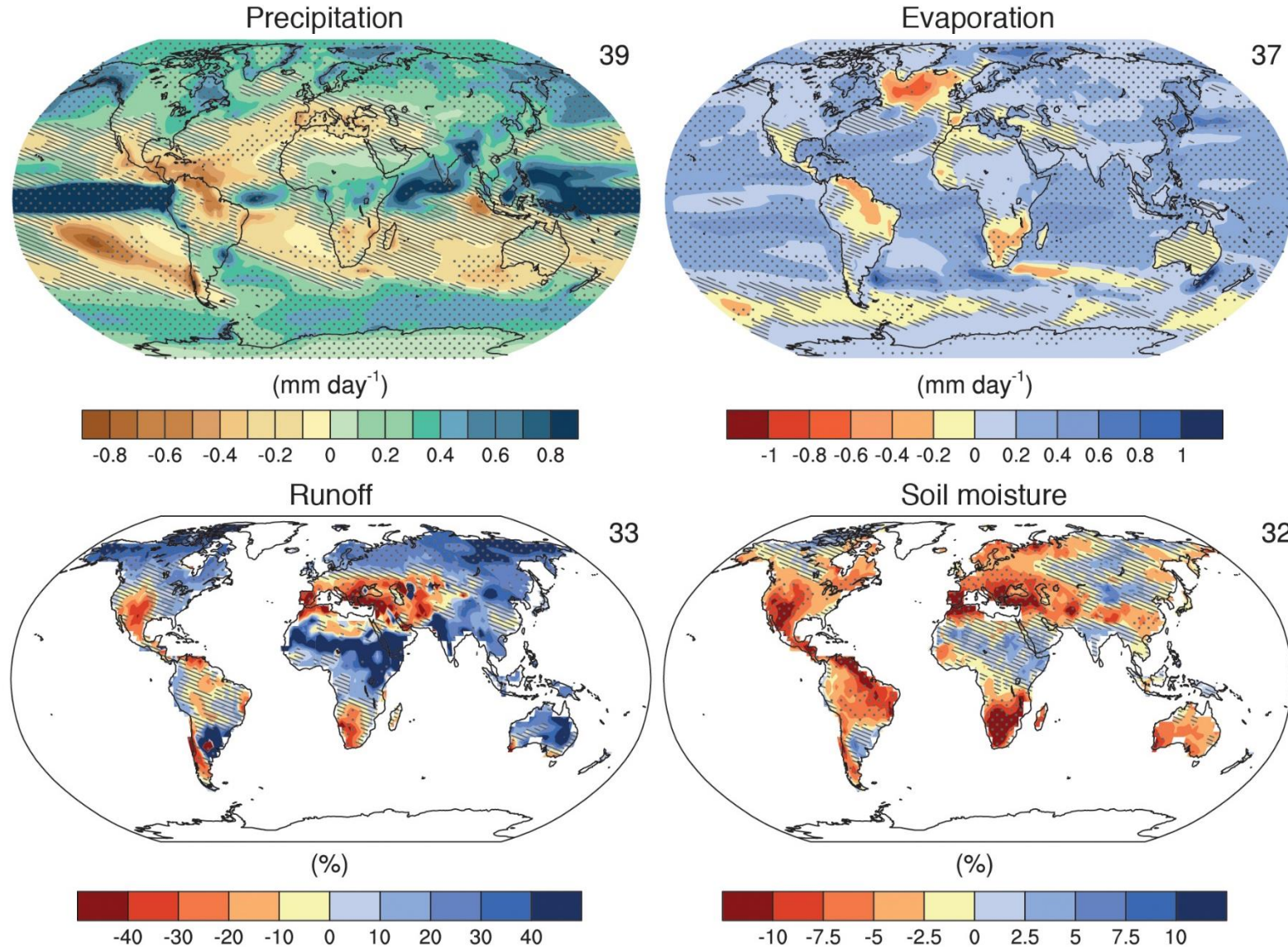
39 modèles de climat

Pointillés si chgt > 2 écart-type
et 90% modèles ok sur signe

Hachures si chgt < 1 écart-type

Autres manifestations de l'intensification du cycle de l'eau

Annual mean changes in 2081–2100 relative to 1986–2005 under RCP8.5



E augmente car rayonnement accru, sauf où stress hydrique

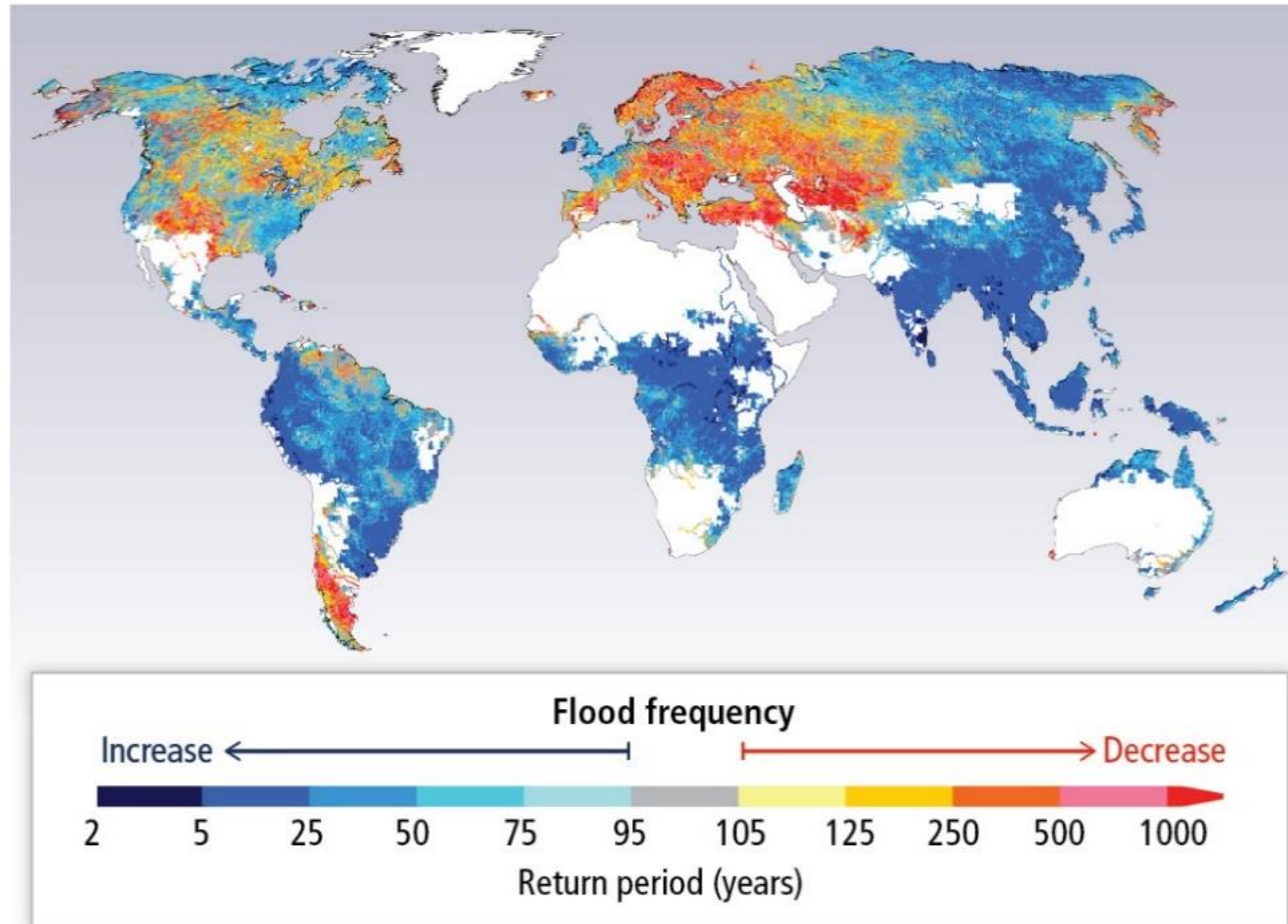
Mêmes motifs que pour P

Assèchement plus large que baisses de P car E augmente

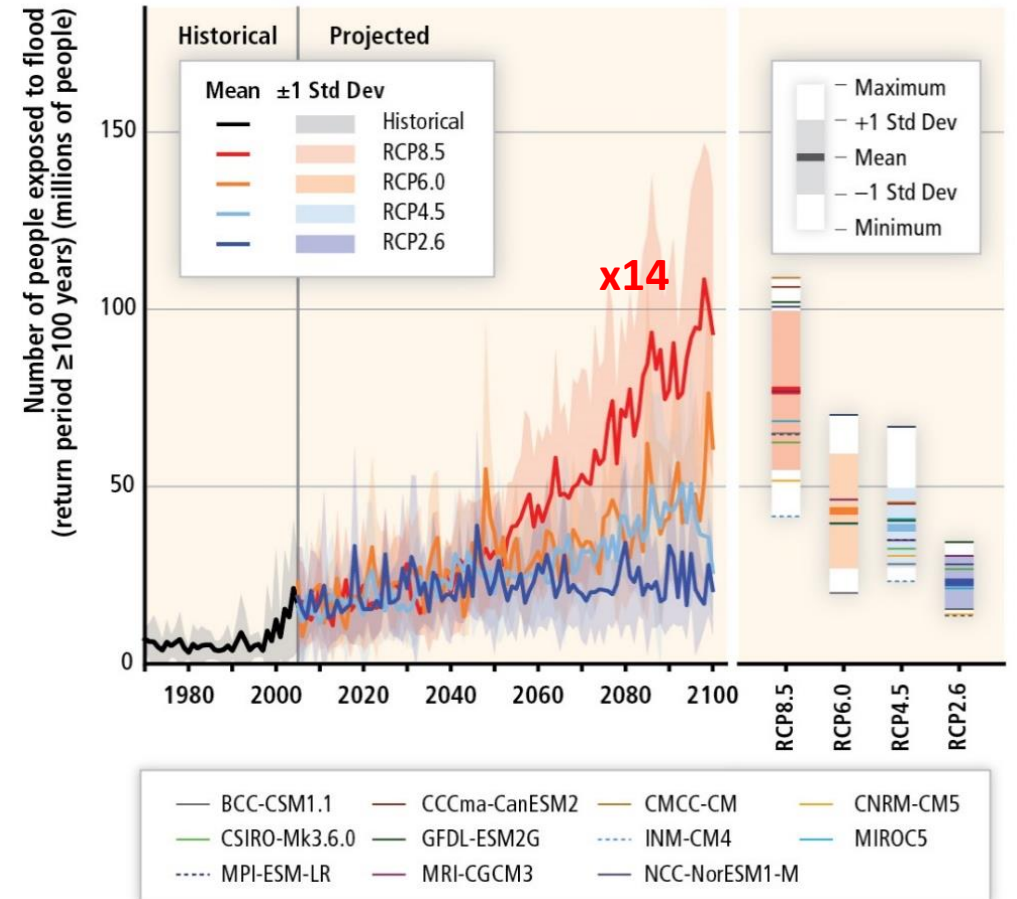
Intensification des évènements extrêmes – Les crues

En chaque point on estime le débit correspondant à une crue centennale en 1971-2000.

(a) Période de retour de ce débit en 2071-2100
Carte de la médiane sur 11 modèles de climat sous RCP8.5

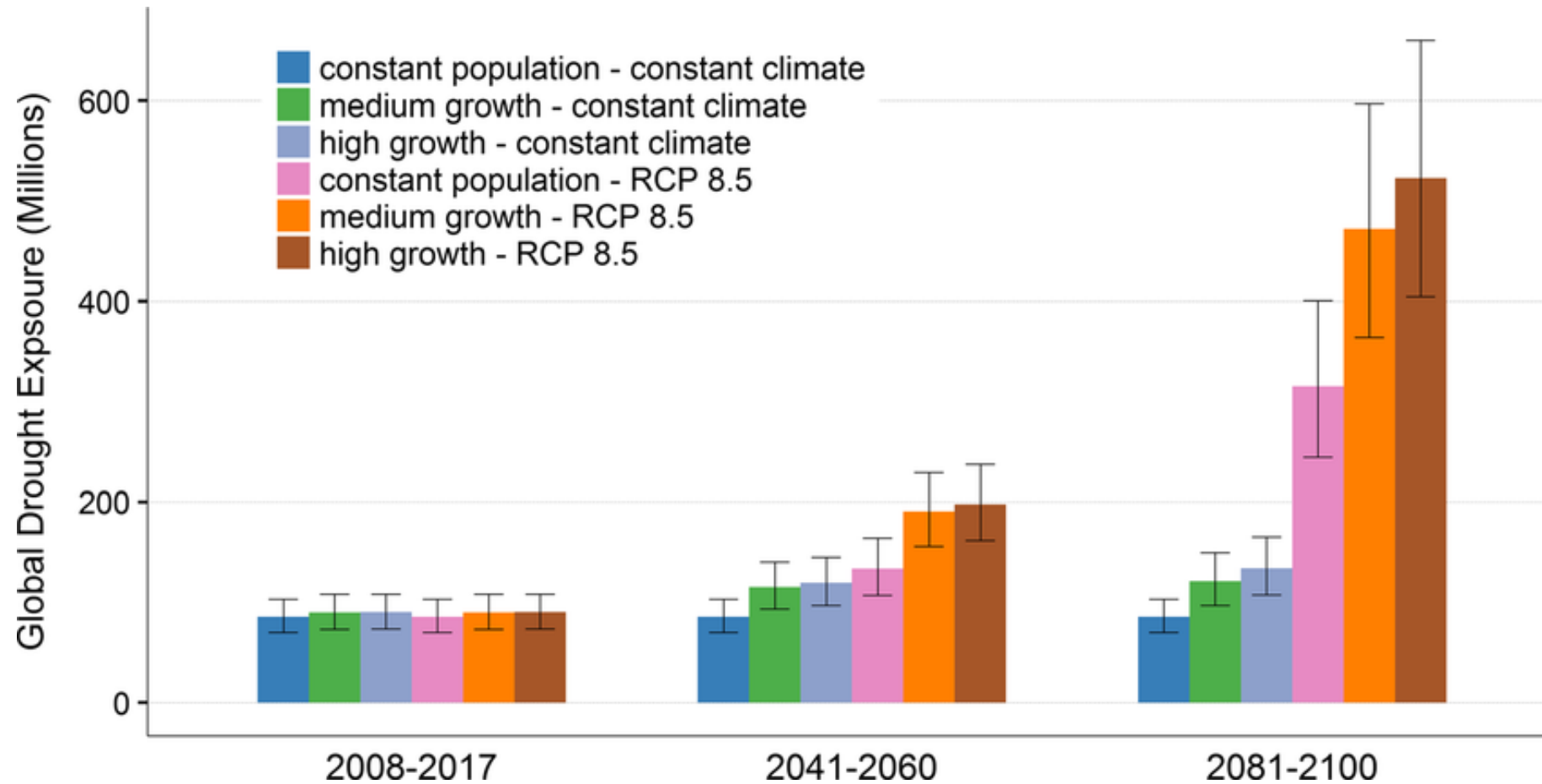


(b) Evolution du nb de personnes exposées à ce débit selon 4 RCPs (en supposant pop de 2005)



Fin du 21^e par rapport à 20^e : **x4 (RCP2.6)** à **x14 (RCP8.5)**

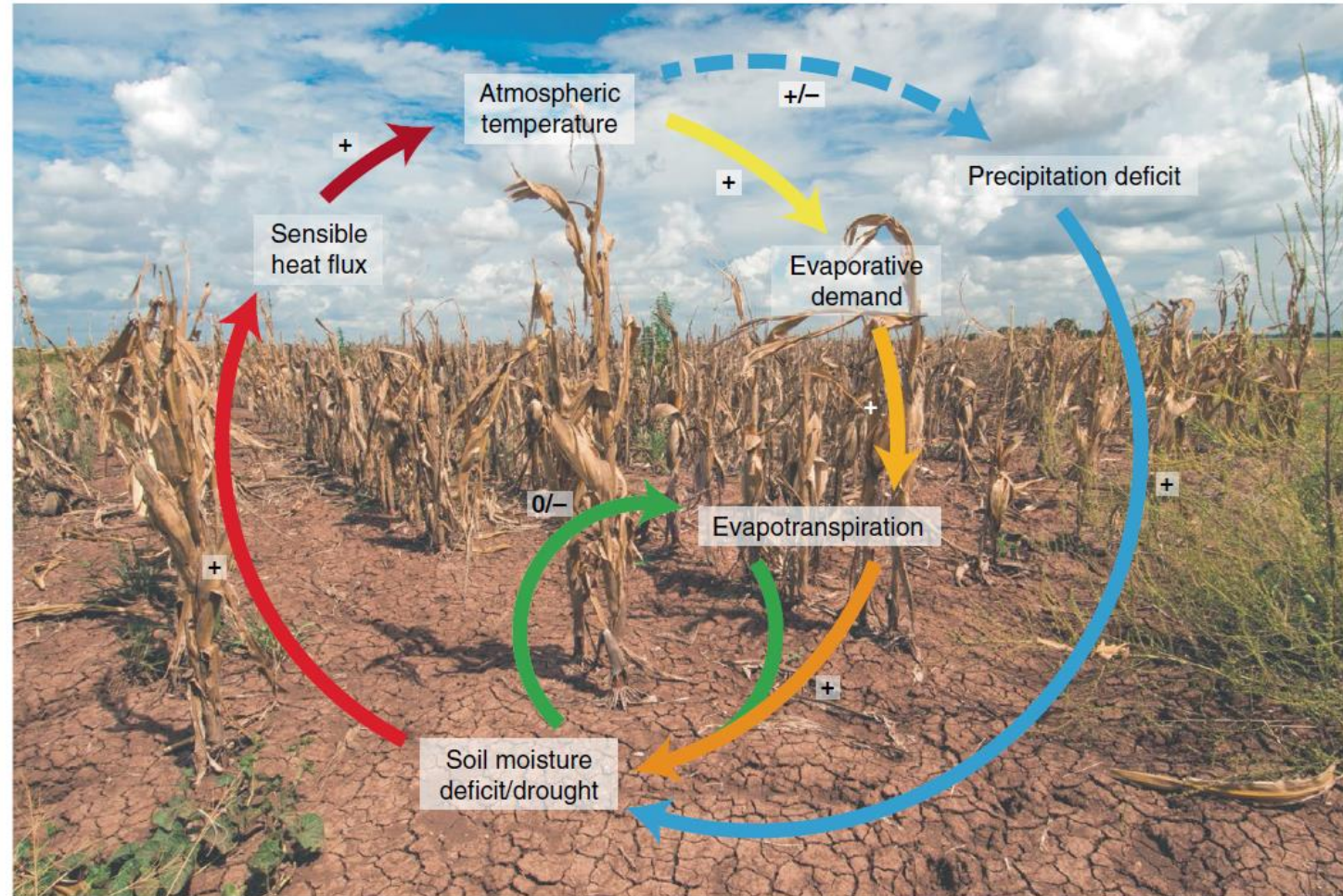
Intensification des évènements extrêmes – Les sécheresses



Average monthly population exposed to extreme meteorological drought under RCP 8.5 and/or demographic scenarios. The results are based on the mean values from the ensemble of 16 CMIP5 climate models.

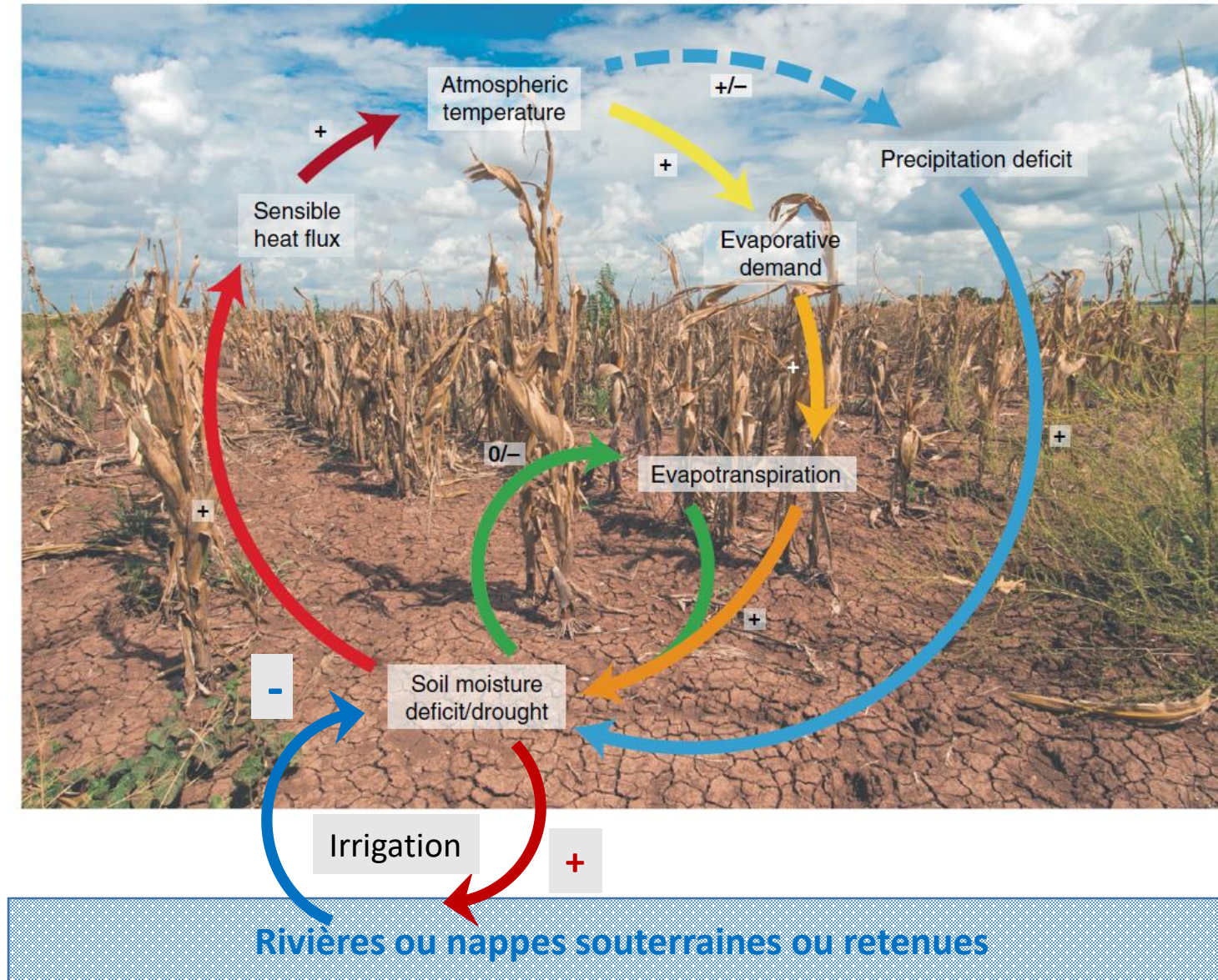
The error bars represent 90 % confidence intervals

Rétroactions locales entre sécheresses et canicules



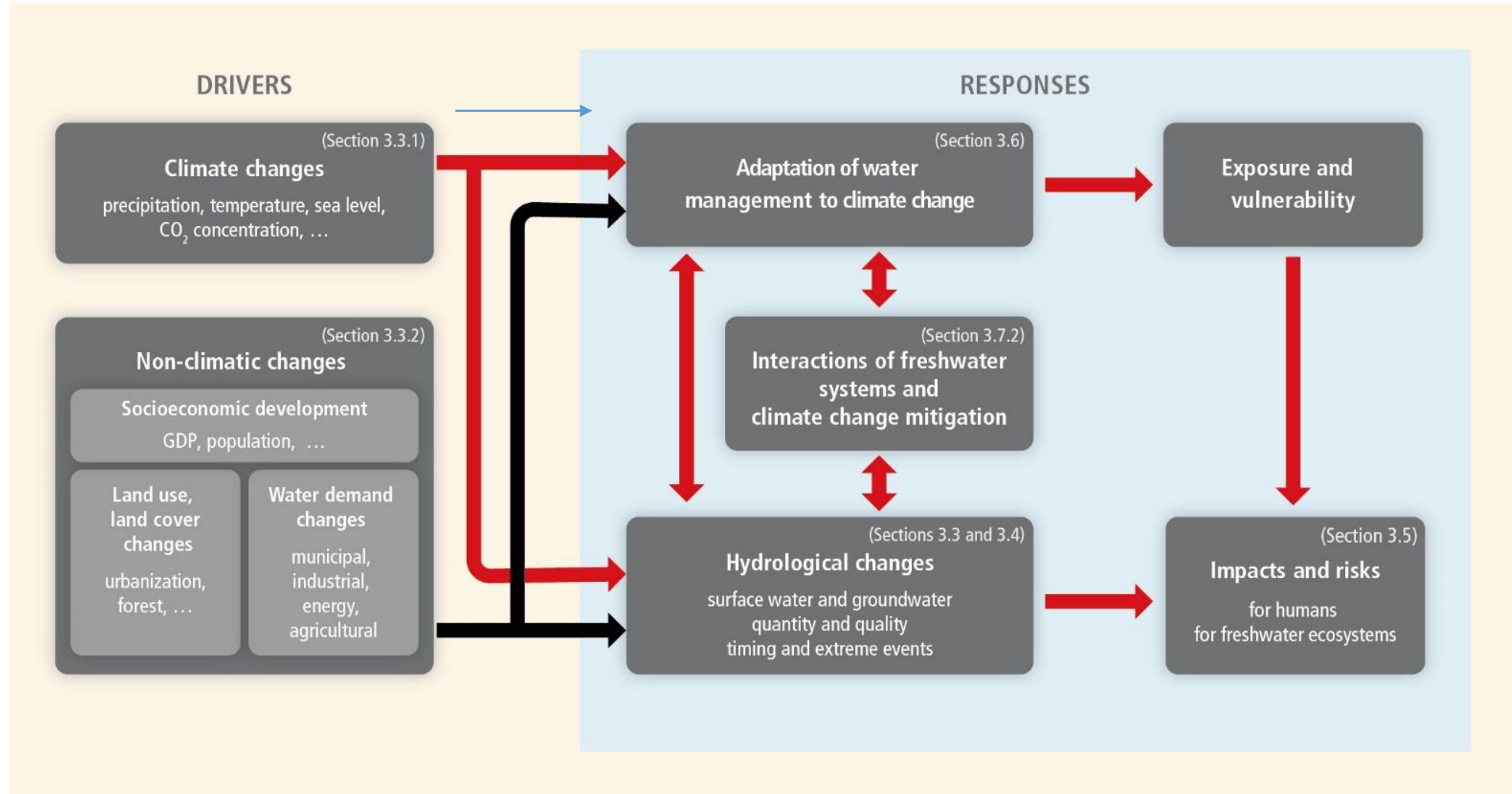
Les sécheresses ont tendance à favoriser les canicules

Rétroactions locales entre sécheresses et canicules



L'irrigation est indispensable en cas de sécheresse, mais trop la développer peut devenir nuisible, à l'aval et même localement

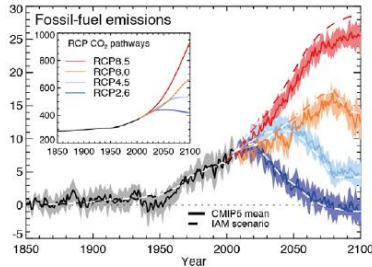
Comment adapter le secteur de l'eau au changement climatique ?



Difficile car multi-factoriel, multi-sectoriel, avec contraintes souvent très locales

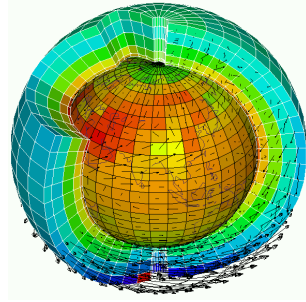
Recours fréquent à des projections hydrologiques régionalisées

Scénarios d'émissions

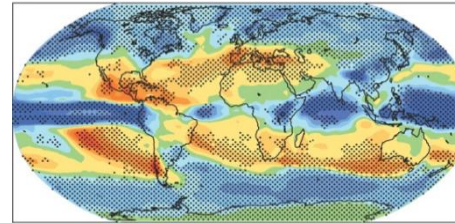


Approche multi-scénarios, multi-modèle pour caractériser les incertitudes

Modèles climatiques globaux

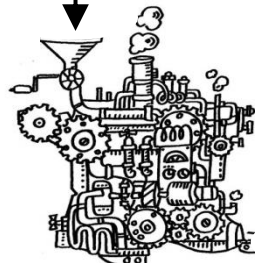


Projections climatiques de grande échelle

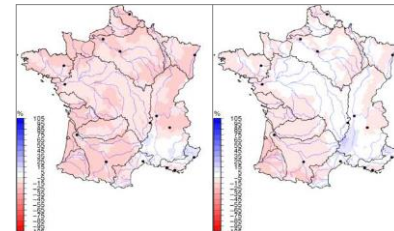


GIEC – WG1

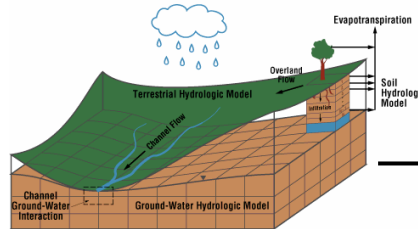
Projections climatiques régionalisées



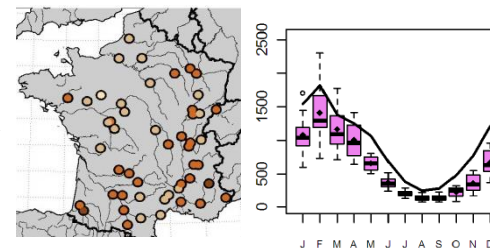
Descente d'échelle + correction de biais



Projections hydrologiques régionalisées



Modèles hydrologiques



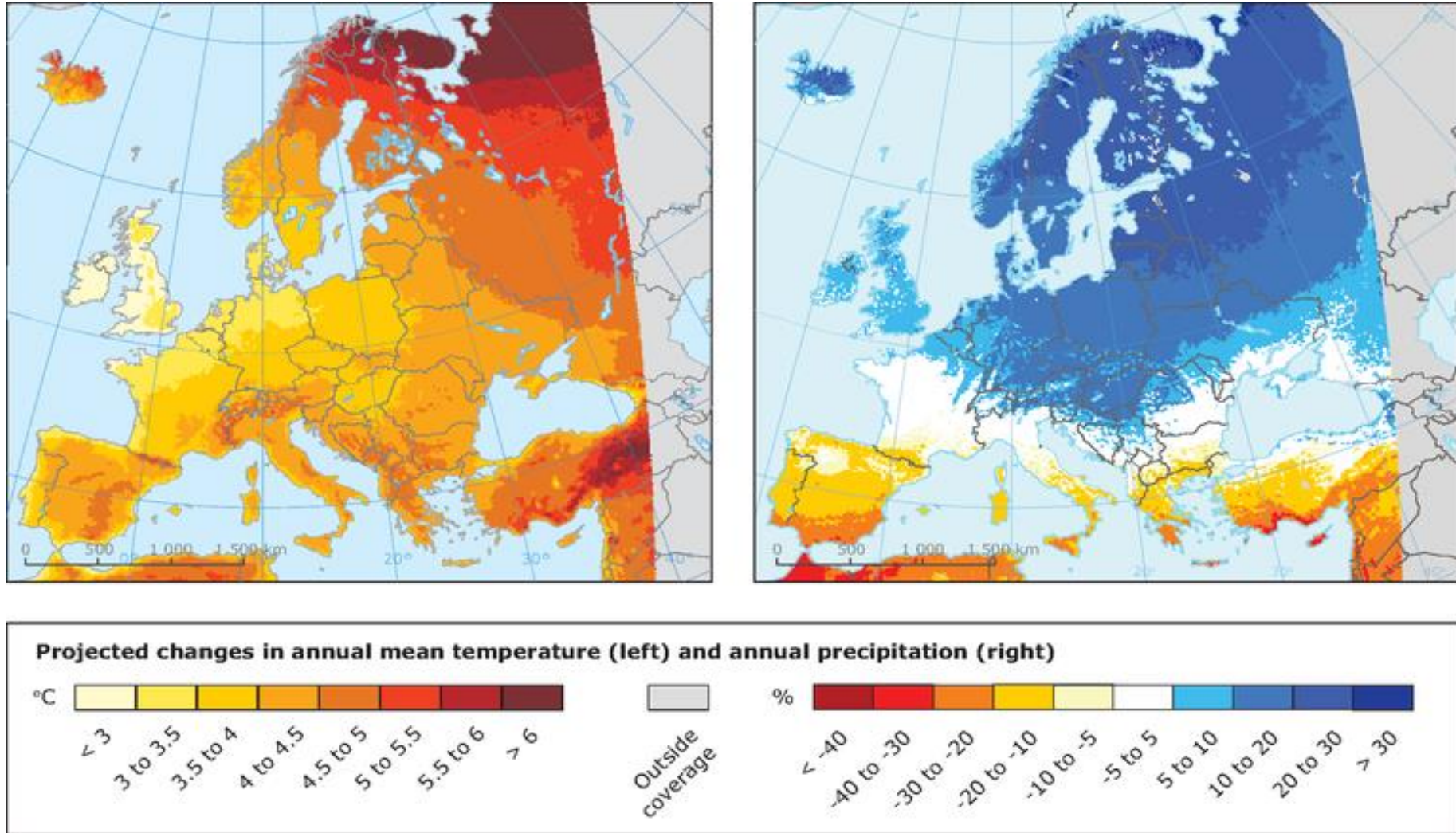
Impacts, vulnérabilité ?

Impose de tenir compte des incertitudes (en cascade) et de proposer des diagnostics pertinents pour les parties prenantes (gestionnaires...)

Adaptation ?

Impose souvent de tenir compte d'autres pressions (non climatiques) et d'autres modèles d'impact

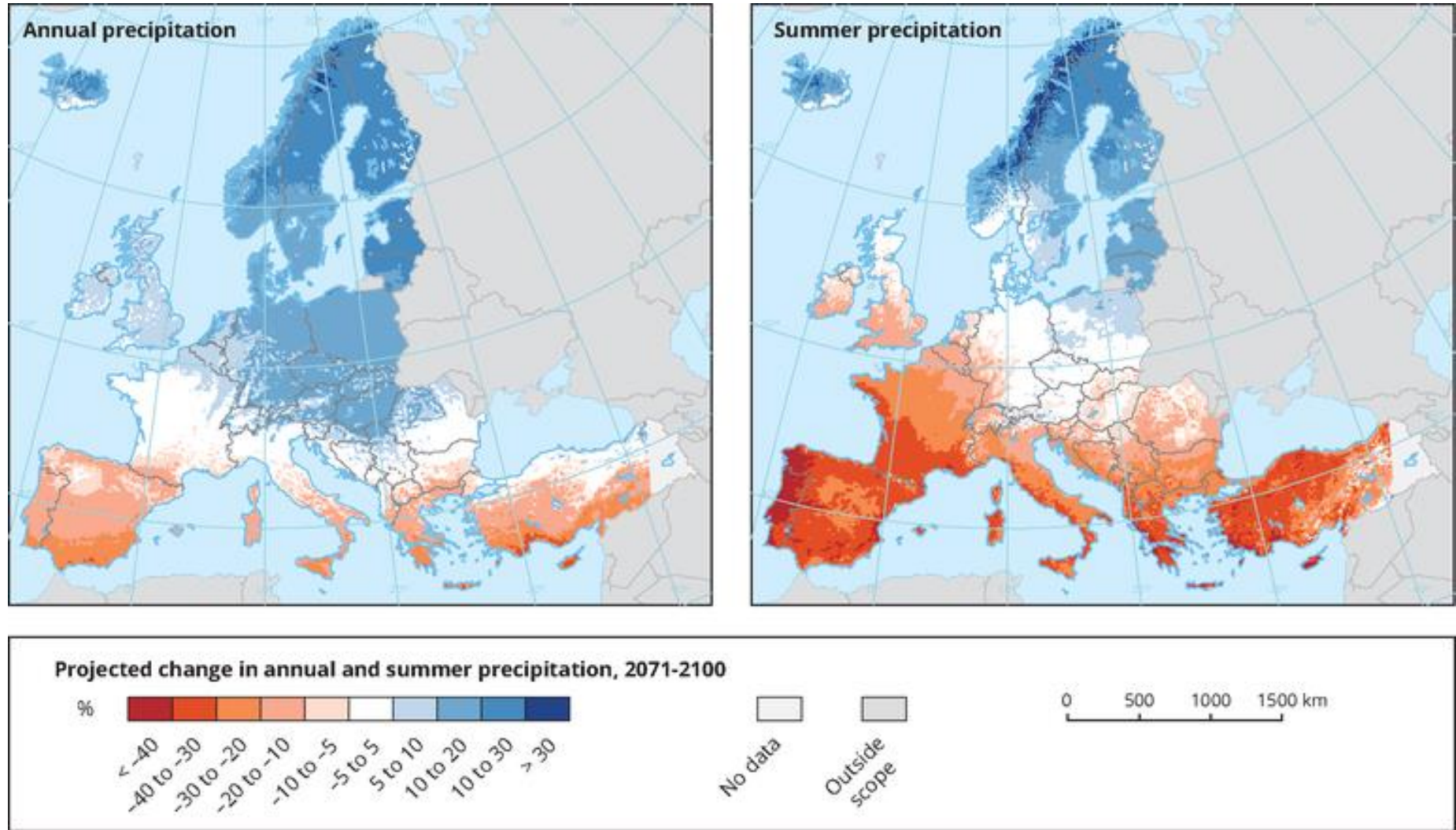
Exemple de projections climatiques régionalisées



Projections EuroCORDEX, avec 12 RCMs (à 12.5 km) forcés par 1 à 7 GCMs sous RCP8.5.
Changements en 2071-2100 par rapport à 1971-2000

<https://www.euro-cordex.net/>

Exemple de projections climatiques régionalisées



Projections EuroCORDEX, avec 12 RCMs (à 12.5 km) forcés par 1 à 7 GCMs sous RCP8.5.

Changements par rapport à 1971-2000

<https://www.euro-cordex.net/>

Exemple de projections hydrologiques en France

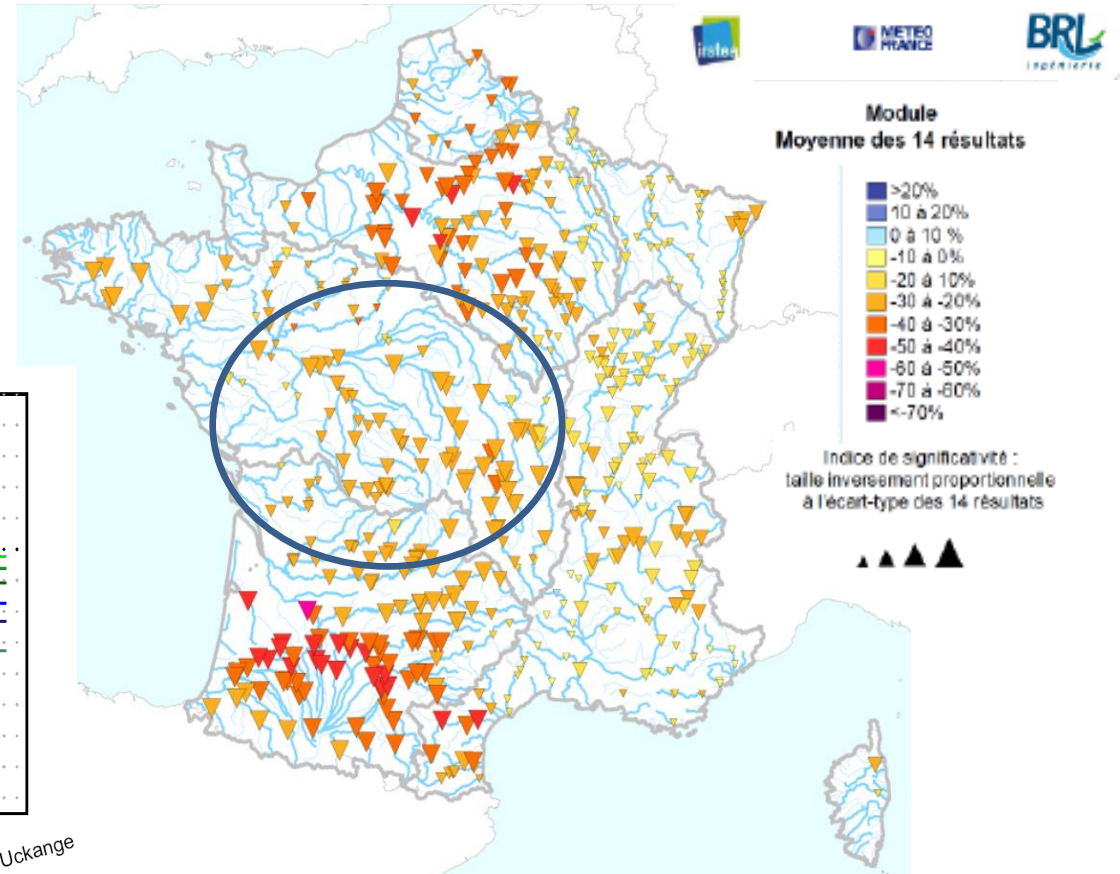
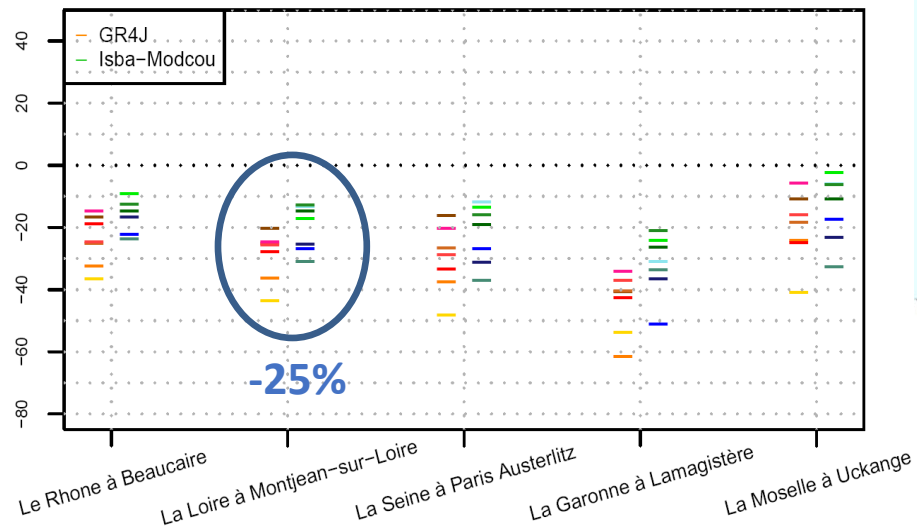
Le projet Explore 2070, piloté par le MEDDE de juin 2010 à octobre 2012, a eu pour objectif :

- de connaître les **impacts du changement climatique** sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à échéance 2070, pour anticiper les principaux défis à relever et hiérarchiser les risques encourus ;
- d'élaborer et d'évaluer des **stratégies d'adaptation dans le domaine de l'eau** en déterminant les mesures d'adaptation les plus appropriées pour répondre aux défis identifiés tout en minimisant les risques encourus.

Ingrédients

7 projections régionalisées A1B
2 modèles hydrologiques

Changement de débit moyen (%) à l'aval des grands fleuves



Résultat majeur : baisse des ressources en eau sur tout le territoire français à l'horizon 2070

Zoomons sur le bassin de la Loire

Projet ICC-Hydroqual, financé par le Plan Loire, coordonné par Florentina Moatar, Professeur à Tours

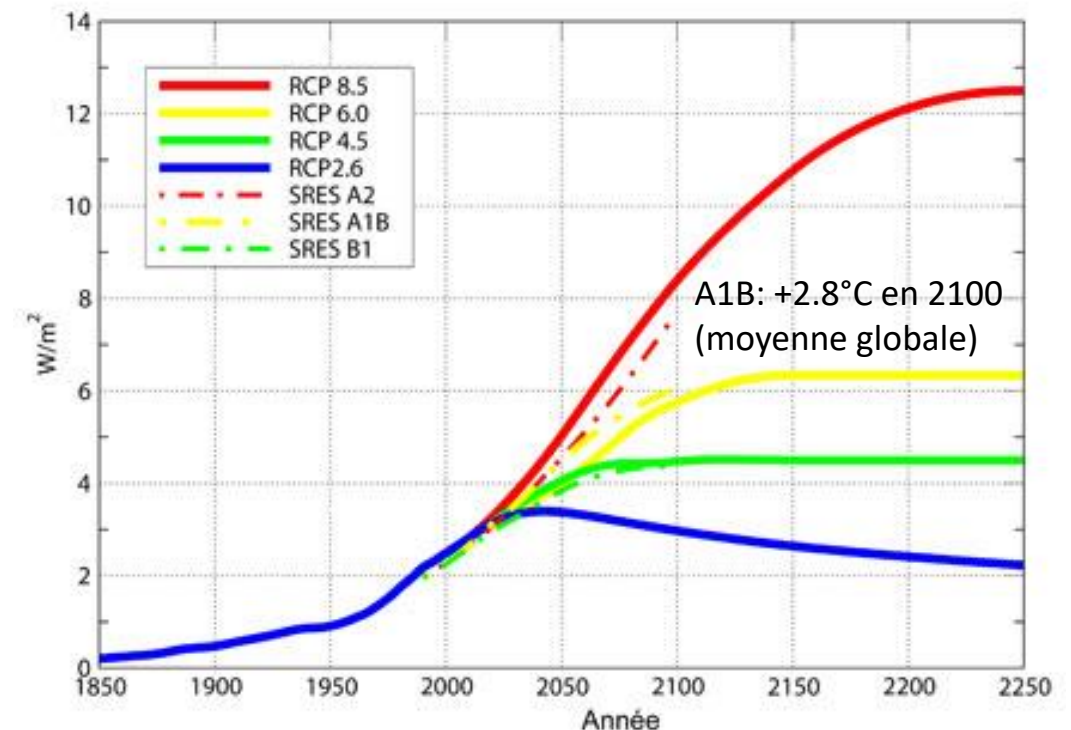
- Rapport publié en 2010
- Article de synthèse : Moatar F, Ducharne A, Thiéry D, Bustillo V, Sauquet E, Vidal JP (2010).

La Loire à l'épreuve du changement climatique. Géosciences, No. 12, 78-87.

http://hal-insu.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/92/54/PDF/Moatar-GA_osciences-2010.pdf

Ingrédients :

- Projections régionalisées à partir des projection globales pour le 4^{ème} rapport du GIEC (2007) (14 A1B dont avec ARPEGE + ARPEGE A2 et B1)



Zoomons sur le bassin de la Loire

Projet ICC-Hydroqual, financé par le Plan Loire, coordonné par Florentina Moatar, Professeur à Tours

- Rapport publié en 2010
- Article de synthèse : Moatar F, Ducharne A, Thiéry D, Bustillo V, Sauquet E, Vidal JP (2010).

La Loire à l'épreuve du changement climatique. Géosciences, No. 12, 78-87.

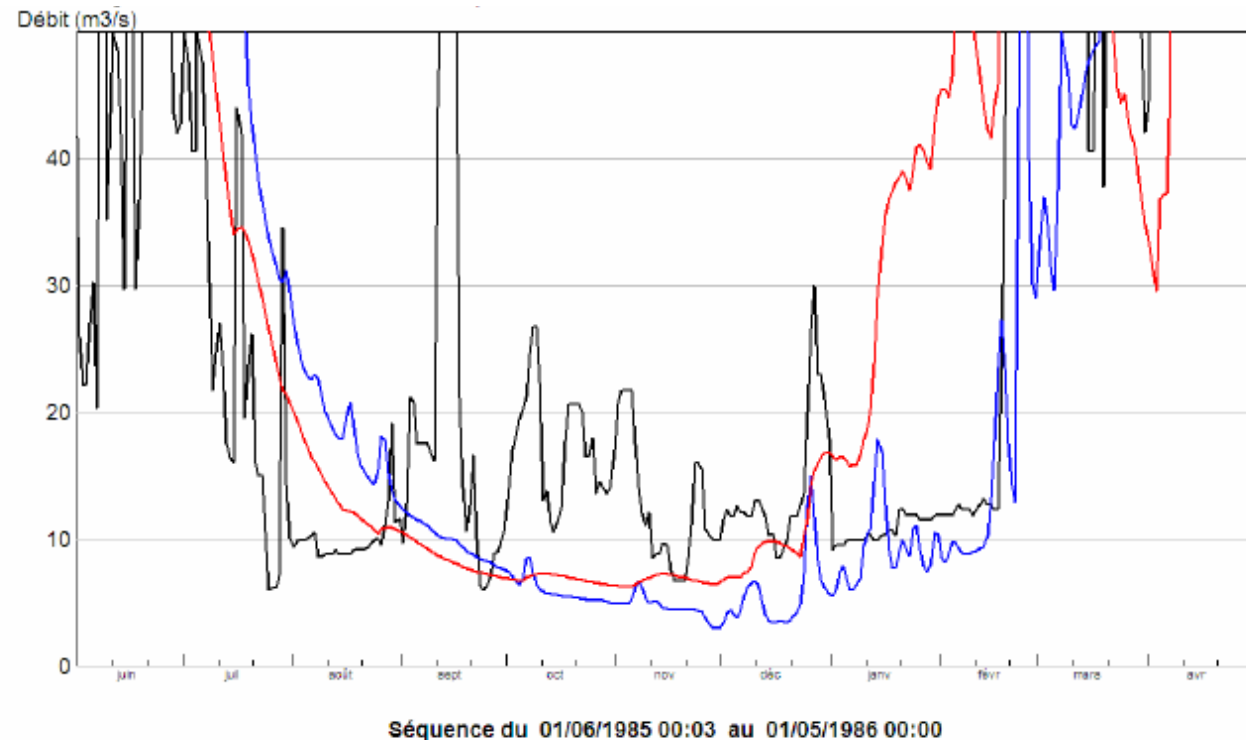
http://hal-insu.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/92/54/PDF/Moatar-GA_osciences-2010.pdf

Ingredients :

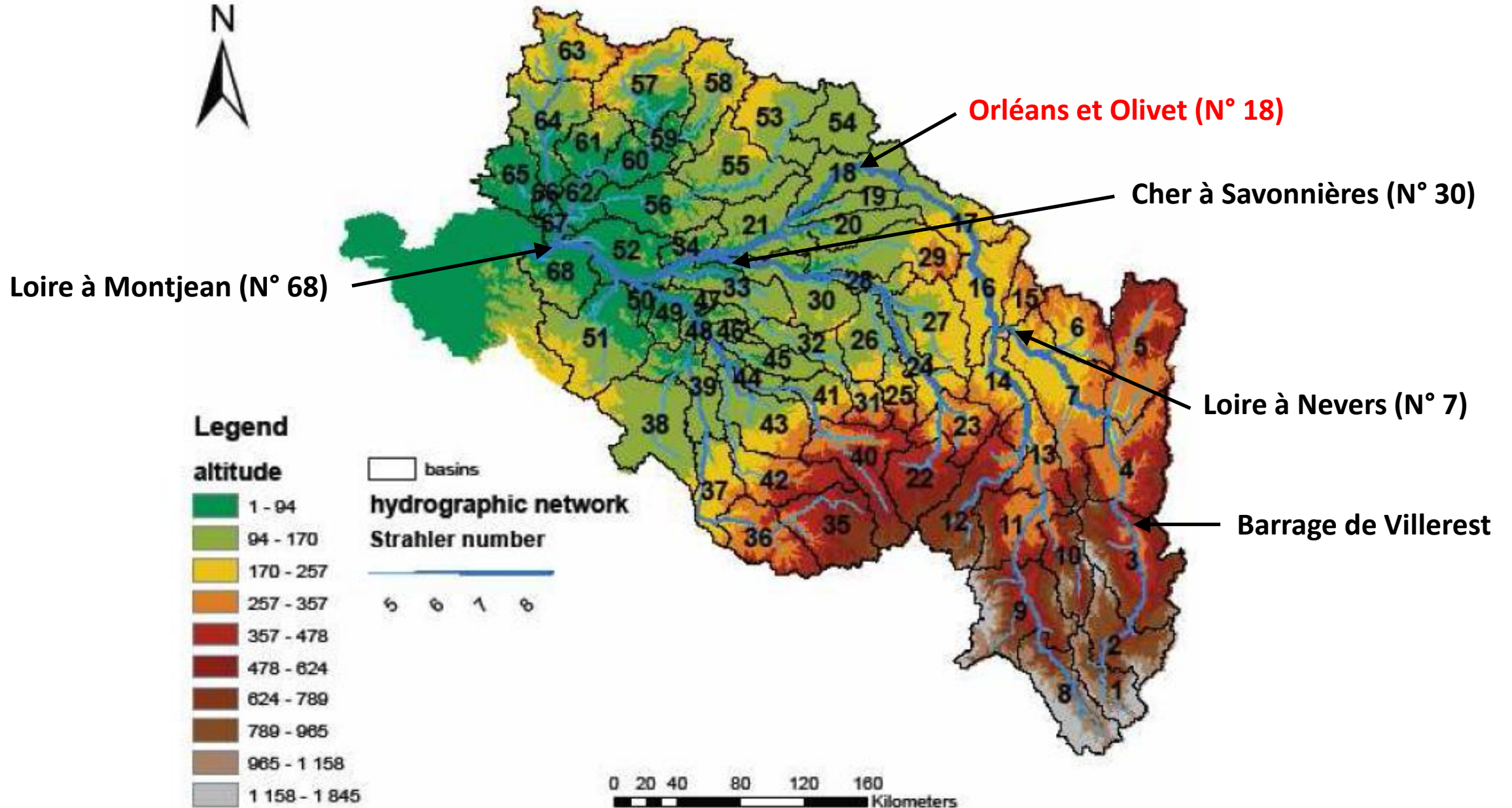
- Projections régionalisées à partir des projection globales pour le 4^{ème} rapport du GIEC (2007) (14 A1B dont avec ARPEGE + ARPEGE A2 et B1)
- 2 modèles hydrologiques qui reproduisent « correctement » les débits actuels

— EROS Loire|Villerest
— CLSM Loire|Villerest
— Obs Loire|Villerest

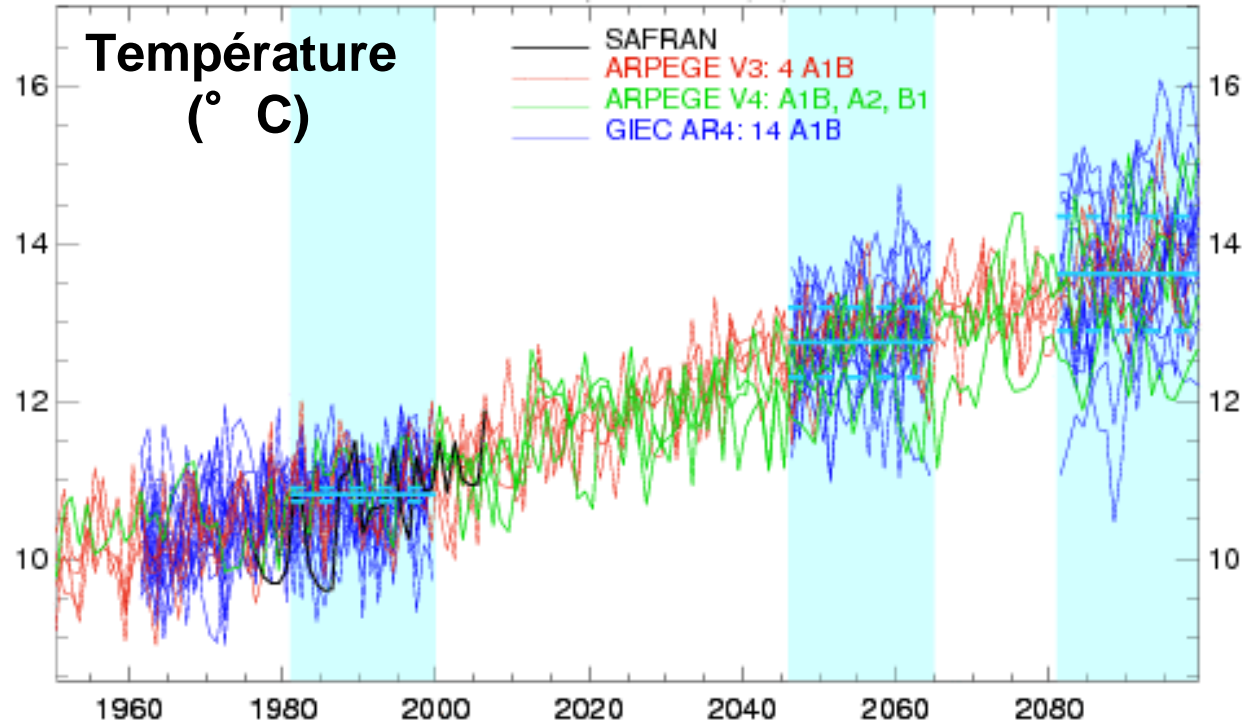
Débits simulés et observés à l'aval du barrage de Villerest
(amont de Roanne) lors de l'étiage de 1985



Zoomons sur le bassin de la Loire

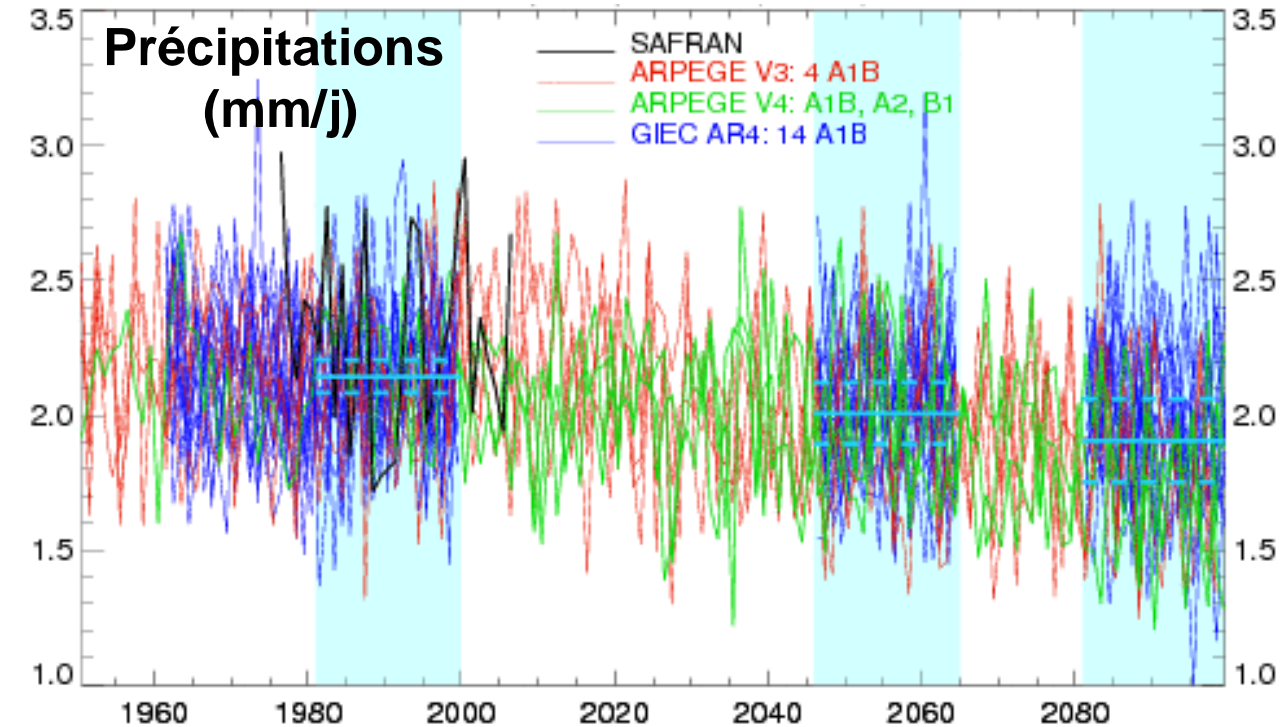


Zoomons sur le bassin de la Loire



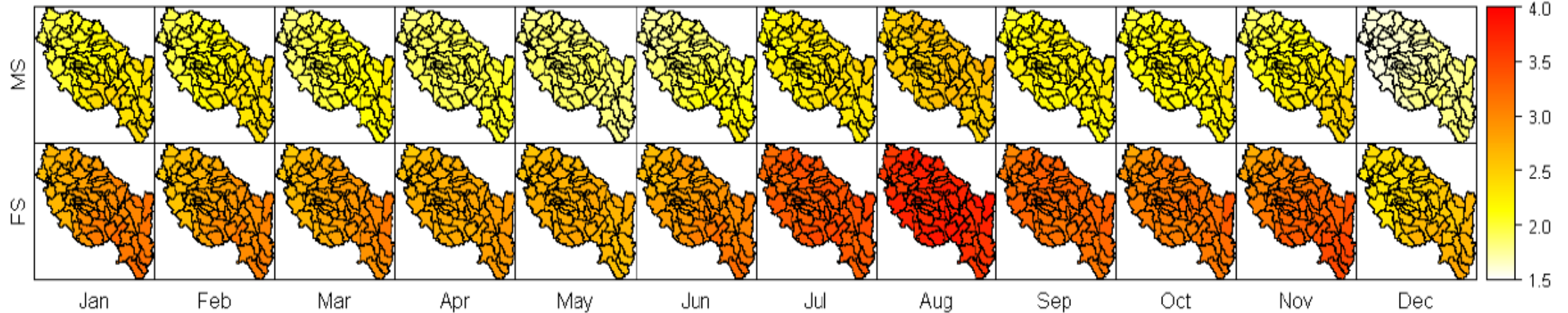
Les projections climatiques régionalisées prédisent, en fin de siècle sous scénario A1B:

- un réchauffement d'environ $+2.8^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.7^{\circ}\text{C}$)
- une légère baisse des précipitations annuelles



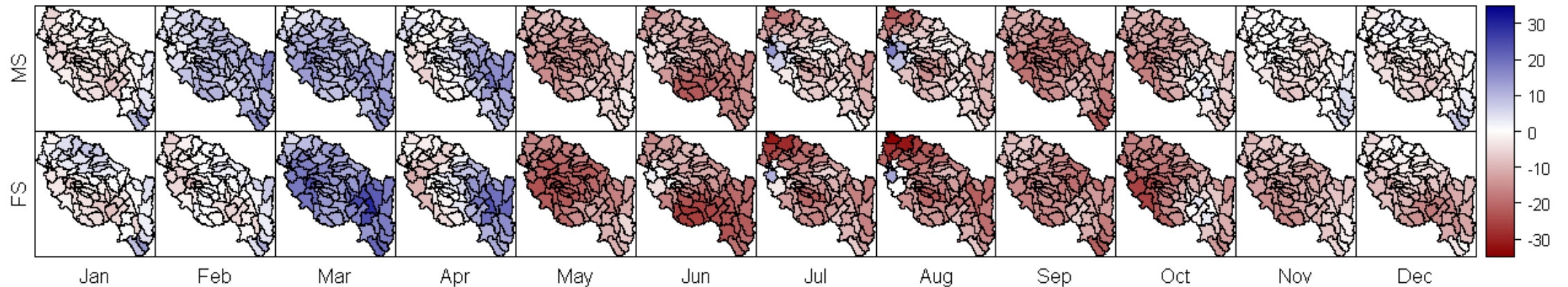
Zoomons sur le bassin de la Loire

Changement de température (en °C) vs 1971-2000 pour scénario A1B



+4°C en aout

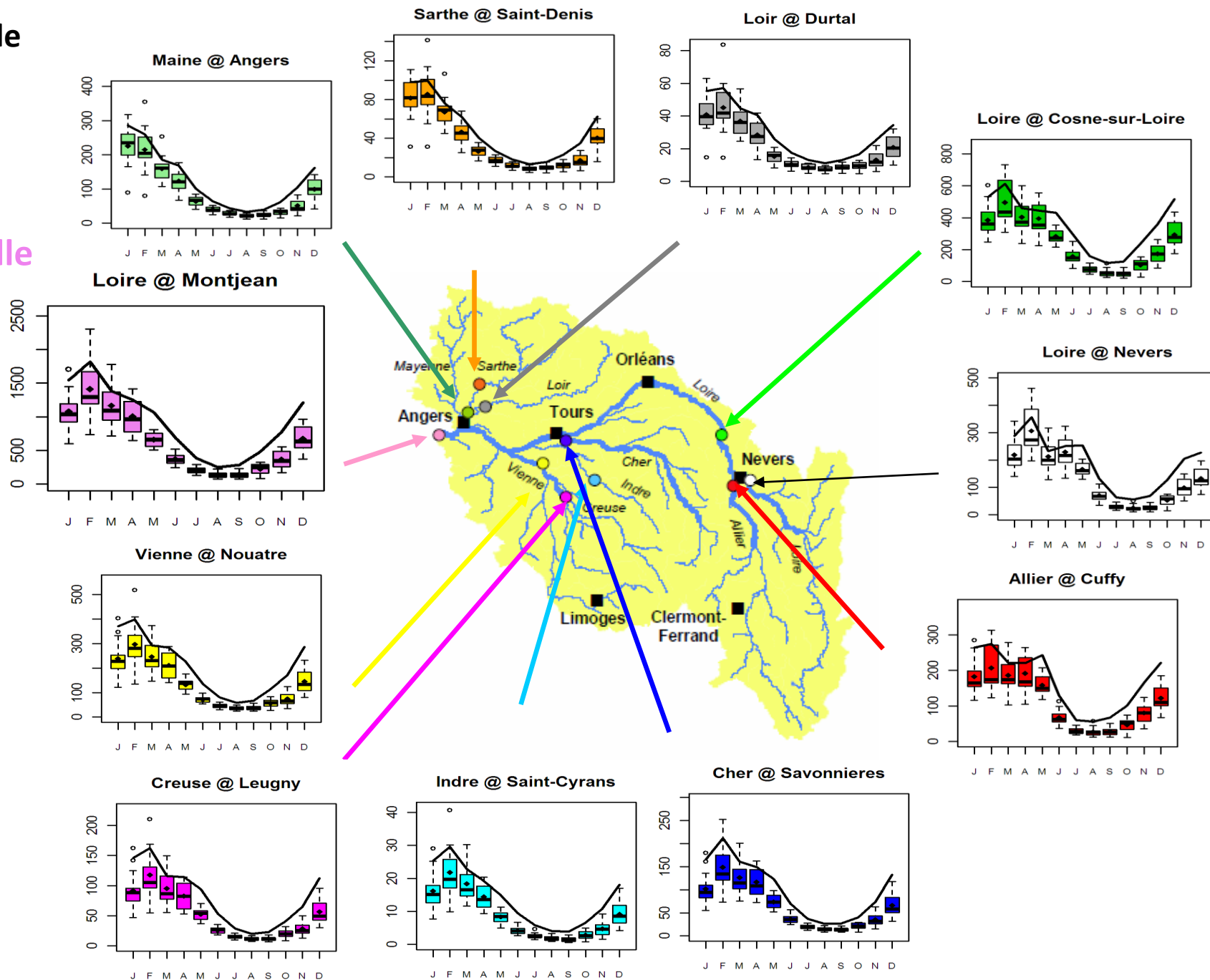
Changement de précipitation totale (en %) vs 1971-2000 pour scénario A1B



Forts déficits de pluie en été

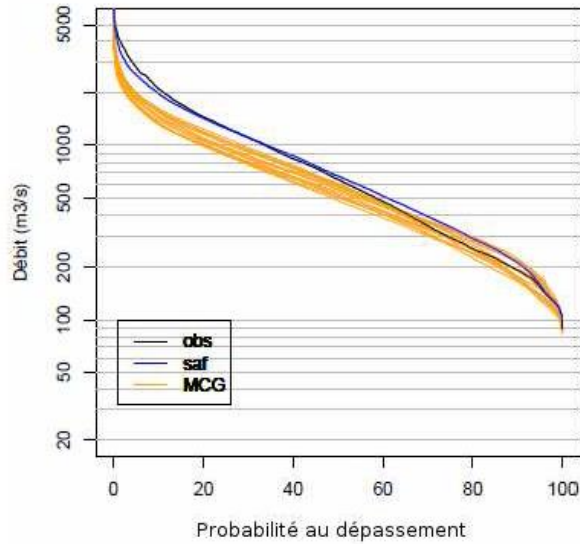
Projections de débit en fin de siècle par le modèle EROS sous climat A1B

A Montjean, moyenne annuelle
EROS -34%
CLSM -52%

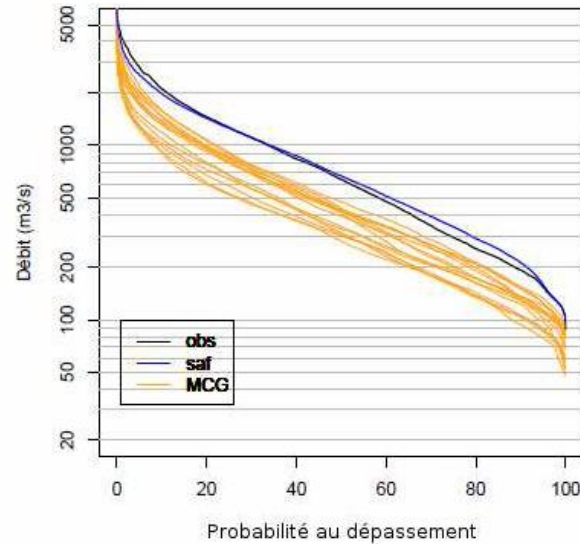


Zoomons sur le bassin de la Loire

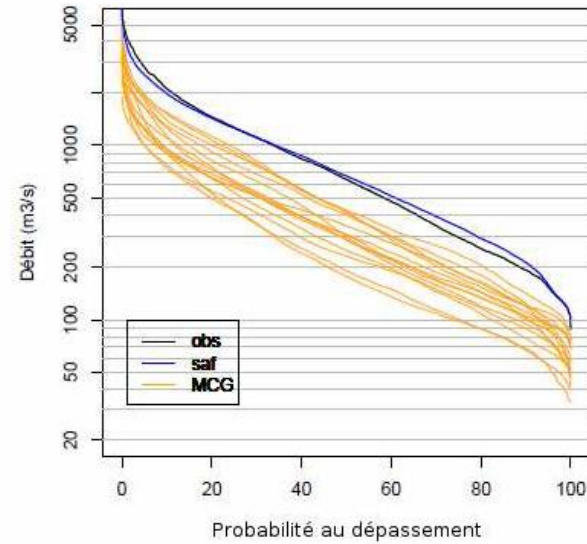
Débits classés (Loire à Montjean) 1974–1999 Eros



Débits classés (Loire à Montjean) 2049–2065 Eros

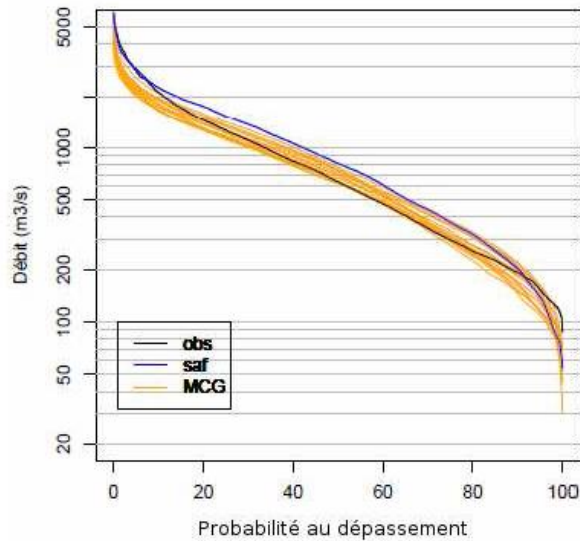


Débits classés (Loire à Montjean) 2084–2099 Eros

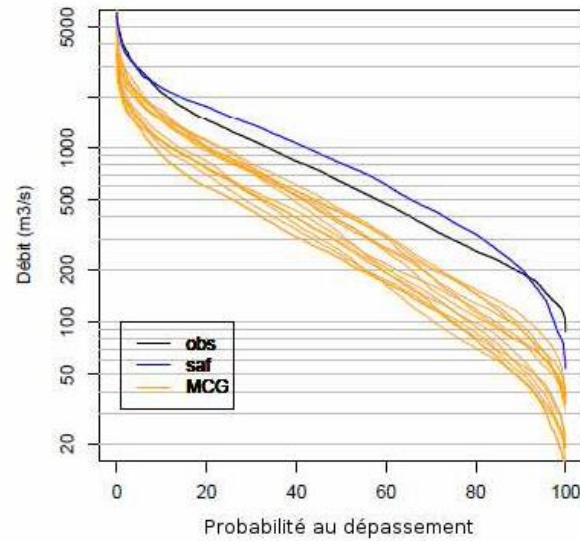


Loire à Montjean

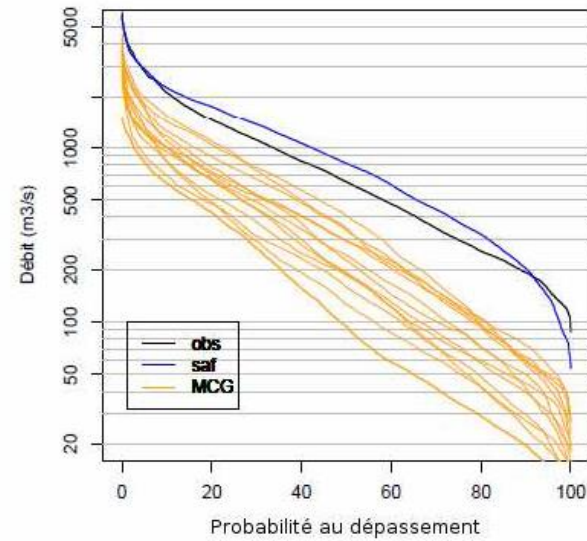
Débits classés (Loire à Montjean) 1974–1999 CLSM



Débits classés (Loire à Montjean) 2049–2065 CLSM



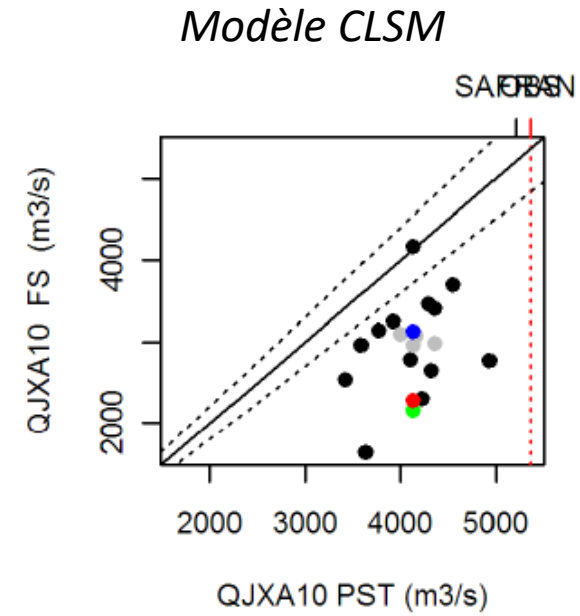
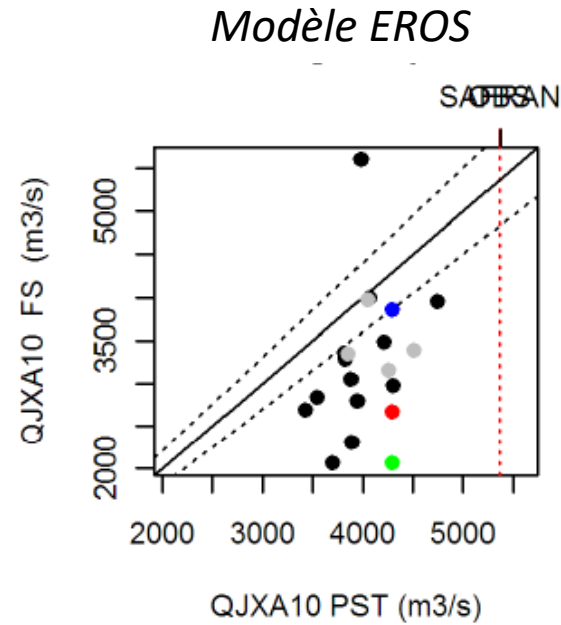
Débits classés (Loire à Montjean) 2084–2099 CLSM



Zoomons sur le bassin de la Loire

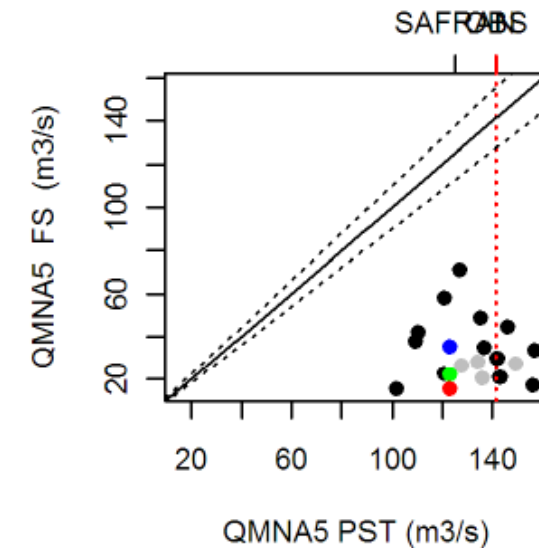
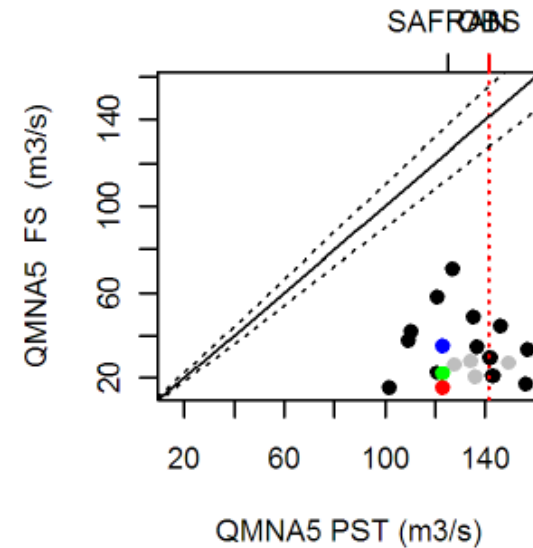
Débits extrêmes en fin de siècle, Loire à Montjean

Crués (QJXA10)



- Run ARPEGE
- IPCC A1B
- ARPEGE A1B
- ARPEGE A2
- ARPEGE B1

Etiages (QMNA5)



La question reste posée, comment nous adapter ?

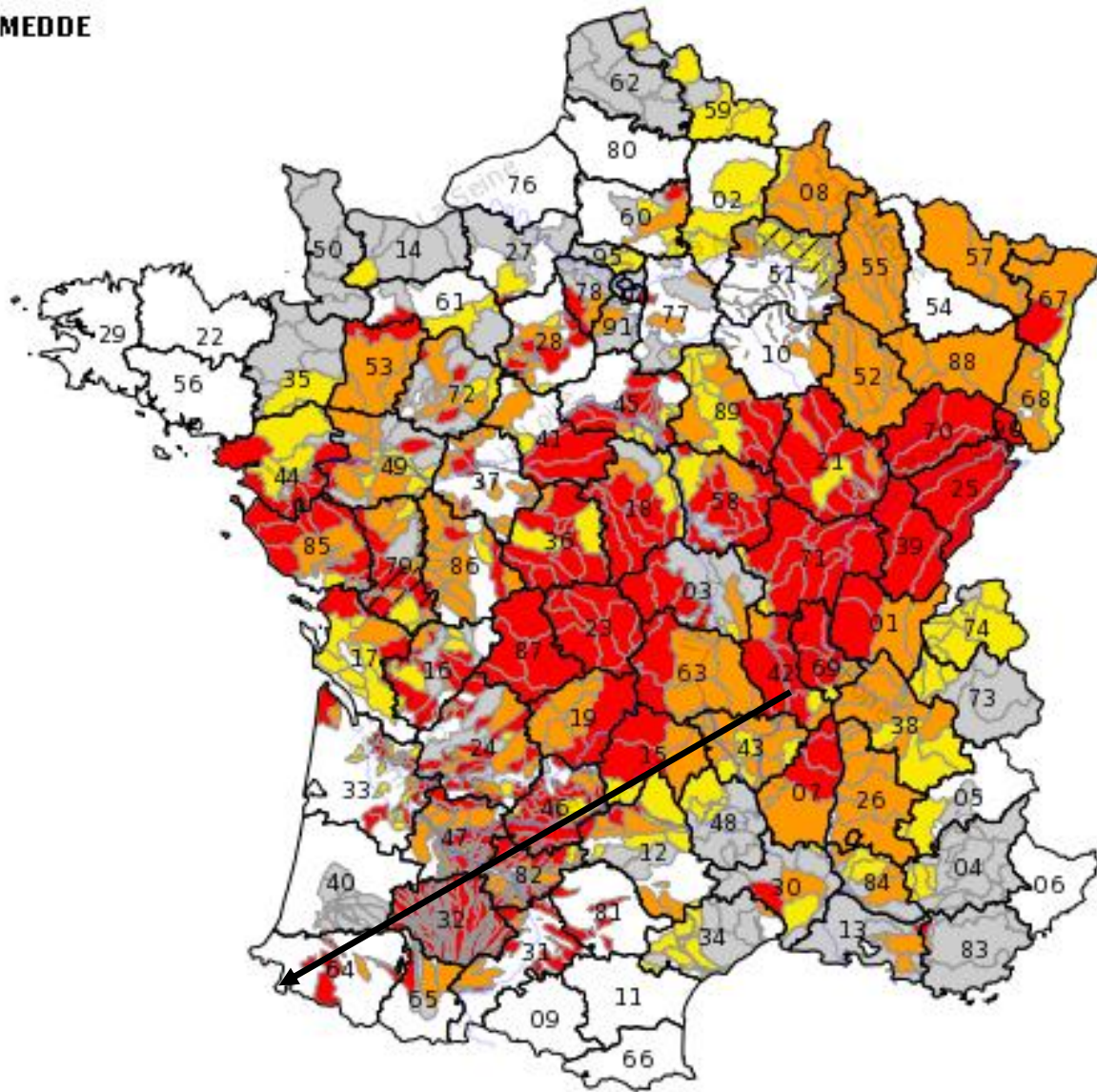
Quand la ressource se raréfie, il est difficile de satisfaire tous les usages :

- Eau potable
- Milieux aquatiques (débits réservés)
- Agriculture
- Usages récréatifs, tourisme
- Usages industriels (refroidissement/climatisation, dilution des pollutions, hydroélectricité)

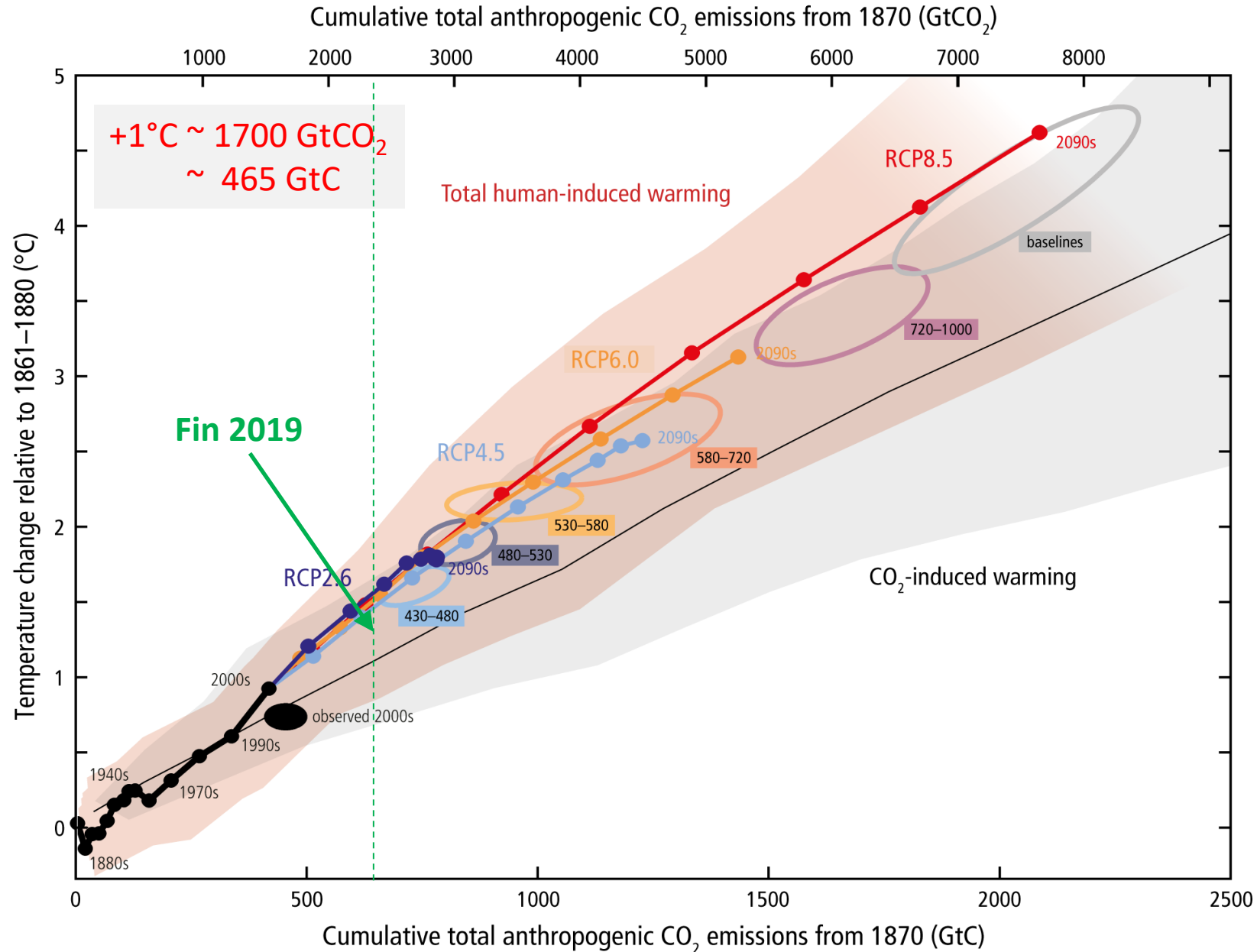
Solutions possibles :

- Stocker en hiver pour restituer l'été ?
 Mais c'est toute l'année que le débit baisse et problèmes d'équité amont/aval
- Prioriser certains usages (c'est le cas en alerte sécheresse)
- Faire payer la consommation ?
- Réduire les usages

En été 2020, la moitié des départements français ont interdit les prélèvements d'eau hormis pour l'eau potable et la sécurité civile



On peut aussi essayer de réduire le changement climatique



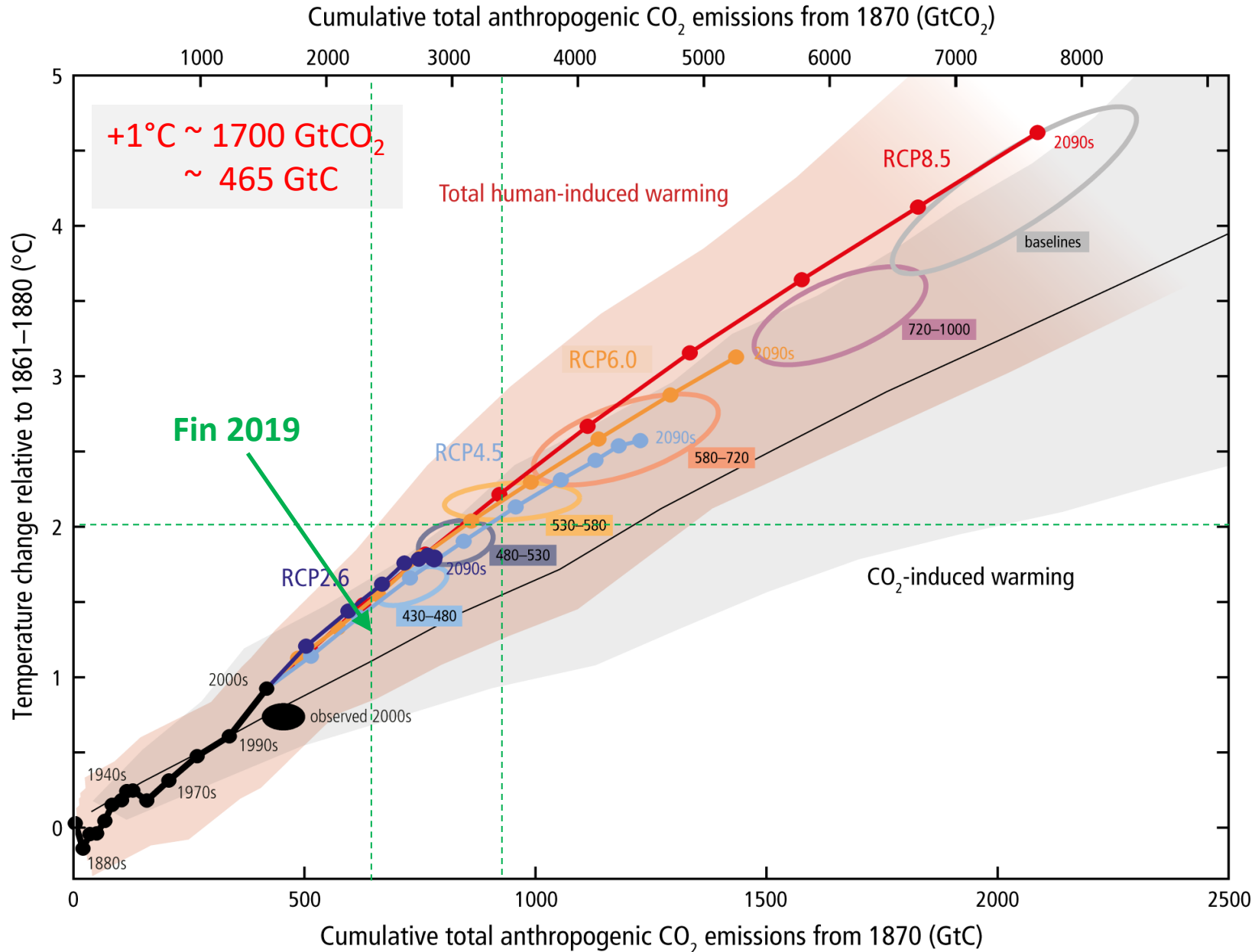
Global Carbon Project 2020

Fin 2019:

Emissions cumulées = 2380 GtCO₂

Emissions de l'année = 42 GtCO₂

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique



Global Carbon Project 2020

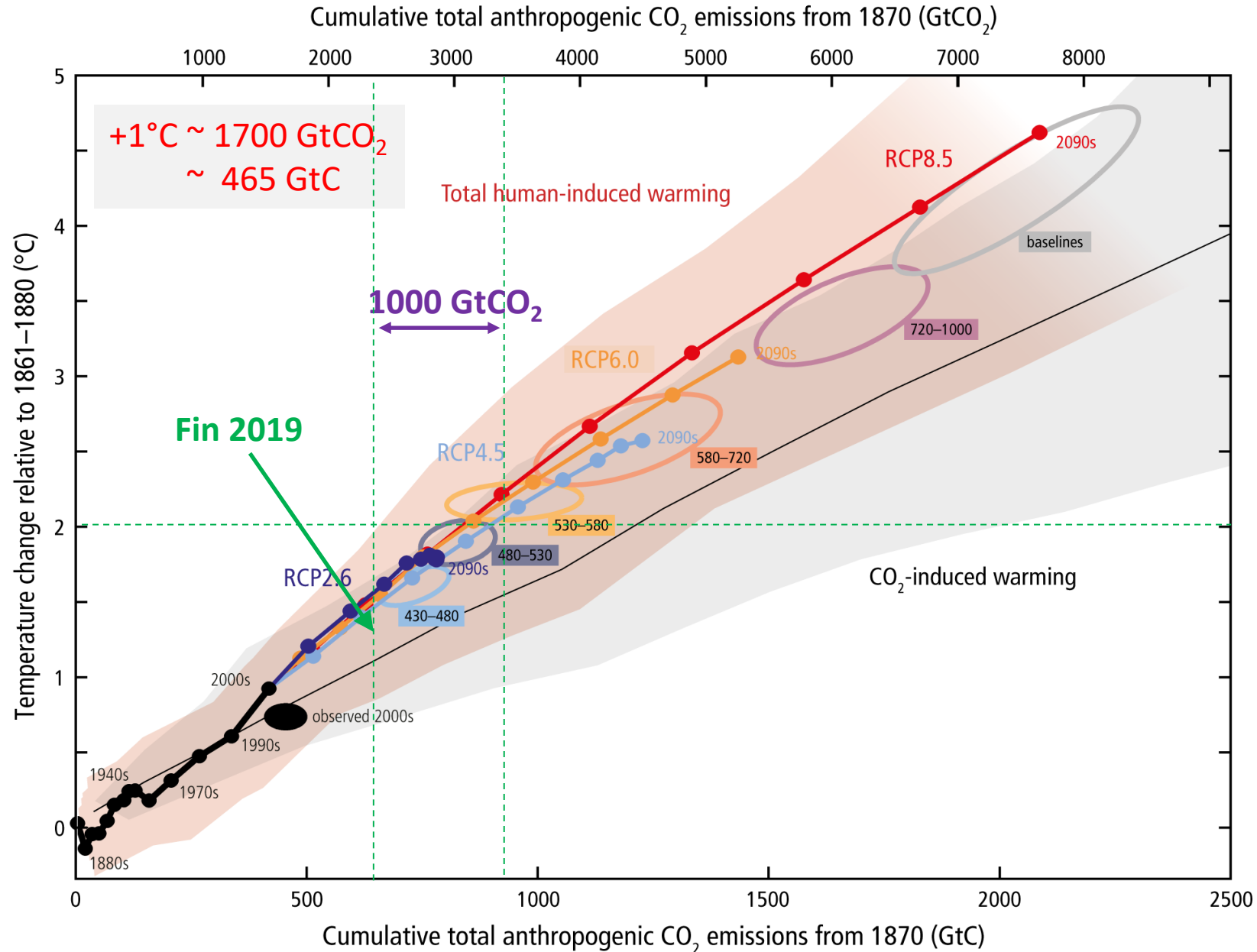
Fin 2019:

Emissions cumulées = 2380 GtCO₂

Emissions de l'année = 42 GtCO₂

**Pour limiter le réchauffement à 2°C,
les émissions cumulées doivent
rester sous 3400 GtCO₂.**

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique



Global Carbon Project 2020

Fin 2019:

Emissions cumulées = 2380 GtCO₂

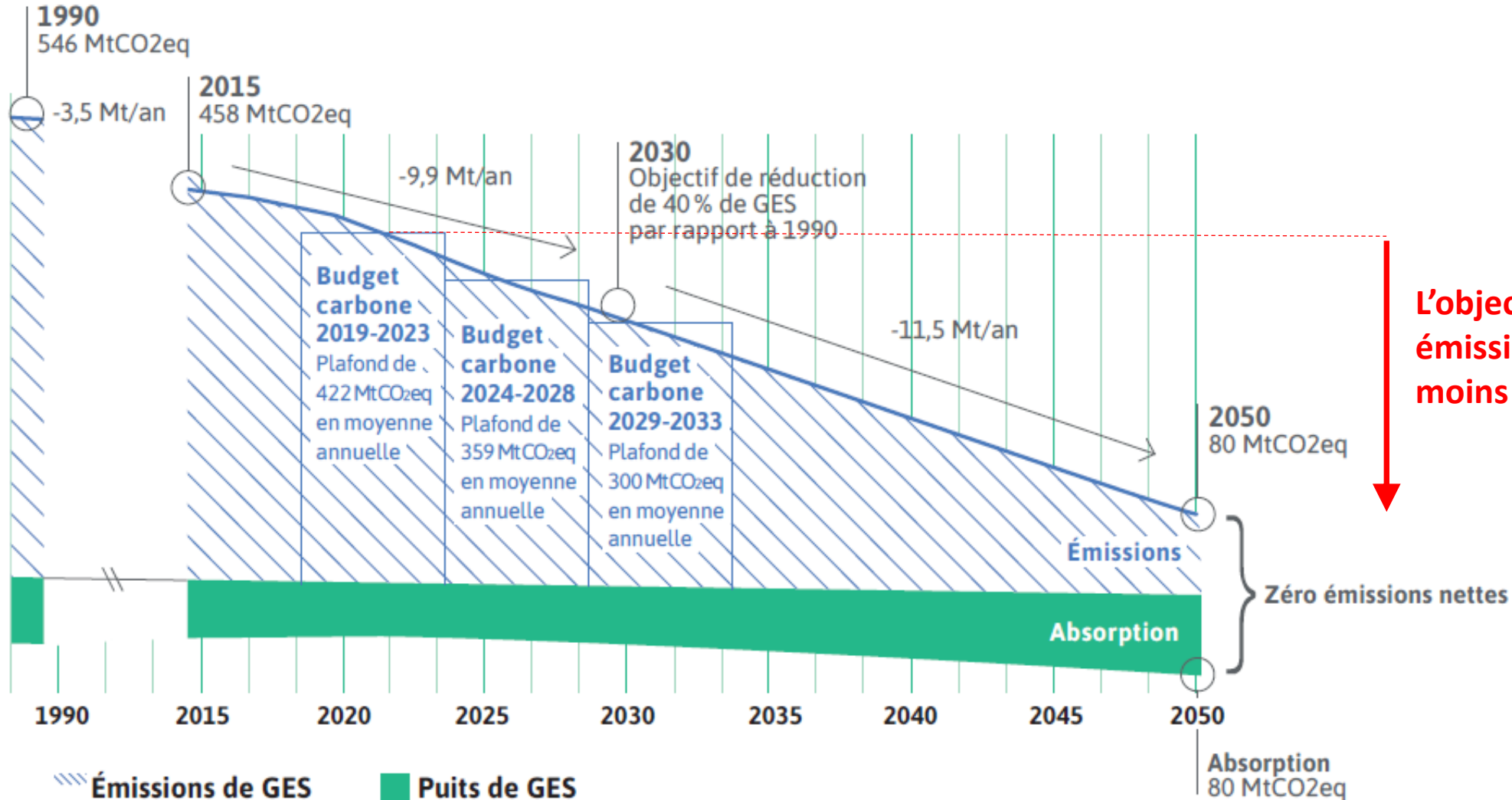
Emissions de l'année = 42 GtCO₂

**Pour limiter le réchauffement à 2°C,
les émissions cumulées doivent
rester sous 3400 GtCO₂.**

**Notre « budget carbone restant » est
inférieur à 1000 GtCO₂ et nous
aurons dépassé +2° dans 25 ans si les
émissions globales ne baissent pas.**

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique

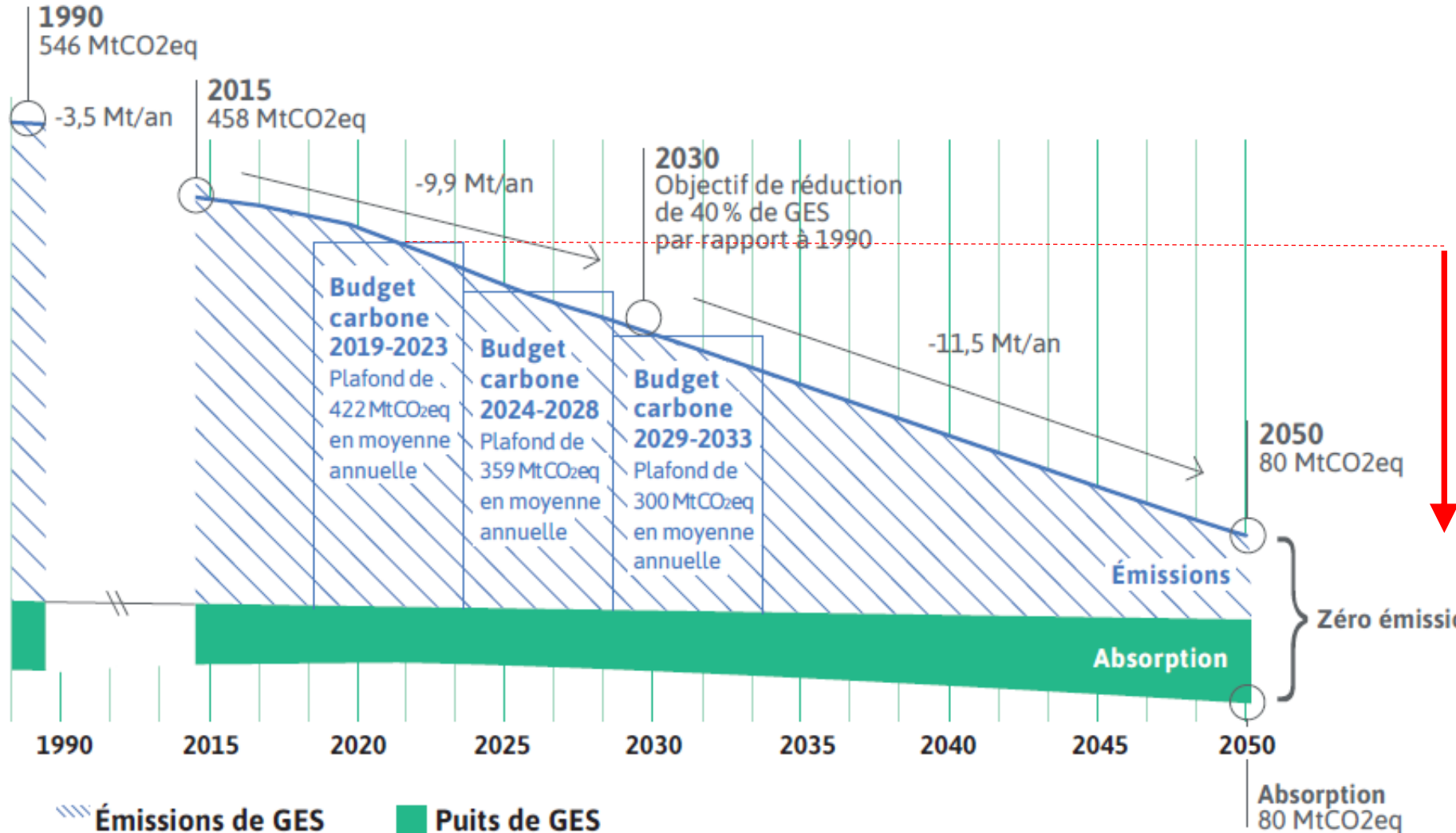
La Stratégie Nationale Bas Carbone de la France



L'objectif est de diminuer nos émissions nationales par au moins 5 d'ici à 2050

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique

La Stratégie Nationale Bas Carbone de la France



Mais la trajectoire n'est pas respectée



Rapport 2020

« La baisse temporaire des émissions de CO₂ résultant du confinement (environ -13 % entre janvier et mai) ne répond pas aux enjeux de la transition bas-carbone et reste marginale par rapport aux efforts structurels à accomplir. »

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique

Robert Förstemann, champion cycliste allemand fait (parfois) griller ses tartines à la force du mollet



Durée de l'effort = 1 min 48 s
 Puissance = 700 W
 Energie produite = 21 Wh

Energie contenue dans un toast = 21 Wh
 (1 kcal ~ 1 Wh)

Etre humain normal, à Olivet



Valeurs pour 1h !

Eclairage à 50W	50 Wh	15 min de vélo
Télé à 65W	65 Wh	20 min de vélo
Chauffage électrique	70 Wh/m ²	
	50 m ²	3500 Wh
		17.5 h de vélo
Voiture Clio à 90 km/h	25 kWh	125 h de vélo

1 seule mi-temps !

1h de chauffage

Il faut 6h pour faire 90km en vélo sur du plat

On peut aussi essayer de réduire le changement climatique

Pétrole

1 tonne = 11 630 kWh

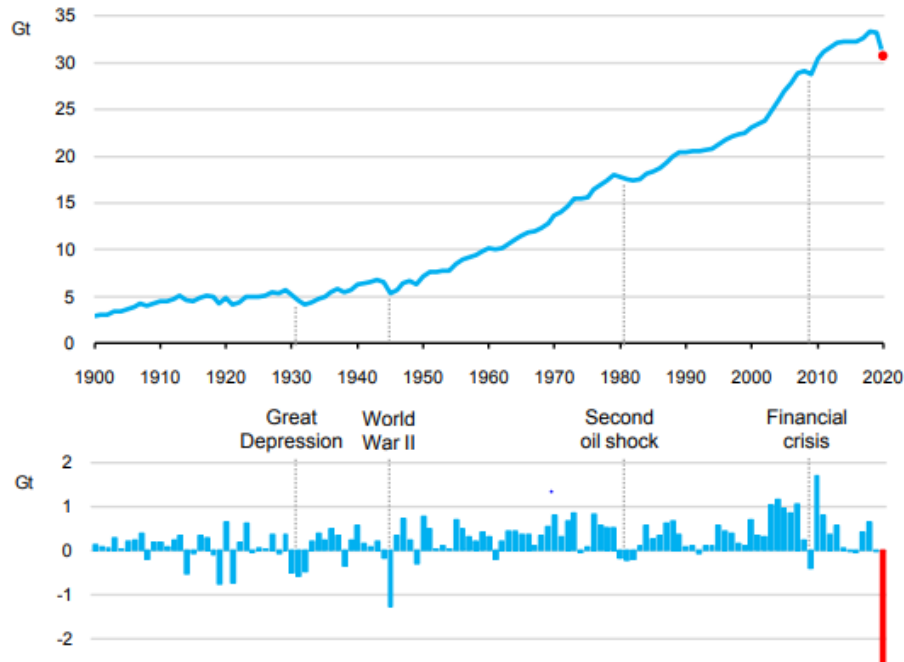
- 180 000 h de télé (20 ans)
- le tour de la Terre (40 000 km) à 90 km/h
- 1 AR Paris-New York en avion

Mais ça émet aussi environ 0,9 tonne de CO₂

**Puissance moyenne d'un être humain sur une journée
~ 1 kWh**

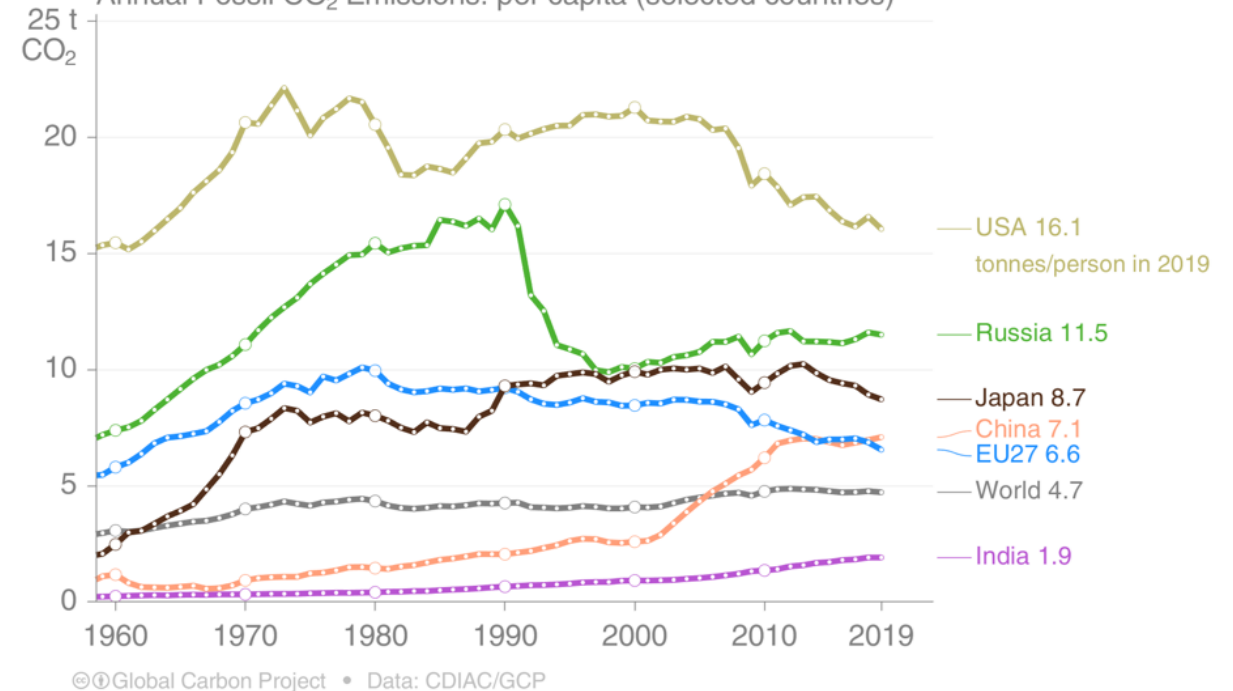
1 tonne de pétrole = 11 630 journées de travail !
**10 tonnes de pétrole (conso annuelle d'un français)
~ 300 esclaves humains chaque jour de l'année**

Global energy-related CO₂ emissions and annual change, 1900-2020



Source = AIE

Annual Fossil CO₂ Emissions: per capita (selected countries)



La question reste posée, comment nous adapter ?

Quand la ressource se raréfie, il est difficile de satisfaire tous les usages :

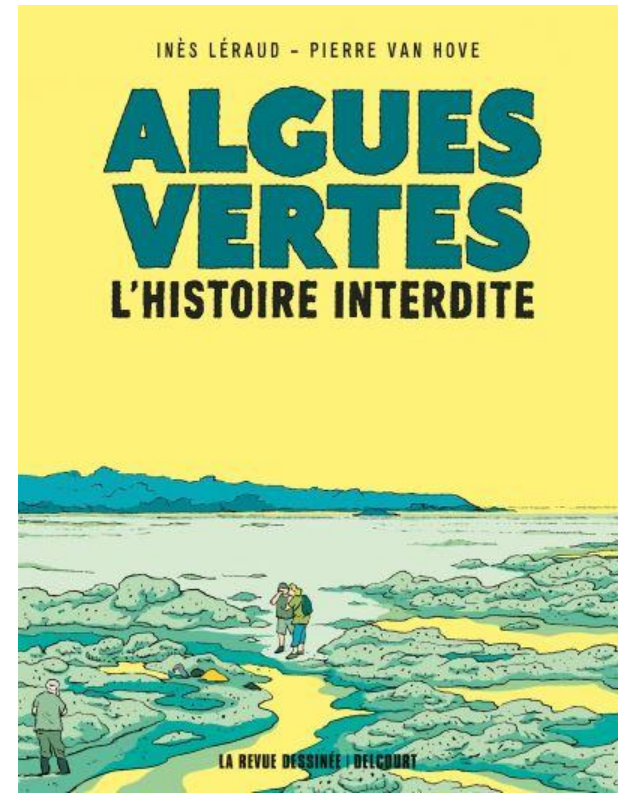
- Eau potable
- Milieux aquatiques (débits réservés)
- Agriculture
- Usages récréatifs, tourisme
- Usages industriels (refroidissement/climatisation, dilution des pollutions, hydroélectricité)

Solutions possibles :

- Stocker en hiver pour restituer l'été ?
 Mais c'est toute l'année que le débit baisse et problèmes d'équité amont/aval
- Prioriser certains usages (c'est le cas en alerte sécheresse)
- Faire payer la consommation ?
- Réduire les usages

**Fortes résistances aux changements d'habitudes,
et encore plus au renoncement à des « acquis »
(eau, énergie, argent, etc.)**

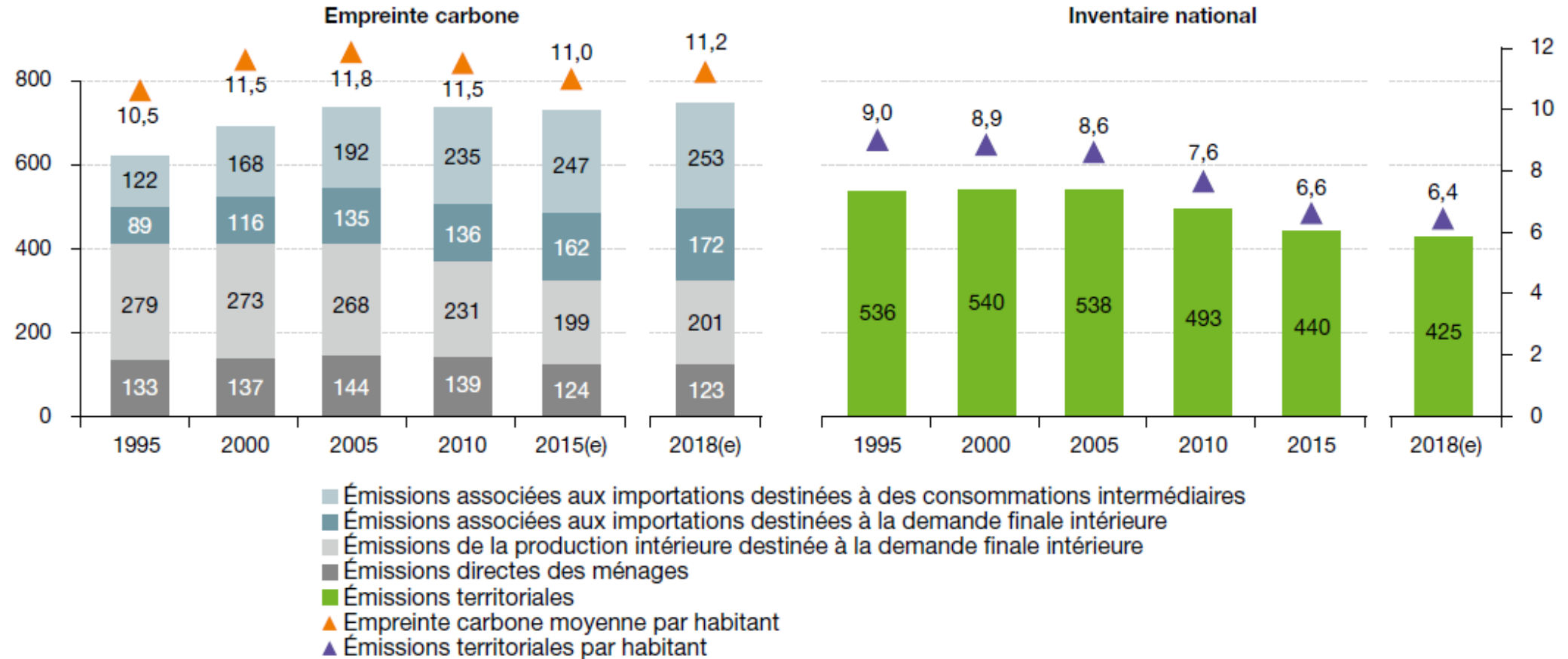
De plus le secteur de l'eau n'est pas isolé !



Graphique 3 : émissions de GES de l’empreinte carbone et de l’inventaire national

En Mt CO₂ éq

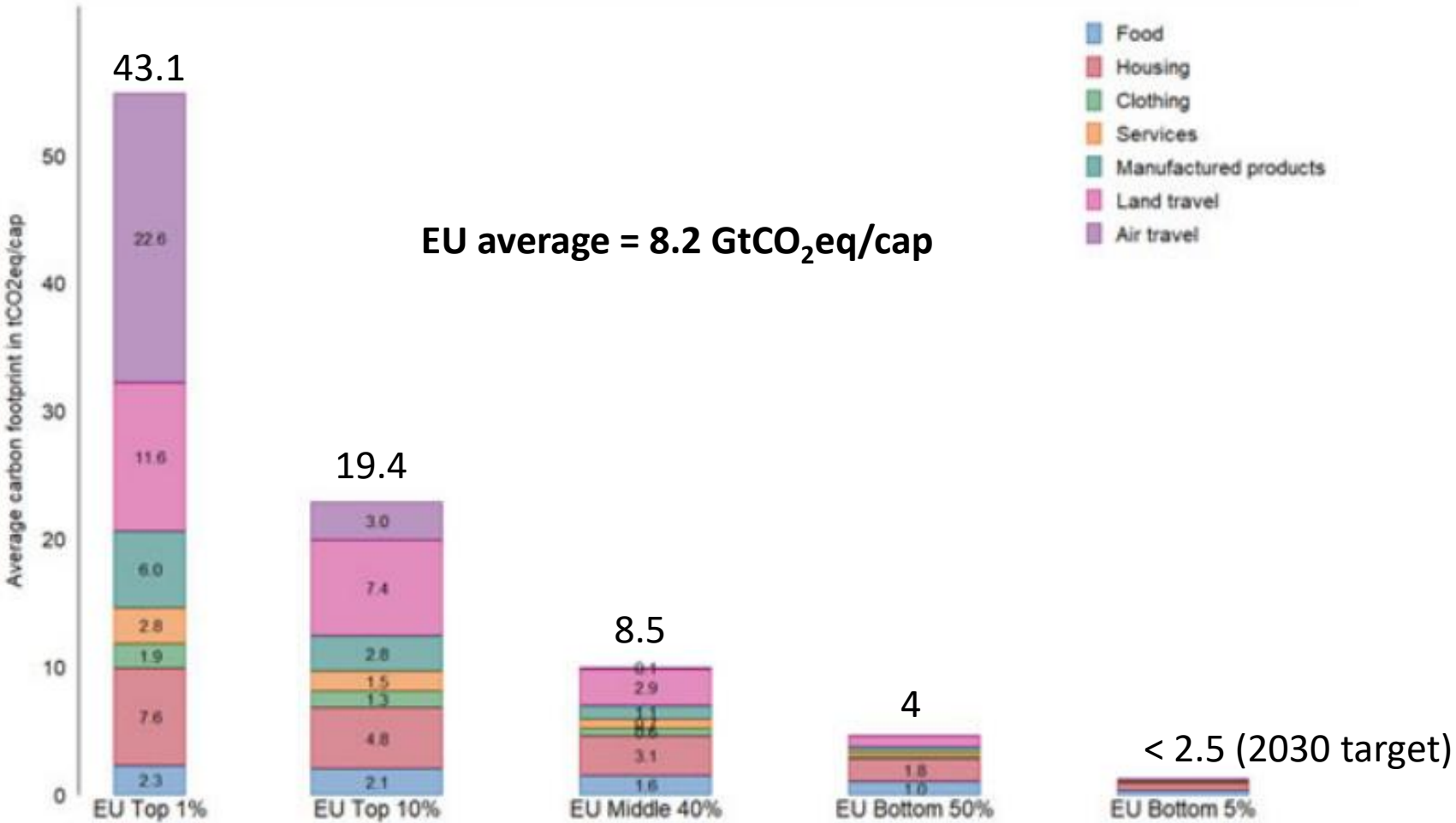
En t CO₂ éq par habitant



Notes : GES pris en compte : CO₂, CH₄ et N₂O ; (e) = estimation.
 Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).
 Sources : Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee. Traitements : SDES, 2019

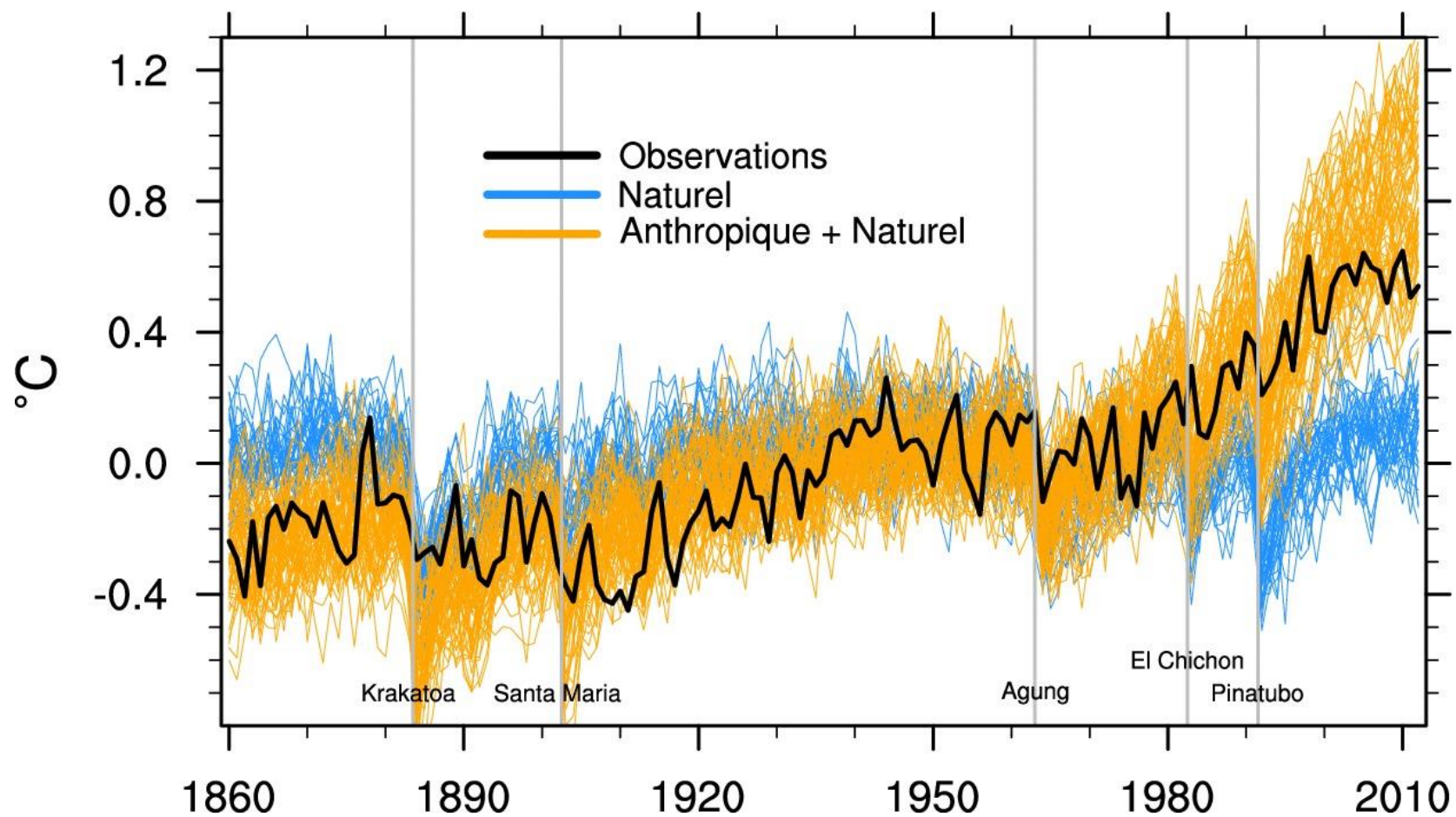
Source : Commissariat général au développement durable
 L’empreinte carbone des Français reste stable
 JANVIER 2020

Des responsabilités différenciées



Average carbon footprint (CF) distribution by consumption category in the European Union (EU)

Le réchauffement observé depuis 1850 est dû aux activités humaines



Plusieurs modèles climatiques (Météo-France d'après GIEC 2007)

INÈS LÉRAUD - PIERRE VAN HOVE

ALGUES VERTES

L'HISTOIRE INTERDITE



LA REVUE DESSINÉE | DELCOURT



Xynthia, La Faute sur mer, 2010



Vignes dans l'Hérault, juin 2019