

*Conférence Débat « Eau, bien commun »
13 octobre 2022, Bourg-en-Bresse*

Les ressources en eau et leur gestion en contexte de changement climatique

Agnès Ducharne

Directrice de recherche CNRS

METIS-IPSL, Sorbonne Université, Paris, France

agnes.ducharne@upmc.fr



1. Introduction

2. Bilan sur les ressources en eau et leurs usages

3. Changement climatique naturel et anthropique

4. Que nous réserve le futur ?

5. Quelques éléments de conclusion



Comment définir les ressources en eau ?

La quantité d'eau sur Terre est inchangée depuis 3 milliards d'années

L'eau change de phase (solide, liquide, gazeuse) et circule sans création ni perte

P globale = E globale

Actuellement :

$P \text{ globale} = 1 \text{ m/an} = 2.8 \text{ mm/j}$

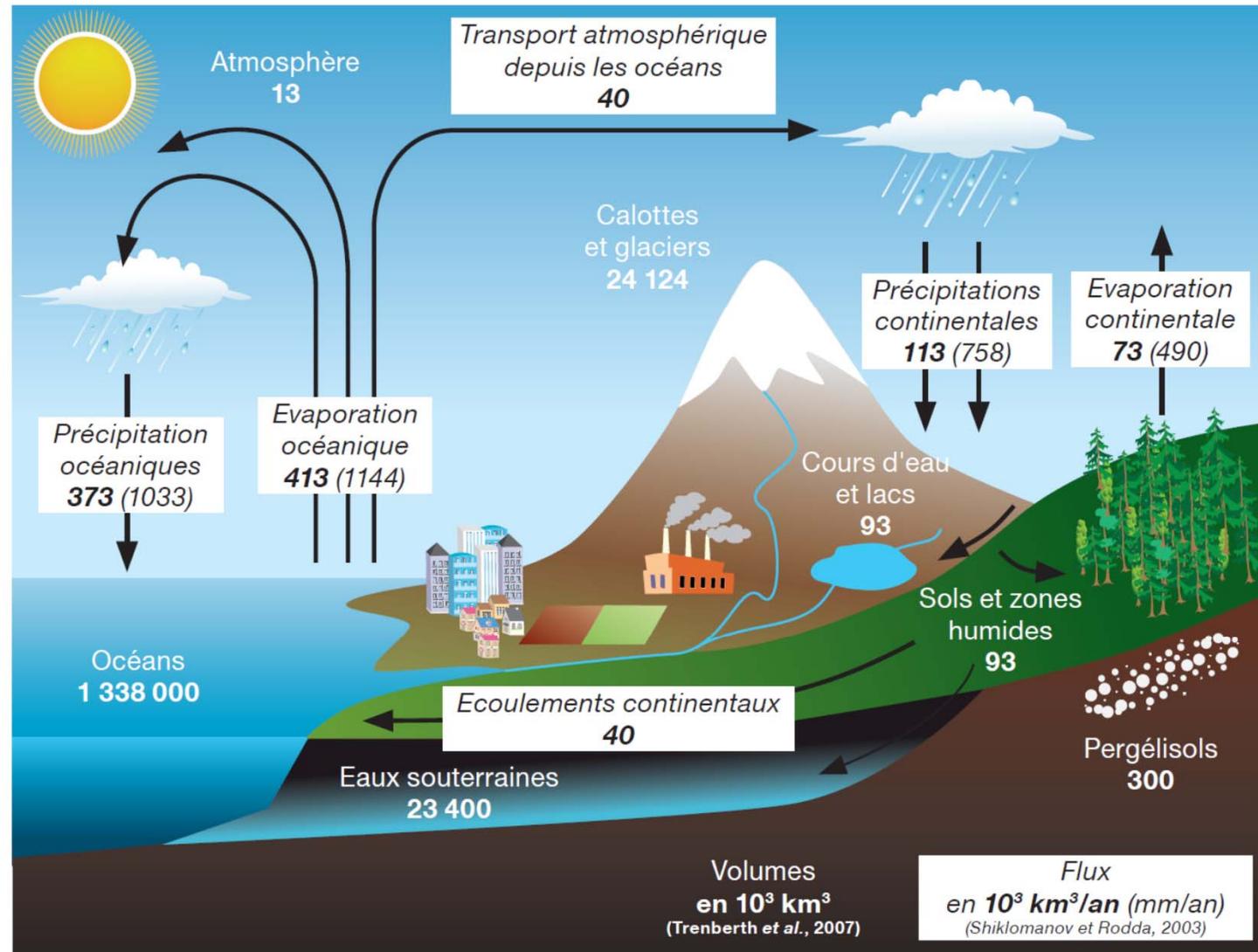
Ecoulements continentaux

= Eau douce renouvelable

$= 40\,000 \text{ km}^3/\text{an}$

$\approx 35\% \text{ de } P_c$

Ce volume est le maximum des ressources exploitables durablement pour les usages humains



Et le climat ?

Le terme **CLIMAT** désigne les caractéristiques physiques de l'atmosphère et de l'océan **d'un point de vue statistique**

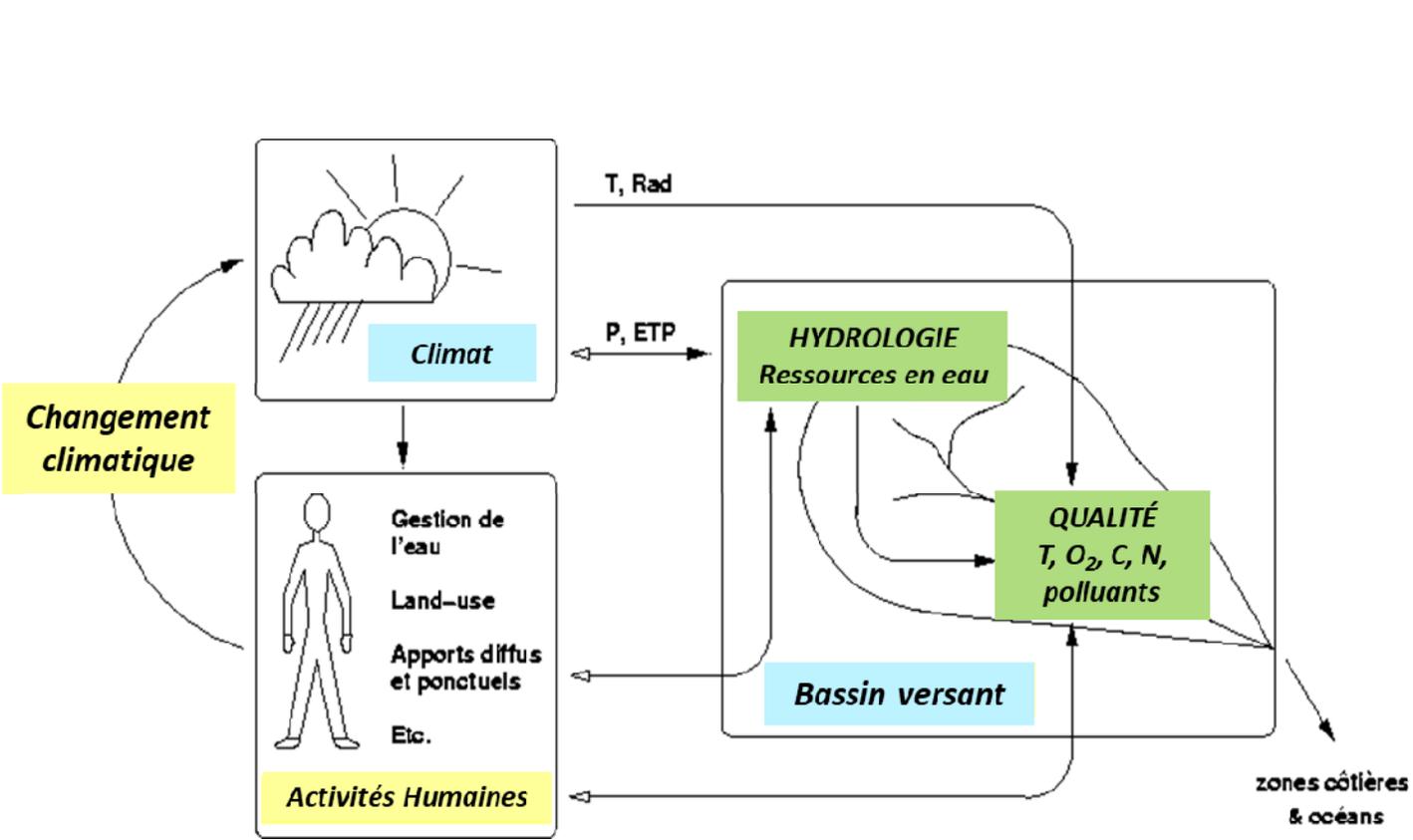
→ **Moyenne et variabilité du « temps météorologique » sur les périodes longues (en général 30 ans)**

Implique des variables, des compartiments et des échelles variés



Atmosphère
Biosphère
Océans
Continents
Cryosphère

Climat et ressources en eau sont impactées par les activités humaines



L'anthropocène
J.-B. Fressoz
B. Latour

1. Introduction

2. Bilan sur les ressources en eau et leurs usages

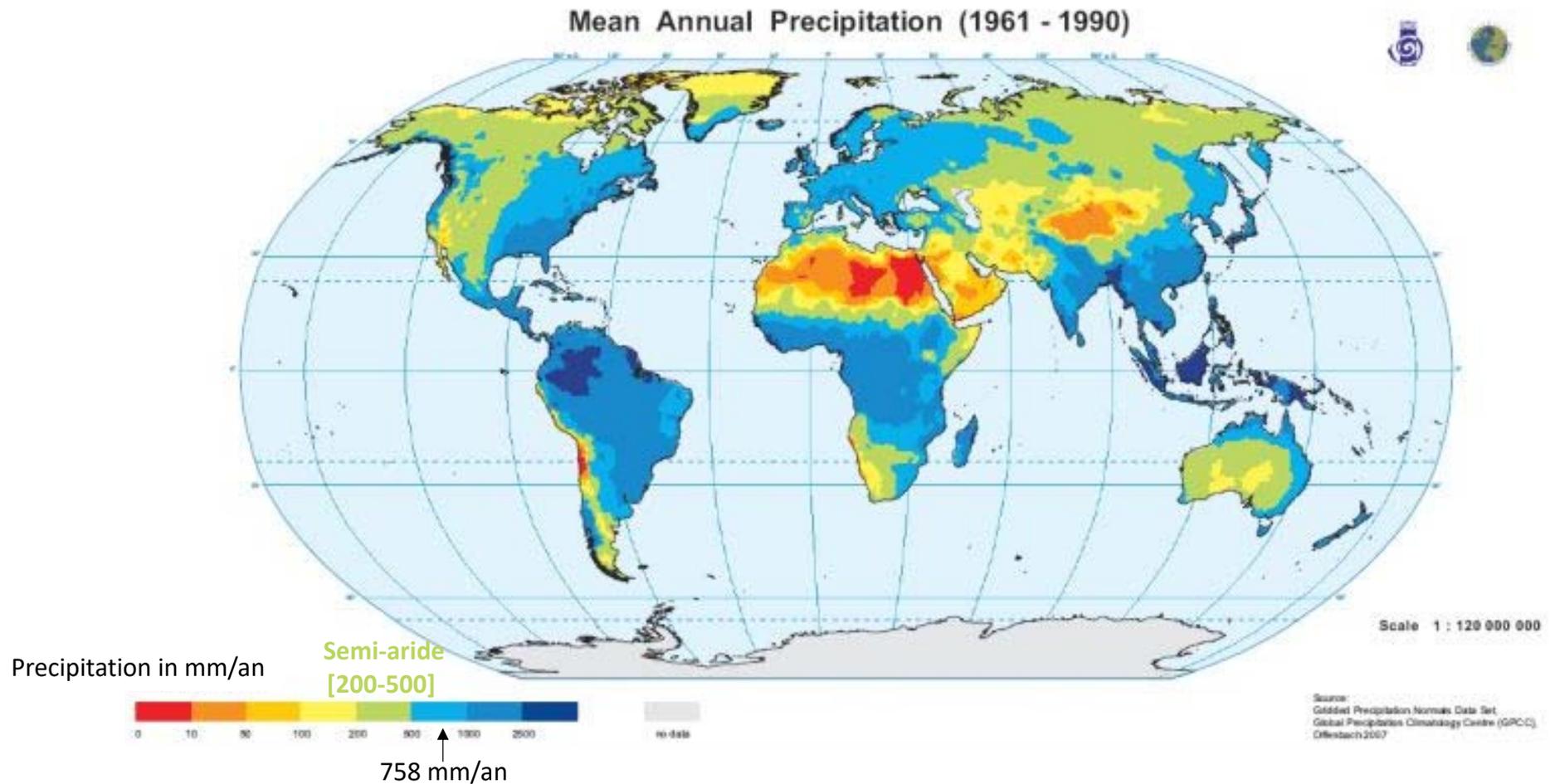
3. Changement climatique naturel et anthropique

4. Que nous réserve le futur ?

5. Quelques éléments de conclusion

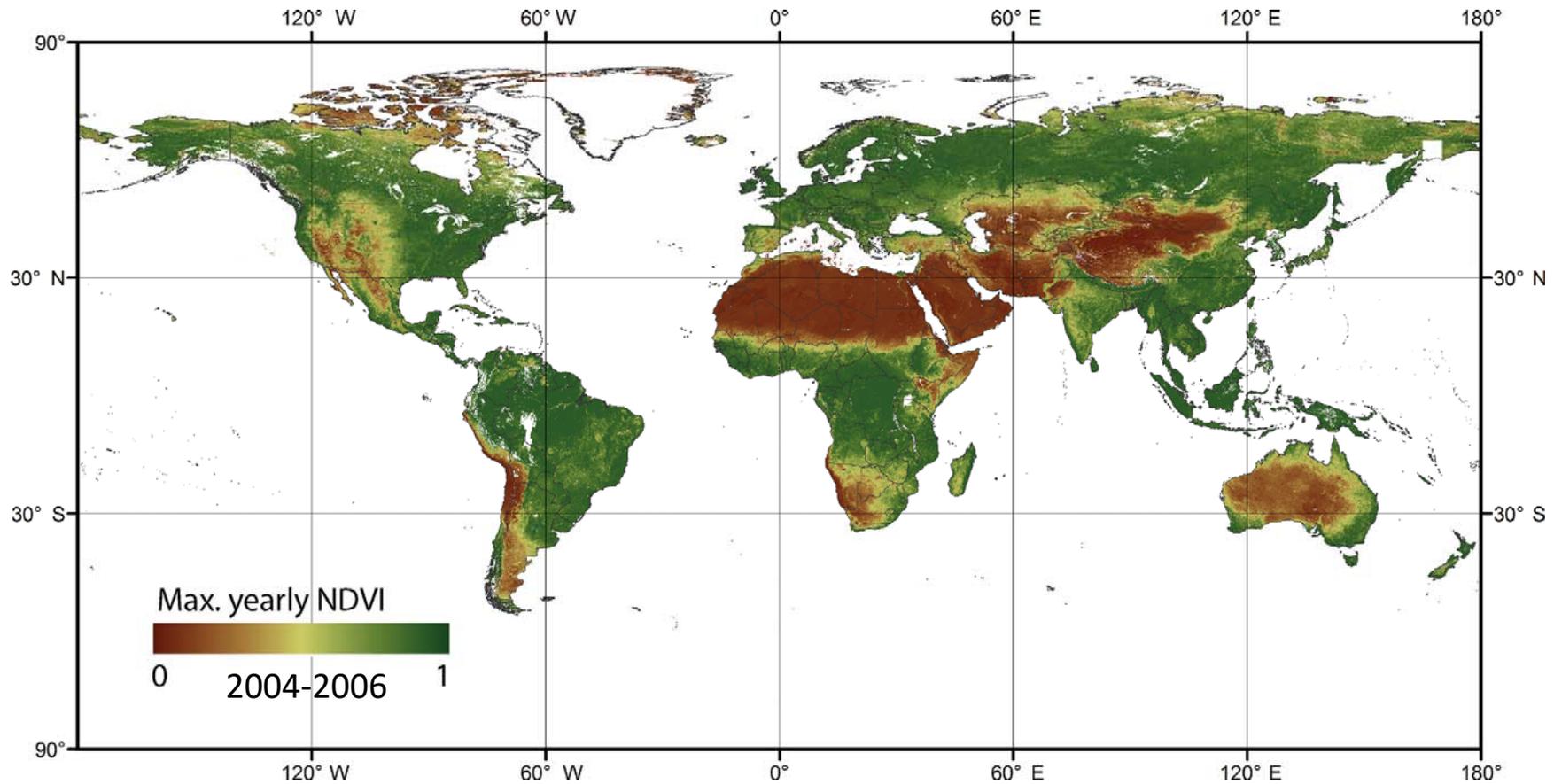


L'eau est indispensable à la vie



En rouge à jaune, les régions continentales peu arrosées
(Source : GPCC, Global Precipitation Climatology Center, USA)

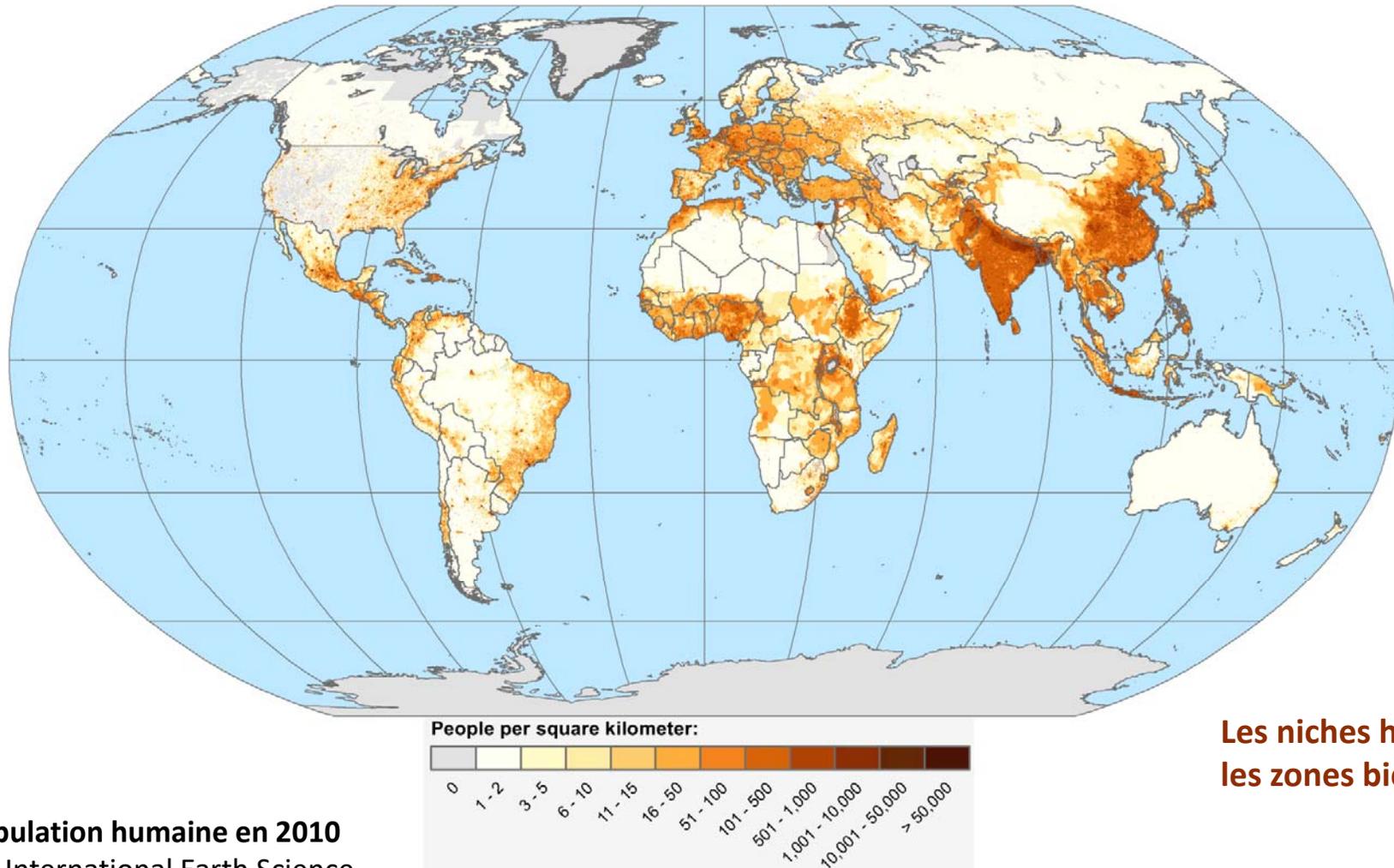
L'eau est indispensable à la vie



Peu ou pas de végétation dans les zones sèches

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) quantifie la densité de la végétation à partir de télédétection dans le visible

L'eau est indispensable à la vie



Les niches humaines sont les zones bien arrosées

Densité de la population humaine en 2010
CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), Columbia University

Comment se distribuent les prélèvements d'eau

Forte hétérogénéité

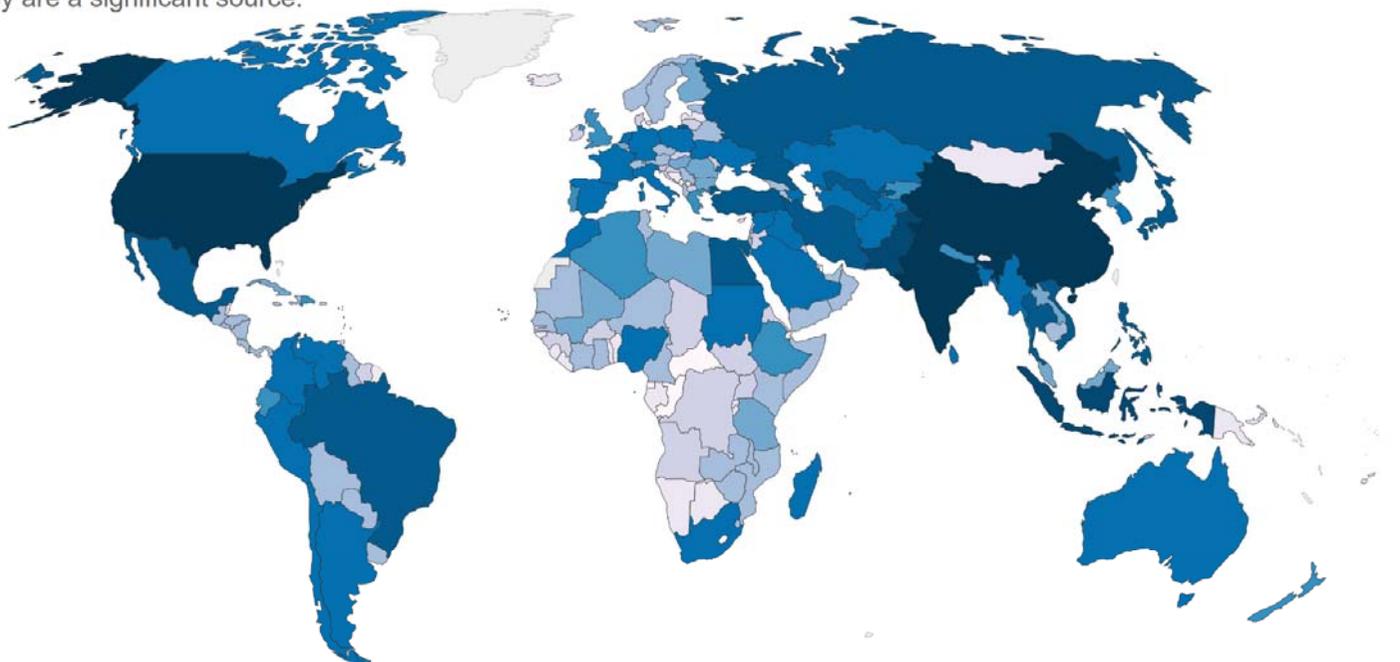
Les prélèvements par pays sont fortement liés au nombre d'habitants et au niveau économique

Prélèvement total sur la planète en 2014 = 4 000 km³

= 10% des écoulements globaux
≈ 100 fois les prélèvements de la France

Annual freshwater withdrawals, 2014

Annual freshwater withdrawals refer to total water withdrawals, not counting evaporation losses from storage basins, measured in cubic metres (m³) per year. Total water withdrawals are the sum of withdrawals for agriculture, industry and municipal (domestic uses). Withdrawals also include water from desalination plants in countries where they are a significant source.



France = 38,4 km³

<https://ourworldindata.org/water-use-stress>

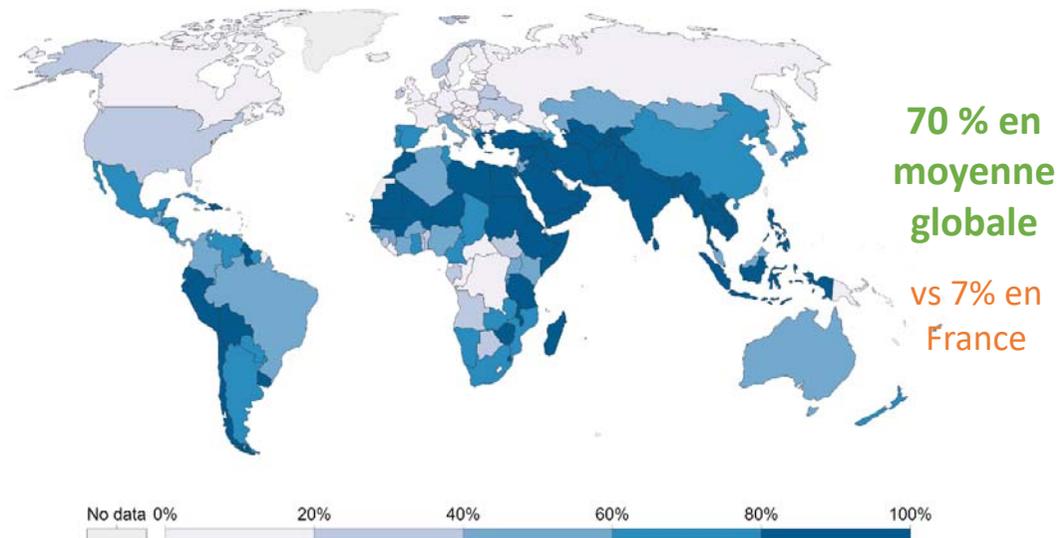
Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (via World Bank)
OurWorldInData.org/water-access-resources-sanitation/ • CC BY

Les principaux usages

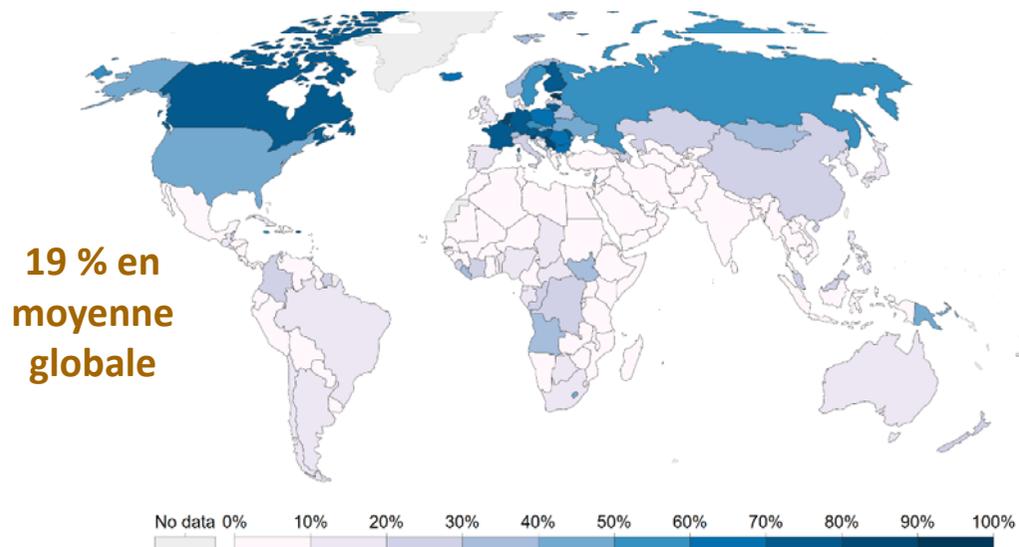
A l'échelle mondiale, 2014
<https://ourworldindata.org/water-use-stress>

Withdrawals = Prélèvements

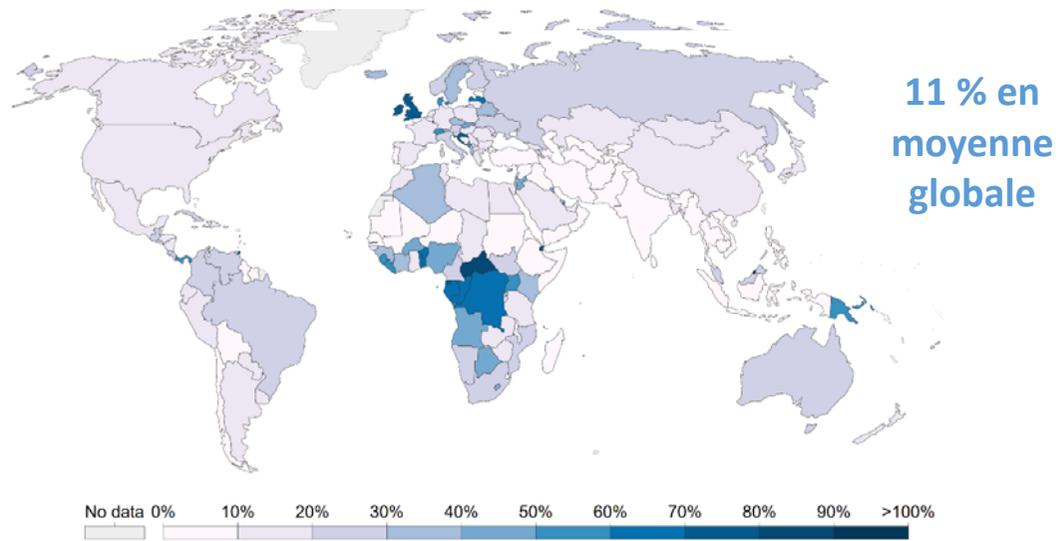
Agricultural water withdrawals as % of country total



Industrial water withdrawals as % of country total



Domestic water withdrawals as % of country total



Les usages de l'eau

Exemple de la France en 2013 (65.6 millions d'habitants)

Usages	Prélèvements		
	Volume en milliards de m ³	% du total	m ³ /hab
Refroidissement des centrales	21	54,7	320
Eau potable	5,5	14,3	84
Alimentation des canaux	5,5	14,3	84
Industrie	3	7,8	46
Agriculture (irrigation à 80%, élevage)	2,8	7,3	43
Autres (tourisme, embouteillage...)	0,6	1,6	9
Total	38,4	100,0	585

> **Consommation d'eau potable domestique**

= 150 l/hab/j

= 55 m³/hab/an

(65% des prélèvements)

= 10 % du total/hab/an

= 25 %

des ressources renouvelables en France

147 km³

Les usages de l'eau

Des prélèvements à la consommation (France, 2013)

Ici, la consommation quantifie la part des prélèvements qui ne retourne pas au milieu sous forme liquide
 → baisse des ressources

Usages	Prélèvements		Conso / prélèvement (%)	Consommation	
	Volume en milliards de m3	% du total		Volume en milliards de m3	% du total
Refroidissement des centrales	21	54,7	7	1,47	29,0
Eau potable	5,5	14,3	20	1,10	21,7
Alimentation des canaux	5,5	14,3	0	0,00	0,0
Industrie	3	7,8	7	0,21	4,1
Agriculture (irrigation à 80%)	2,8 ^{AD1}	7,3	80	2,24	44,3
Autres (tourisme, embouteillage...)	0,6	1,6	7	0,04	0,8
Total	38,4	100,0		5,06	100

*Estimation par les services techniques en France
(OFB, EDF...)*

13 %
des prélèvements amènent
une baisse définitive
de la ressource annuelle

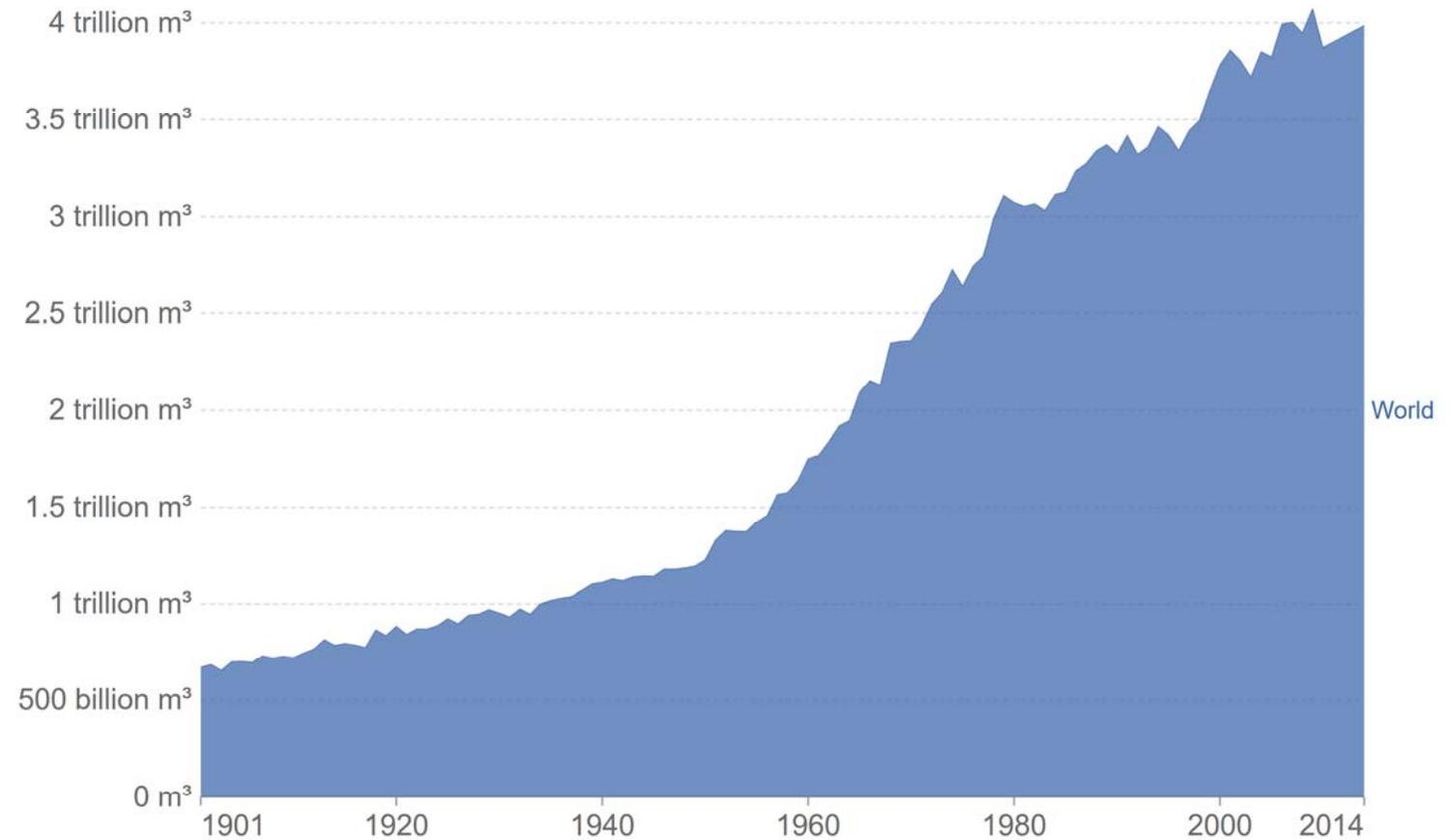
Les usages de l'eau dans le temps

A l'échelle mondiale

Prélèvement totaux sur la
planète en 2014
= 4000 milliards de m³
≈ 100 fois les prélèvements
de la France

Global freshwater use over the long-run

Global freshwater withdrawals for agriculture, industry and domestic uses since 1900, measured in cubic metres (m³) per year.



Source: Global International Geosphere-Biosphere Programme (IGB)

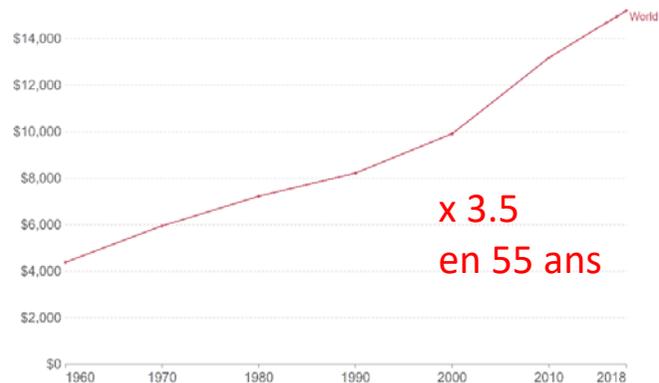
[OurWorldInData.org/water-access-resources-sanitation/](https://ourworldindata.org/water-access-resources-sanitation/) • CC BY

La « grande accélération » continue

Selon l'ONU, nous serons 8 milliards d'êtres humains le 15 novembre 2022

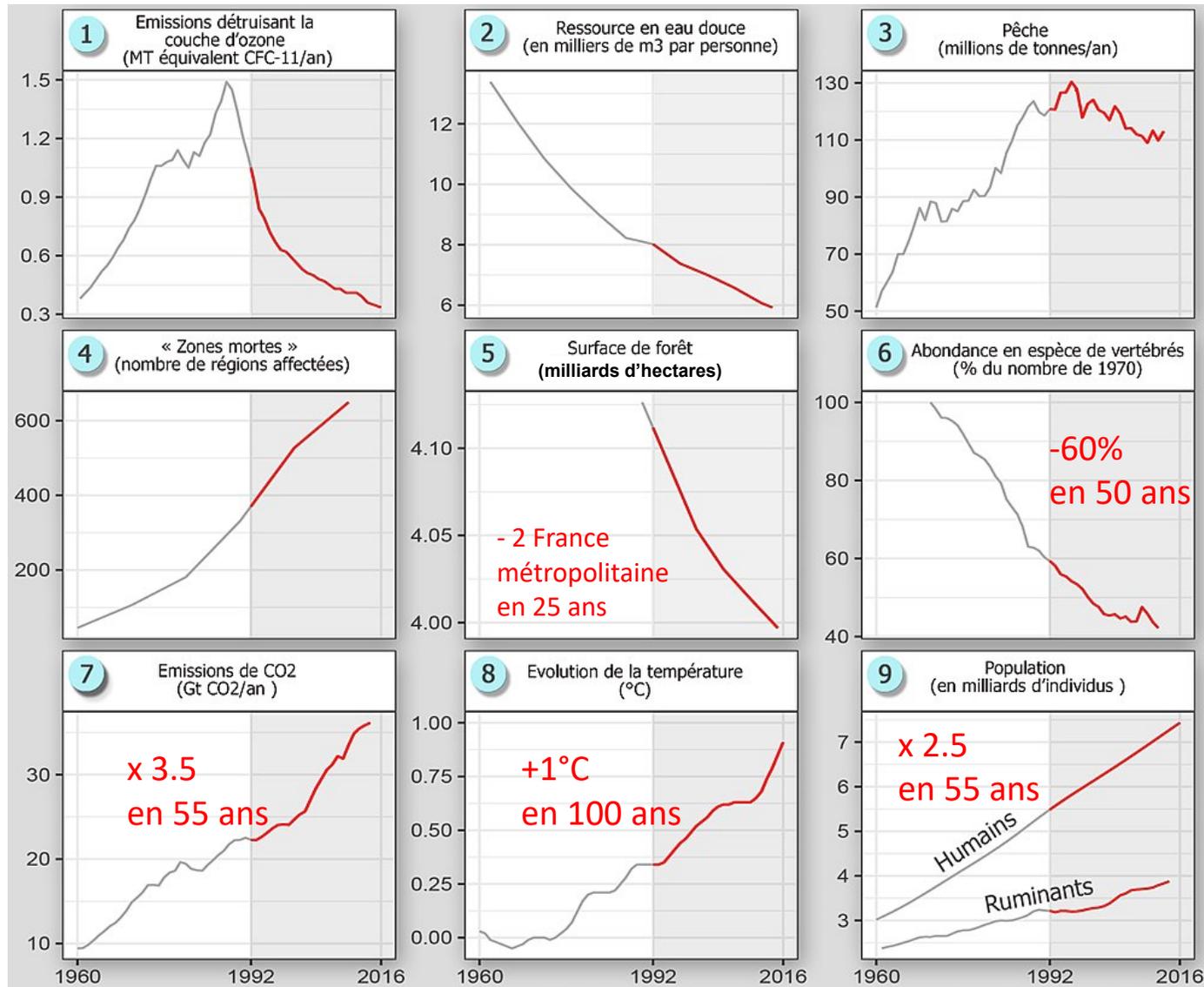
GDP per capita, 1960 to 2018

This data is adjusted for differences in the cost of living between countries, and for inflation. It is measured in constant 2011 international \$.



Source: Maddison Project Database 2020 (Bolt and van Zanden, 2020)

OurWorldInData.org/economic-growth • CC BY



Source : World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice
William J. Ripple & al. (15,364 scientist signatories from 184 countries
BioScience, Volume 67, Issue 12, 1 December 2017, Pages 1026–1028,
<https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>

1. Introduction

2. Bilan sur les ressources en eau et leurs usages

3. Changement climatique naturel et anthropique

4. Que nous réserve le futur ?

5. Quelques éléments de conclusion



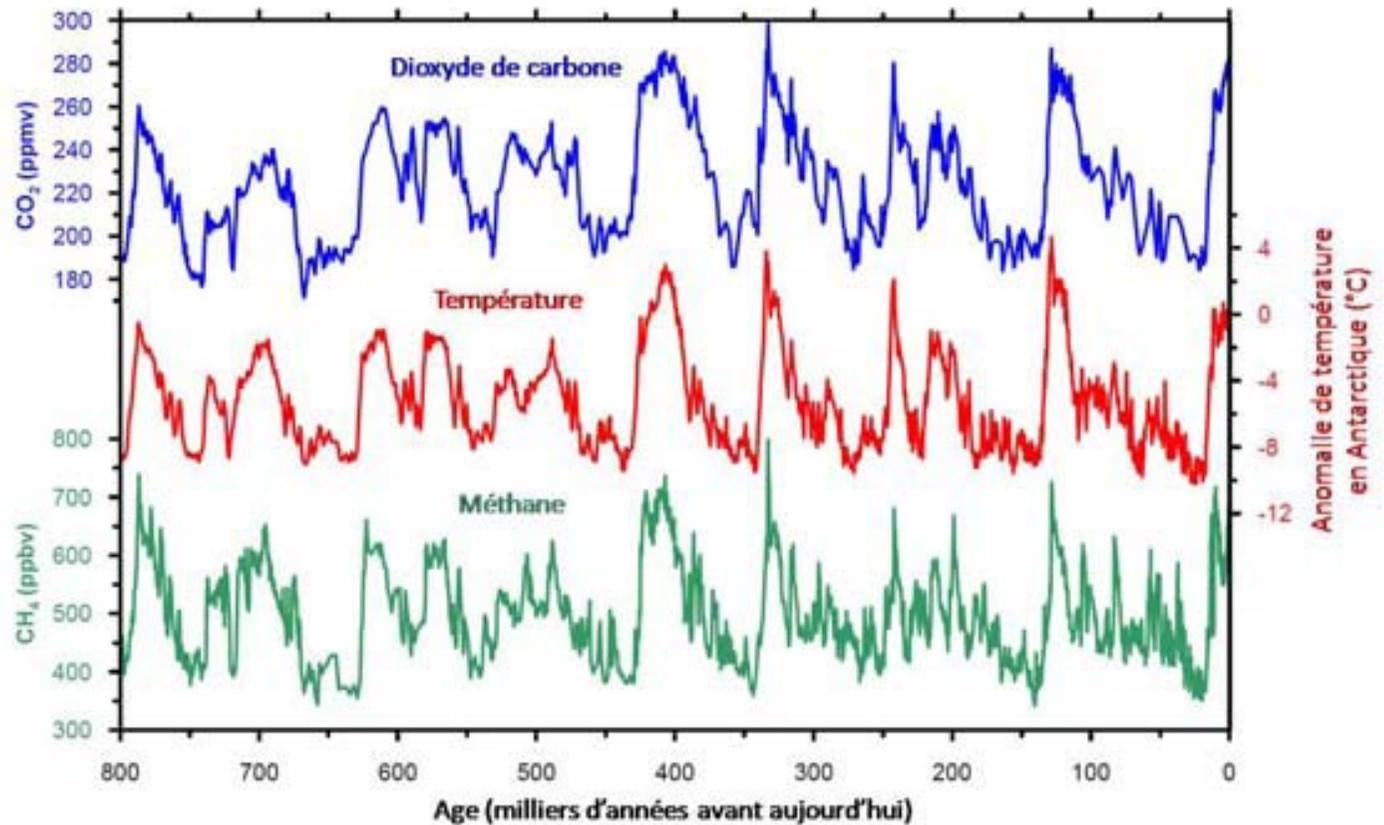
Le climat change naturellement

Périodicité ~ 100 ky

Amplitudes :

- Température ~ 8°C
- Niveau de la mer ~ 100 m
- CO₂ ~ 100 ppm

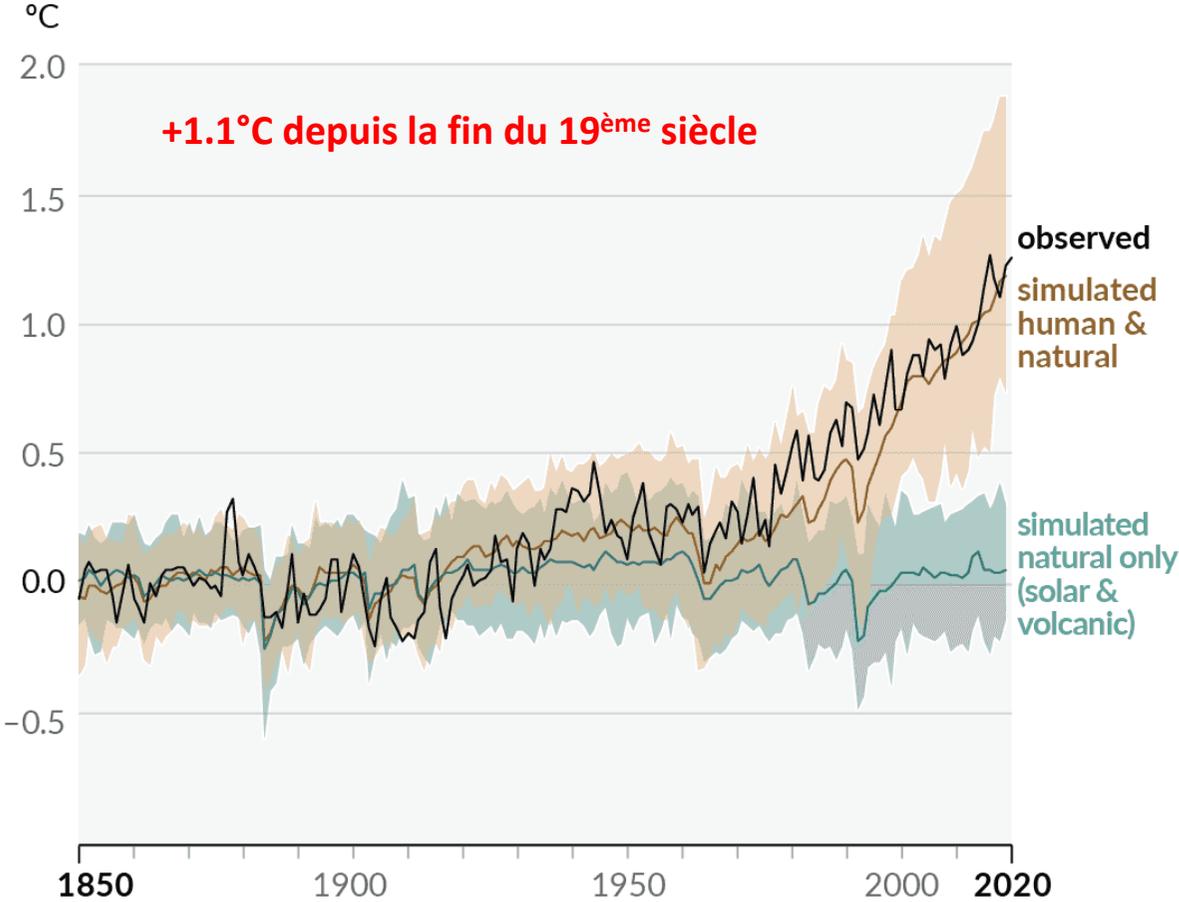
Ici, les augmentations de température précèdent celles du CO₂ et CH₄ → le climat influence la biosphère et le taux de CO₂, qui amplifie les variations astronomiques



D'après Lüthi et al., 2008, Nature, Collab Université de Berne, LGGE, LSCE.

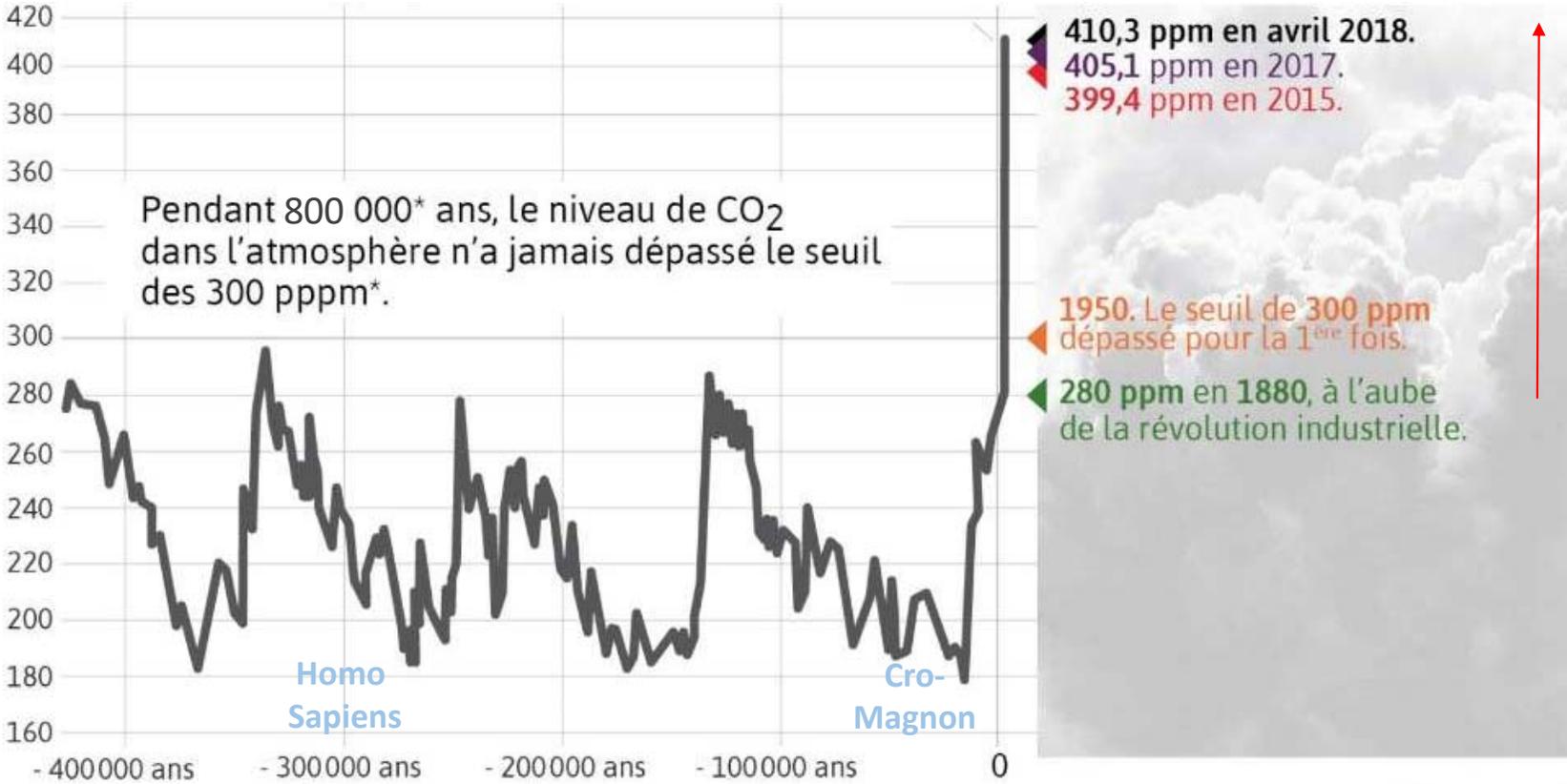
Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines

(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



Réchauffement 100% dû aux émissions anthropiques en GES
Partiellement masqué par aérosols et changement d'occupation des terres

Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines



**+ 140 ppm
i.e. + 50 %
en 150 ans**

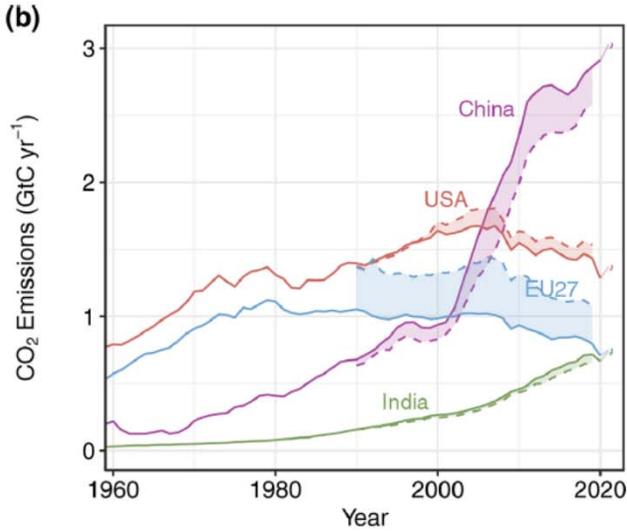
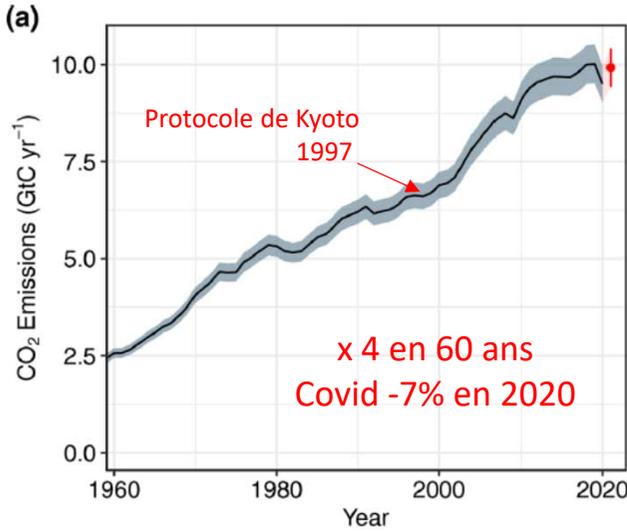
*données recueillies à partir d'analyses de glace issue de forages aux pôles.

Sources : Rapport de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), NOAA, NASA et Mauna Loa Observatory (Hawaï).

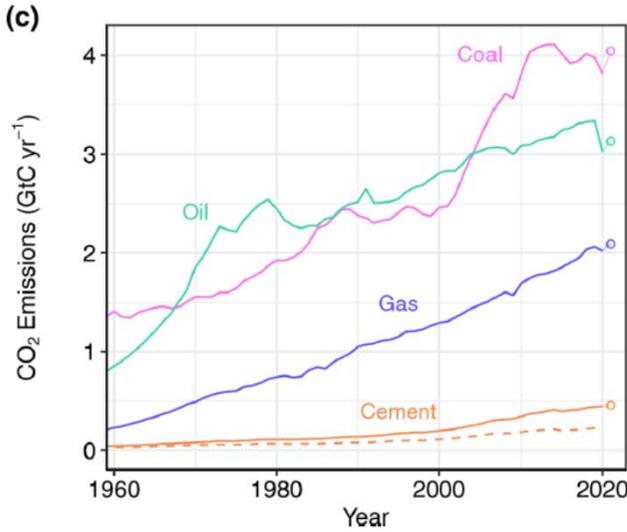


Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines

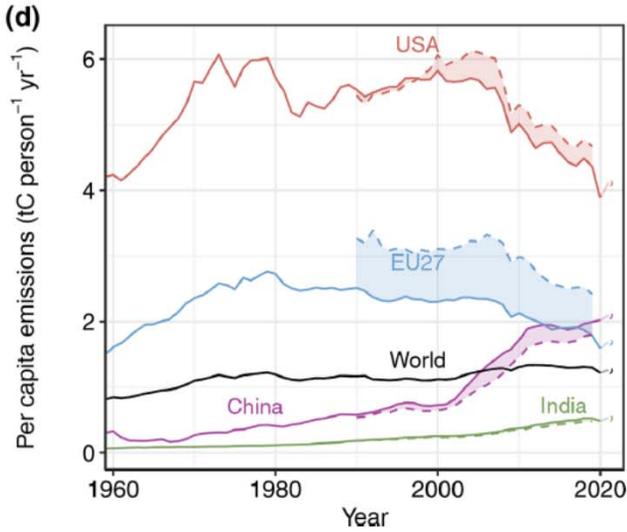
Global Carbon Project 2021
Friedlingstein et al. (2022)



— Emissions territoriales
- - - Emissions territoriales + importations - exportations



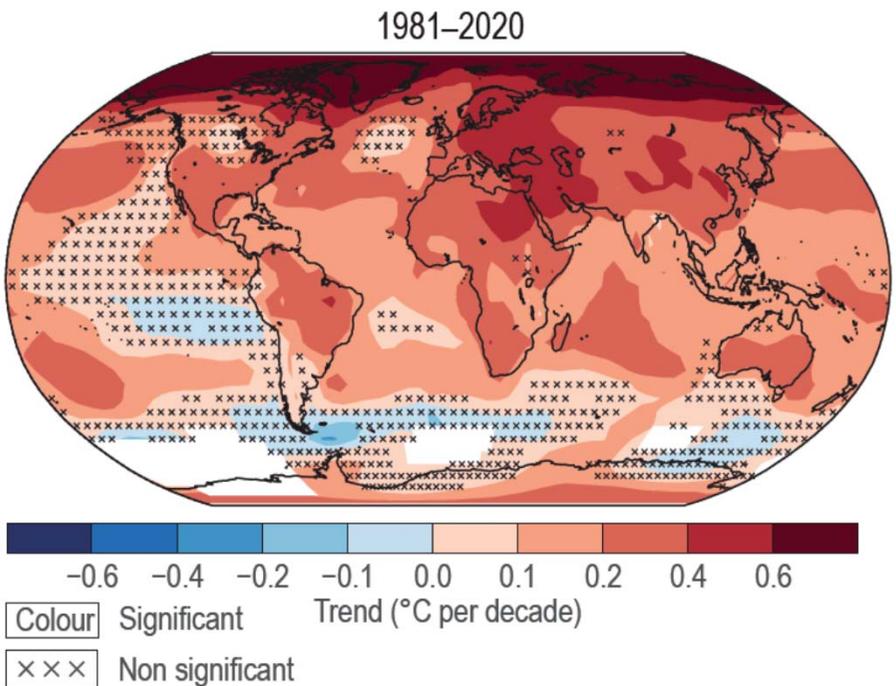
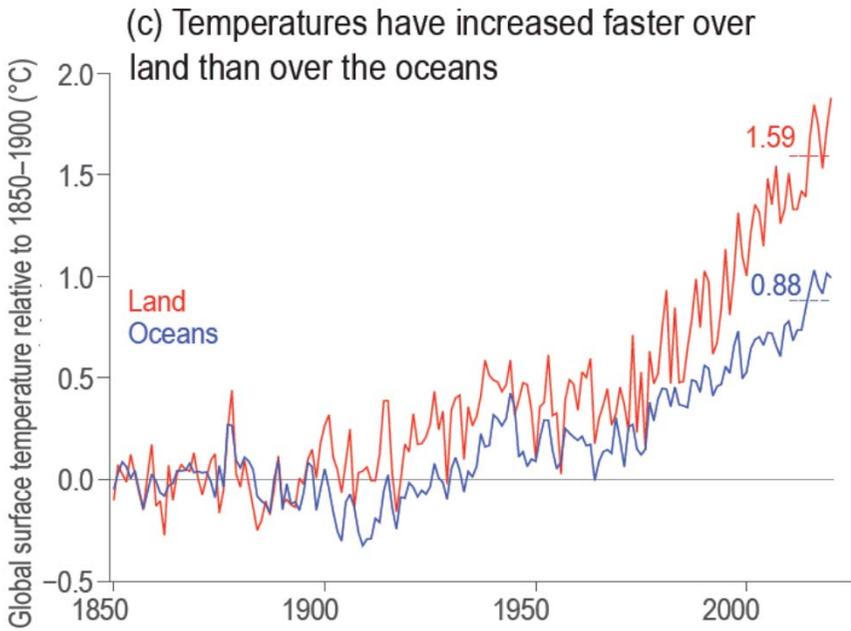
x 3.7
pour convertir les
tC en tCO2



En tenant compte des importations, un français moyen émet 2 fois plus qu'un citoyen du monde moyen

Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Le réchauffement n'est pas uniforme



Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

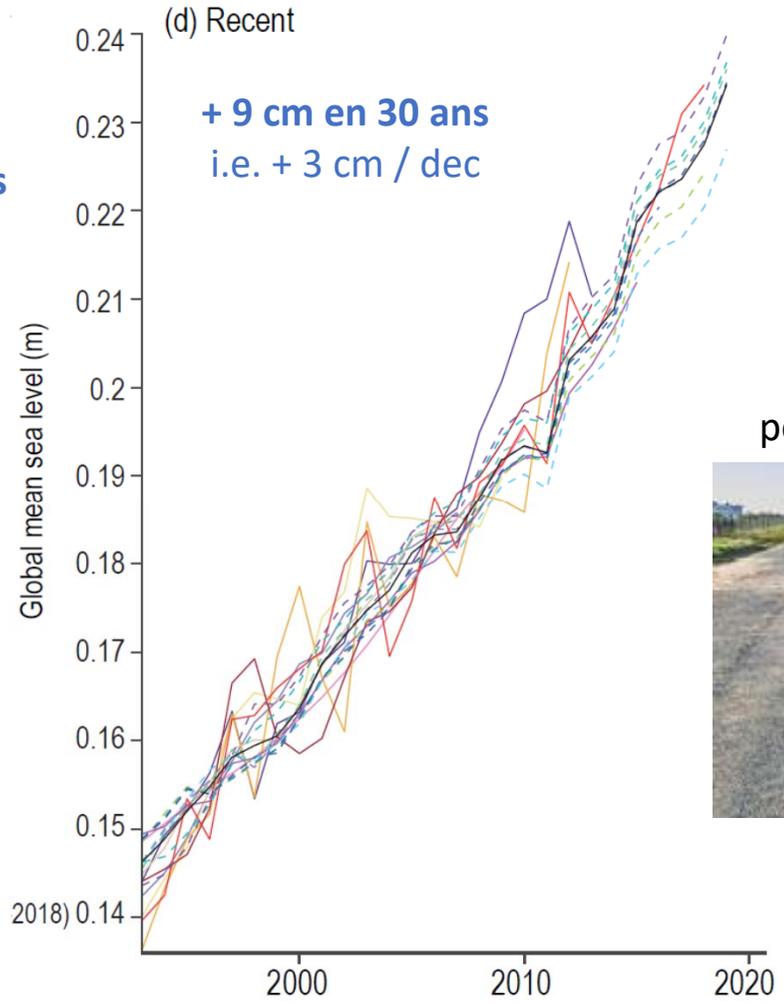
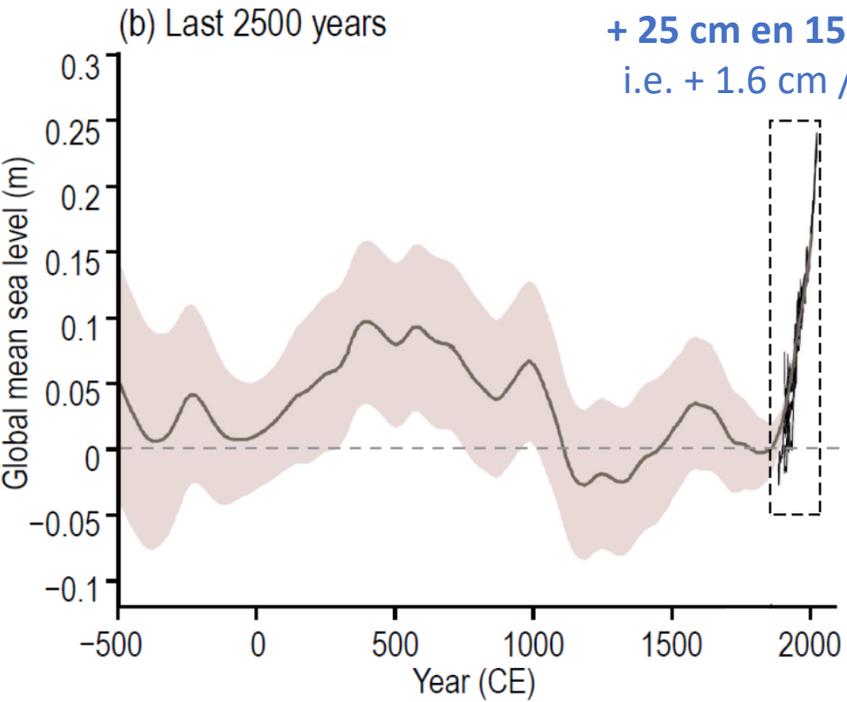


La fonte de la cryosphère
est une des principales sources d'incertitude
sur l'évolution du climat futur



Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Le niveau moyen de la mer augmente



En France :
perte de 30 km² en 50 ans



Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Faible augmentation des précipitations sur les continents

Augmentation moyenne < 1% depuis 1980
AR6, WG1, Chap 2

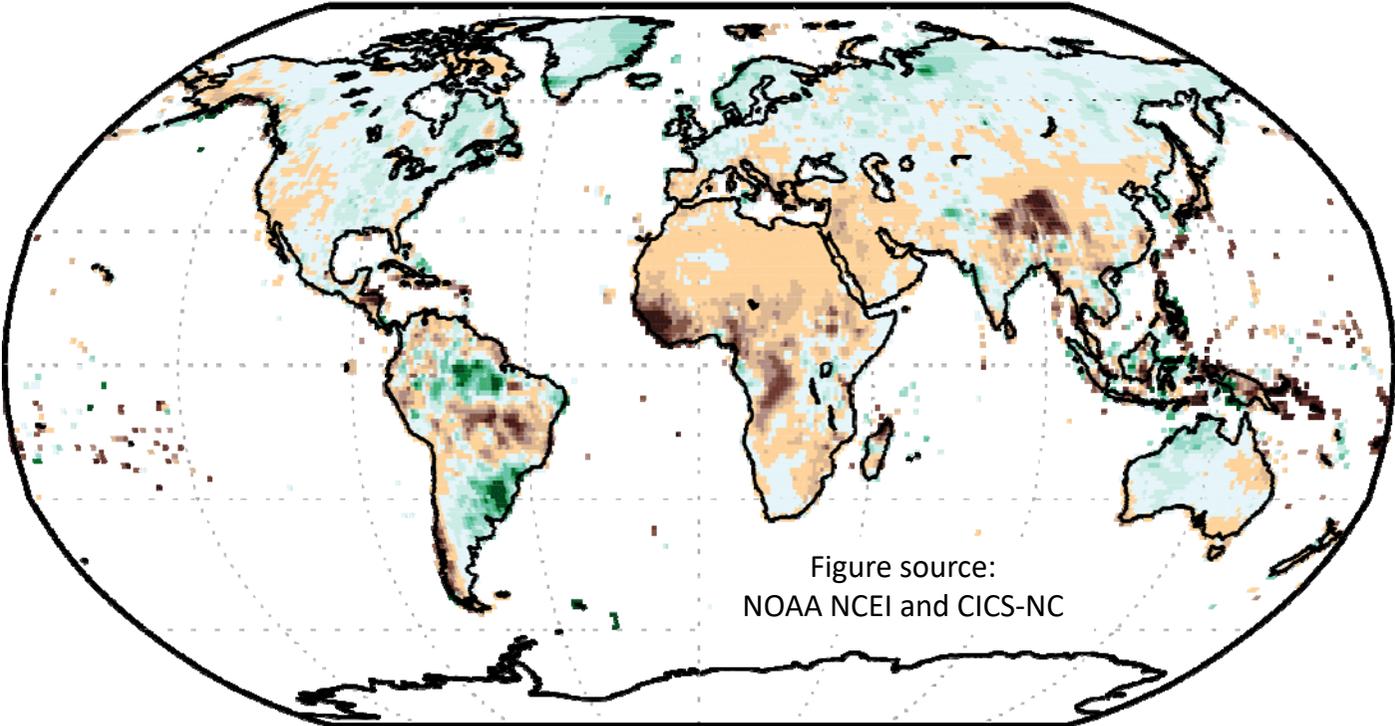
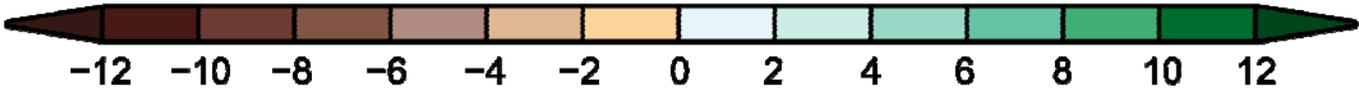


Figure source: NOAA NCEI and CICS-NC

Mais bcp de baisses dans les zones sèches et/ou déforestées

La plupart des changements locaux ne sont pas significatifs

Change in Precipitation (inches)

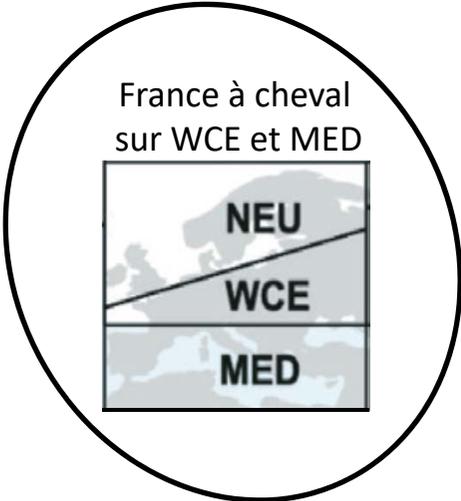
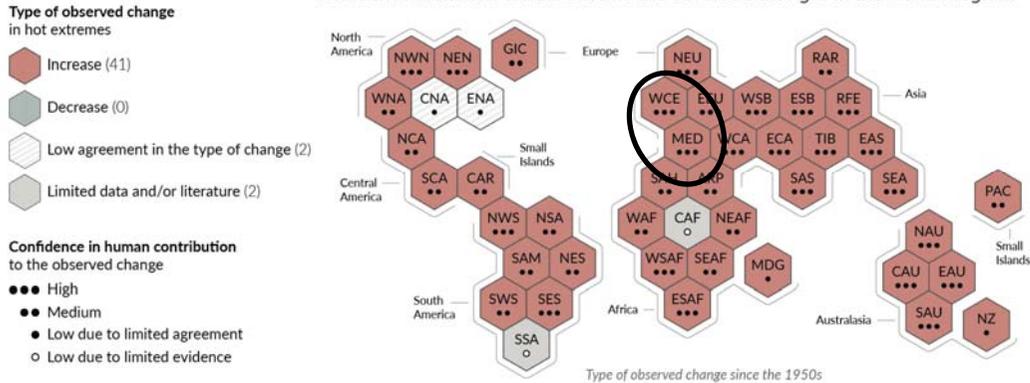


Changements de précipitation moyenne annuelle entre 1986-2015 et 1901-1960 à partir des observations de stations long-terme (donc sur continents)

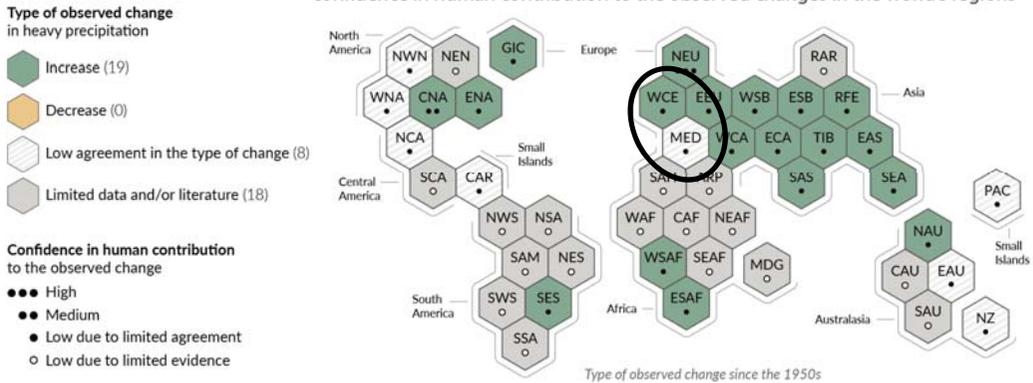
Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Augmentation des évènements extrêmes

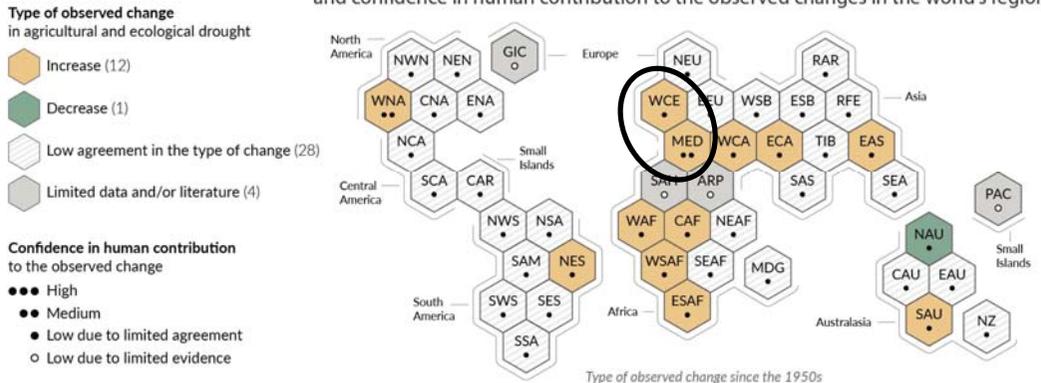
(a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



(b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

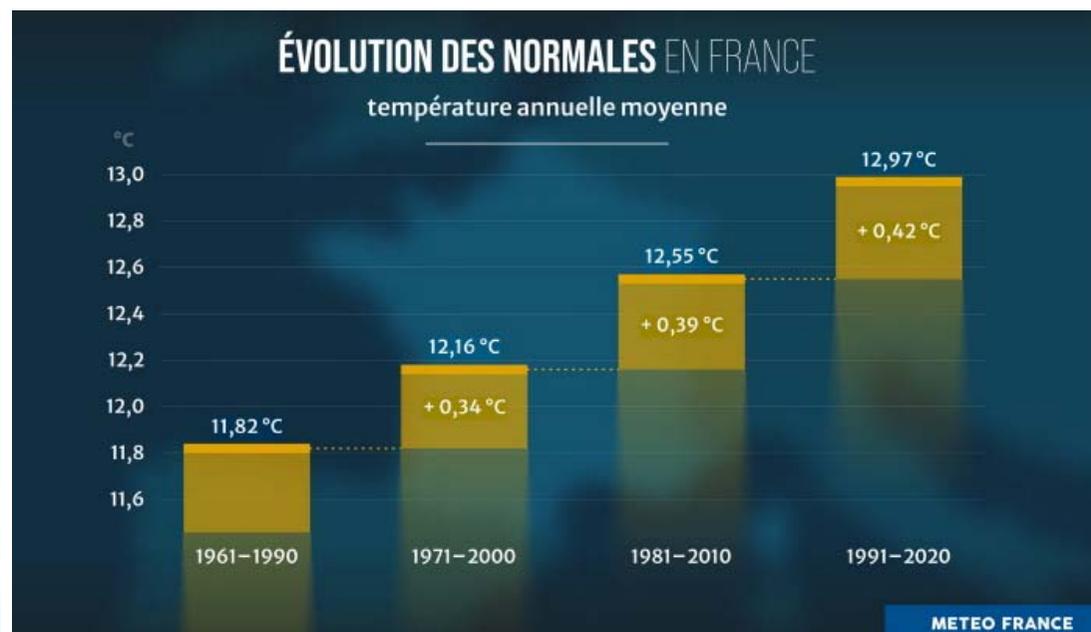
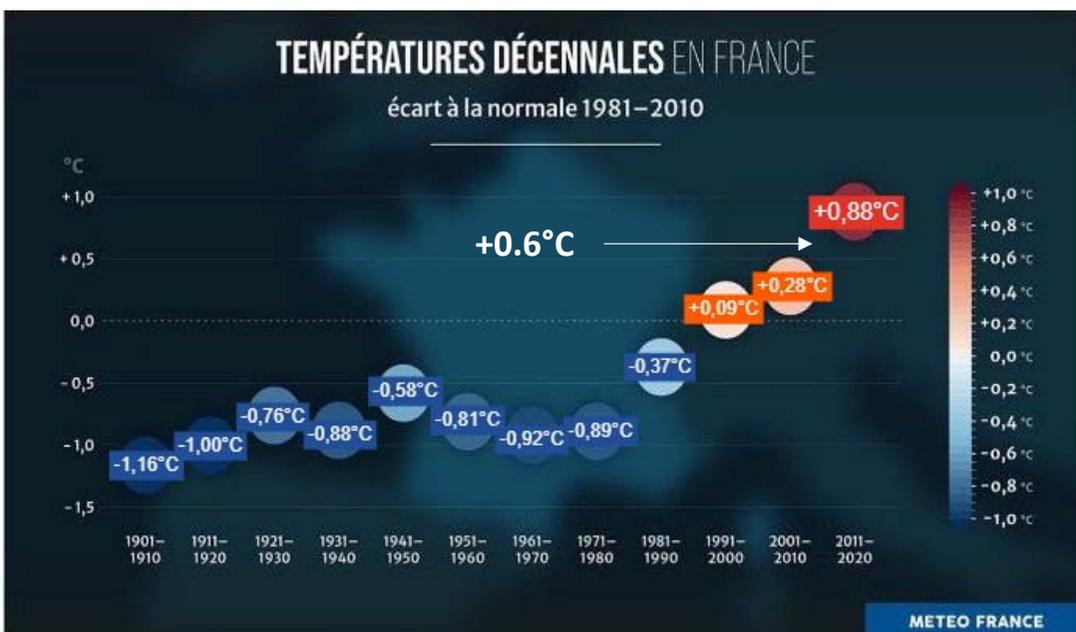


(c) Synthesis of assessment of observed change in **agricultural and ecological drought** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



AR6, WG1, SPM

On retrouve les mêmes tendances en France

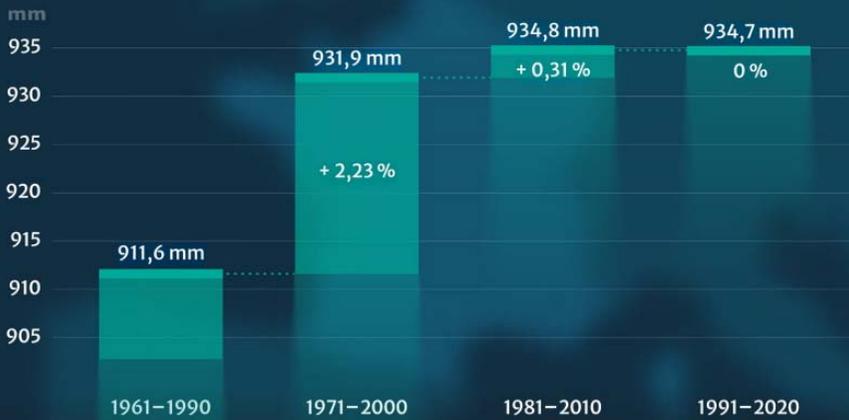


Réchauffement > 2°C depuis le début du 20^{ème} siècle
(températures moyennes annuelles)

On retrouve les mêmes tendances en France

ÉVOLUTION DES NORMALES EN FRANCE

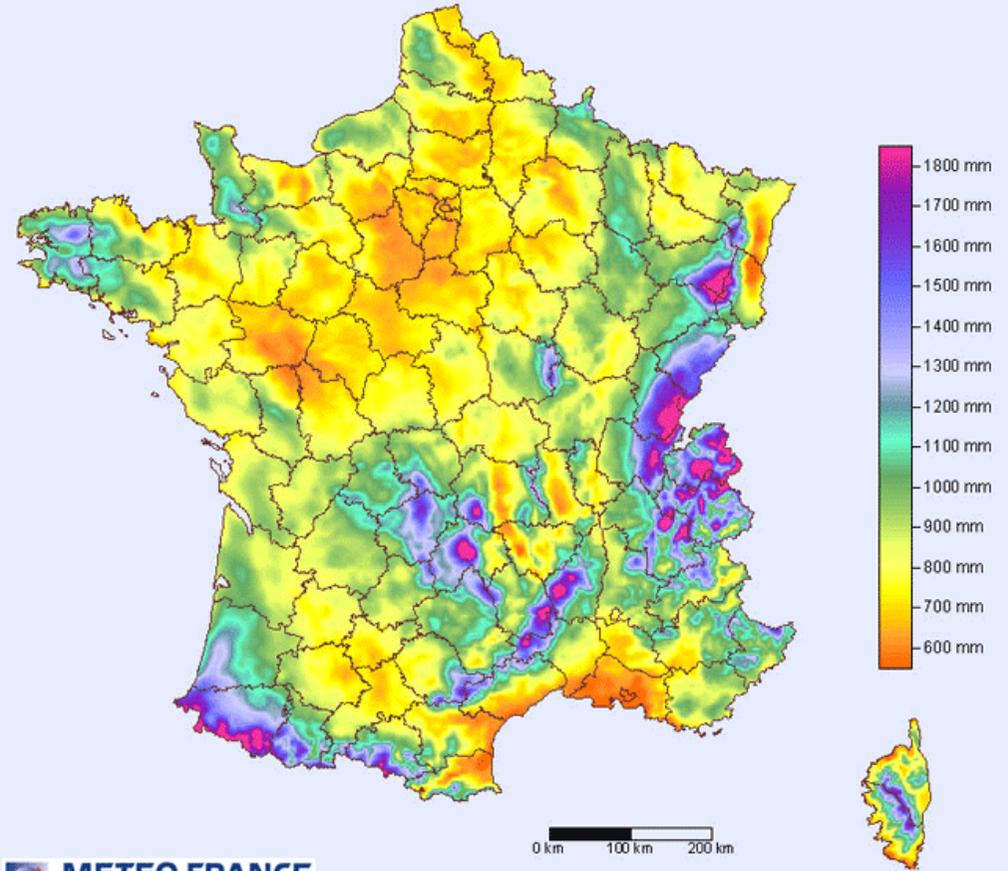
cumul annuel de précipitation



METEO FRANCE

Normales de précipitation \approx 930 mm/an
depuis 50 ans
en moyenne sur toute la France

Cumul annuel des précipitations Normales 1971-2000



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance



On retrouve les mêmes tendances en France

Ressources en eau moyennes en France (1990-2018)

Précipitations \approx 930 mm/an

Evaporation \approx 550 mm/an (60 % de P)

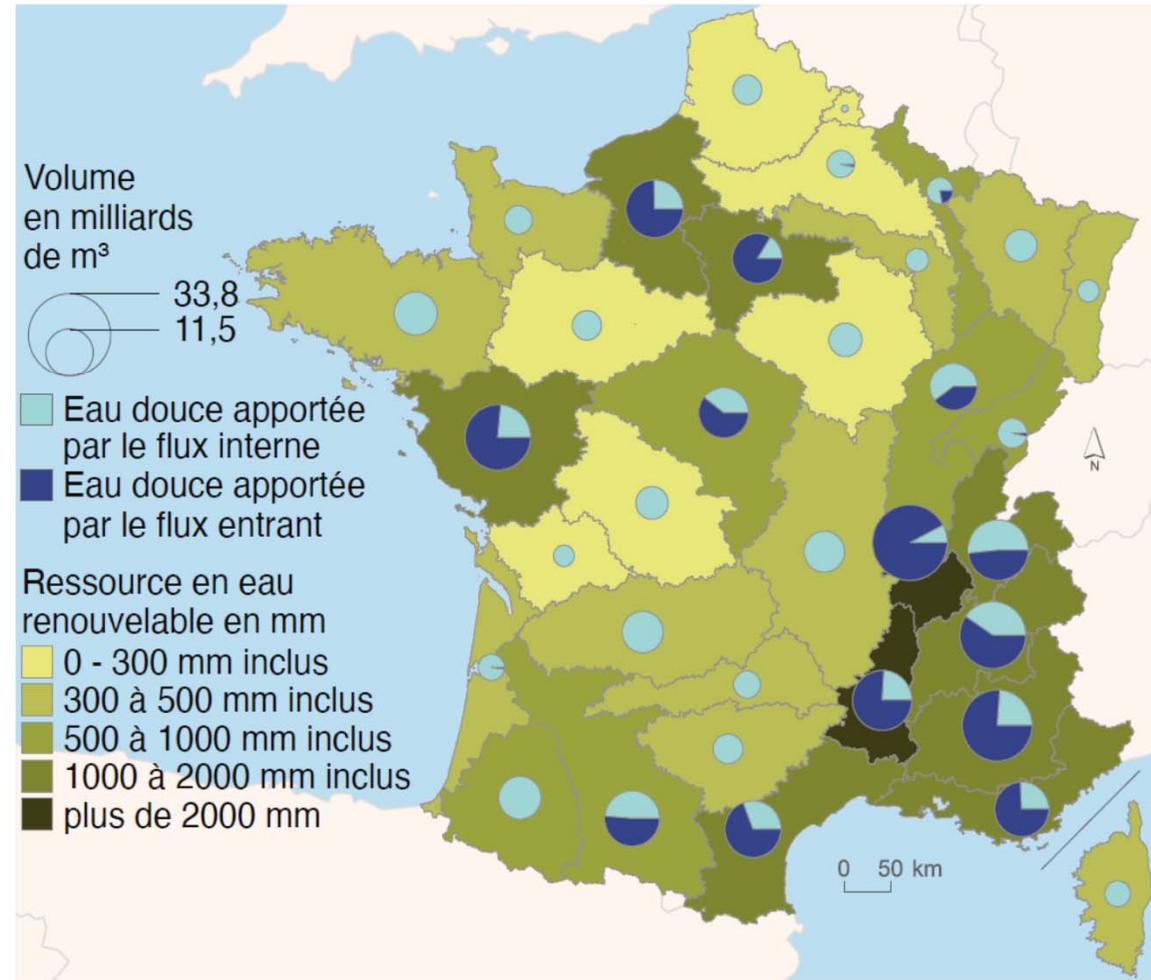
Ressources renouvelables \approx 380 mm/an (40% de P)

Évolutions de la ressource en
eau renouvelable en France
métropolitaine de 1990 à 2018

JUIN 2022



Carte 2 : parts apportées par le flux interne et le flux entrant dans la ressource en eau renouvelable moyenne, par sous-bassin DCE* administratif, de 1990 à 2018



On retrouve les mêmes tendances en France

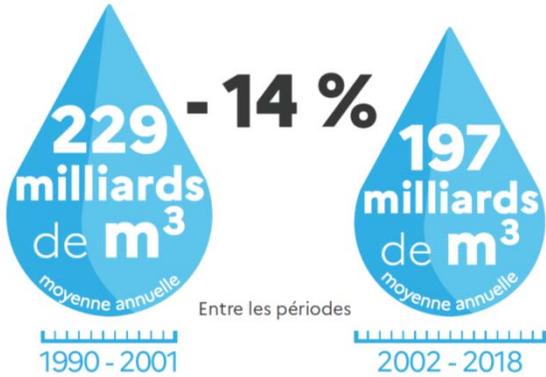
Ressources en eau moyennes en France (1990-2018)

Précipitations ≈ 930 mm/an

Evaporation ≈ 550 mm/an (60 % de P)

Ressources renouvelables ≈ 380 mm/an (40% de P)

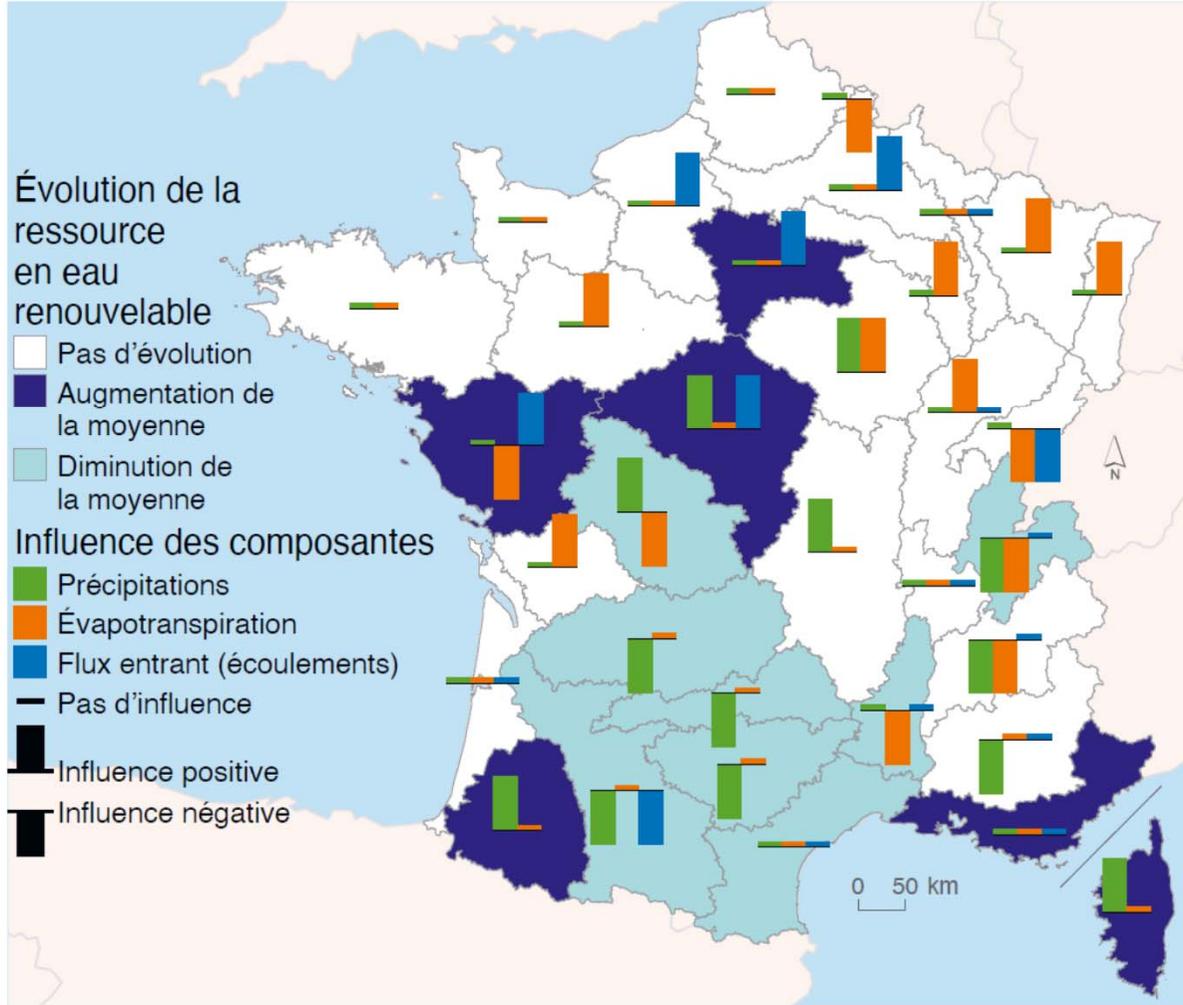
La **ressource en eau renouvelable a diminué.**



Évolutions de la ressource en eau renouvelable en France métropolitaine de 1990 à 2018

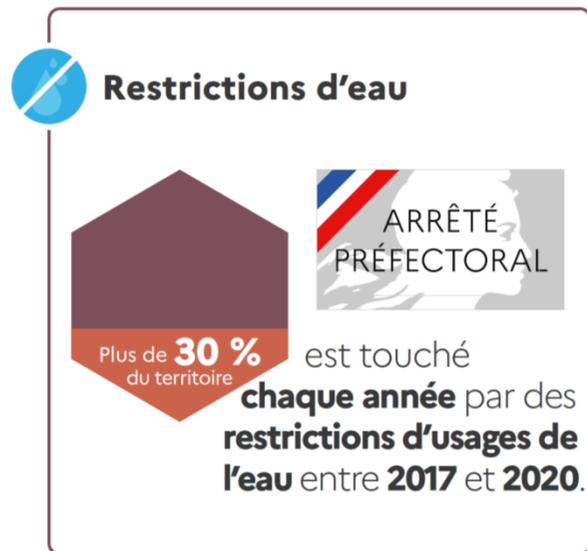
JUIN 2022

Carte 4 : évolution de la ressource en eau renouvelable annuelle et influence de chaque composante, par sous-bassin DCE* administratif, de 1990 à 2018



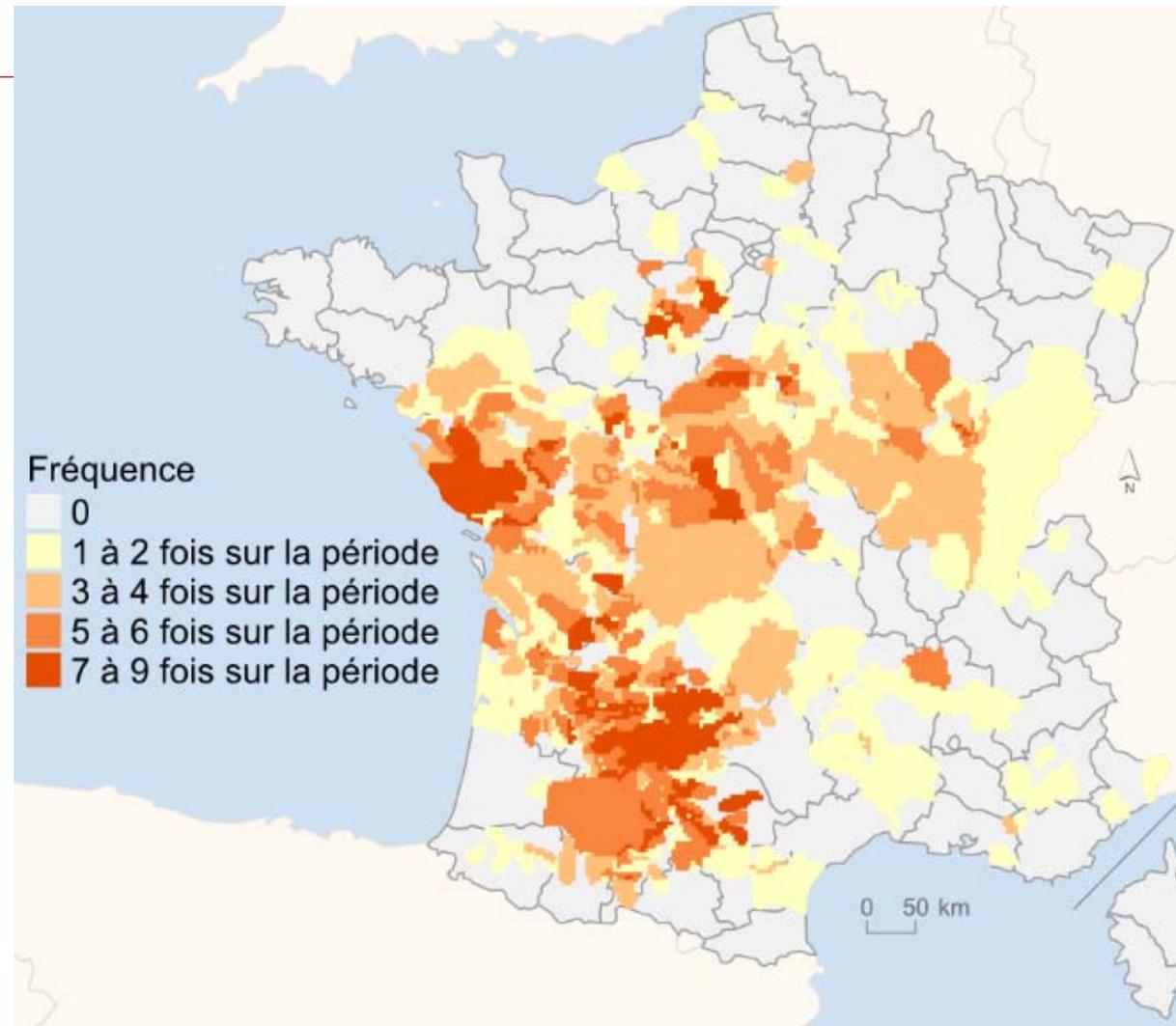
On retrouve les mêmes tendances en France

Extrêmes secs



Remarque

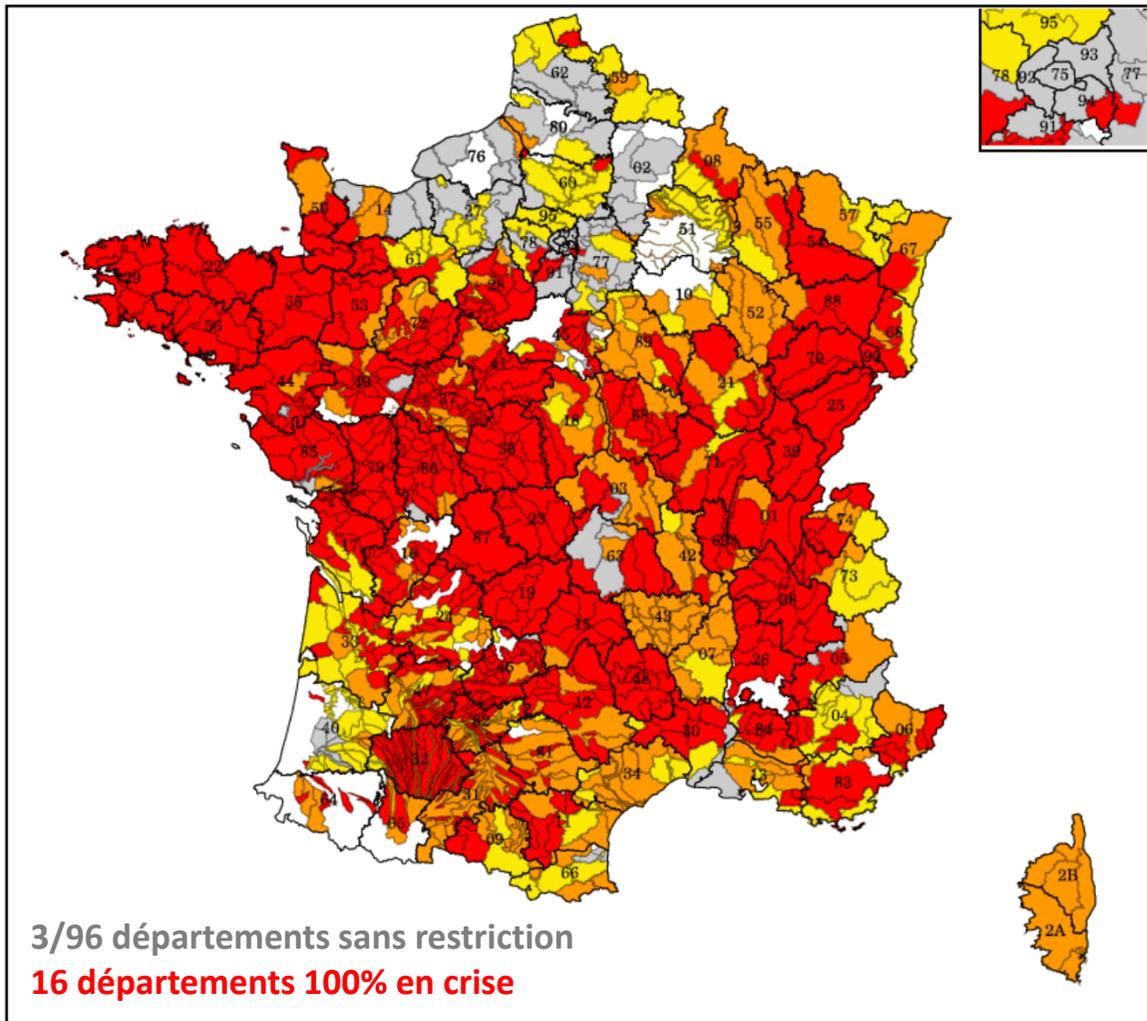
Les restrictions sont des décisions humaines à partir de l'état des ressources



Fréquence des épisodes annuels de restriction de niveau « crise » des usages de l'eau superficielle d'une durée de plus d'un mois, sur la période 2012-2020

Le cas de l'été 2022

Carte des arrêtés de restriction du 25/08 au 15/09 2022

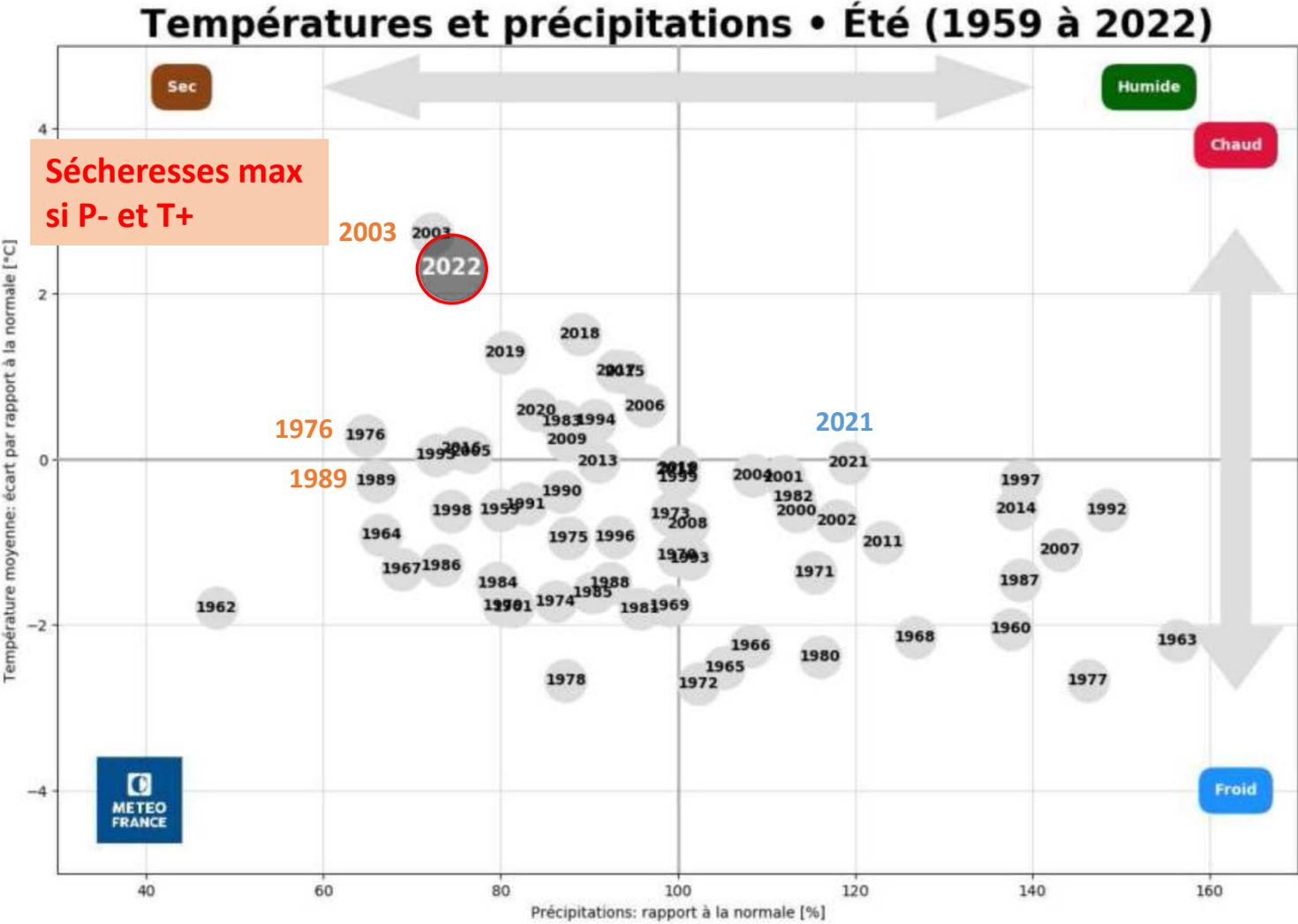


Quelques exemples de « défaillances »

- Début août, Gérardmer boit l'eau de son lac
- 117 communes sans eau potable le 23 août
- Niveaux très bas de nombreux lacs artificiels (dont Serre-Ponçon sur la Durance, Sainte-Croix sur le Verdon, Naussac et Villerest sur la Loire)
- Baisse de la production hydroélectrique par EDF de 23% au premier semestre 2022 par rapport à l'année précédente
- Fortes inquiétudes sur les rendements agricoles et l'élevage (fourrage, abreuvement, production laitière)

Mais aussi la source de la Tamise, navigation sur le Rhin, plaine du Pô...

Le cas de l'été 2022



+ Hiver 2021-2022
Très déficitaire en précipitations

Faible recharge des sols et nappes

Ecart aux normales 1990-2020

Le climat n'est pas le seul facteur d'évolution des ressources en eau

Méta-analyse de la littérature scientifique sur les causes des changements de débit au 20^{ème} siècle

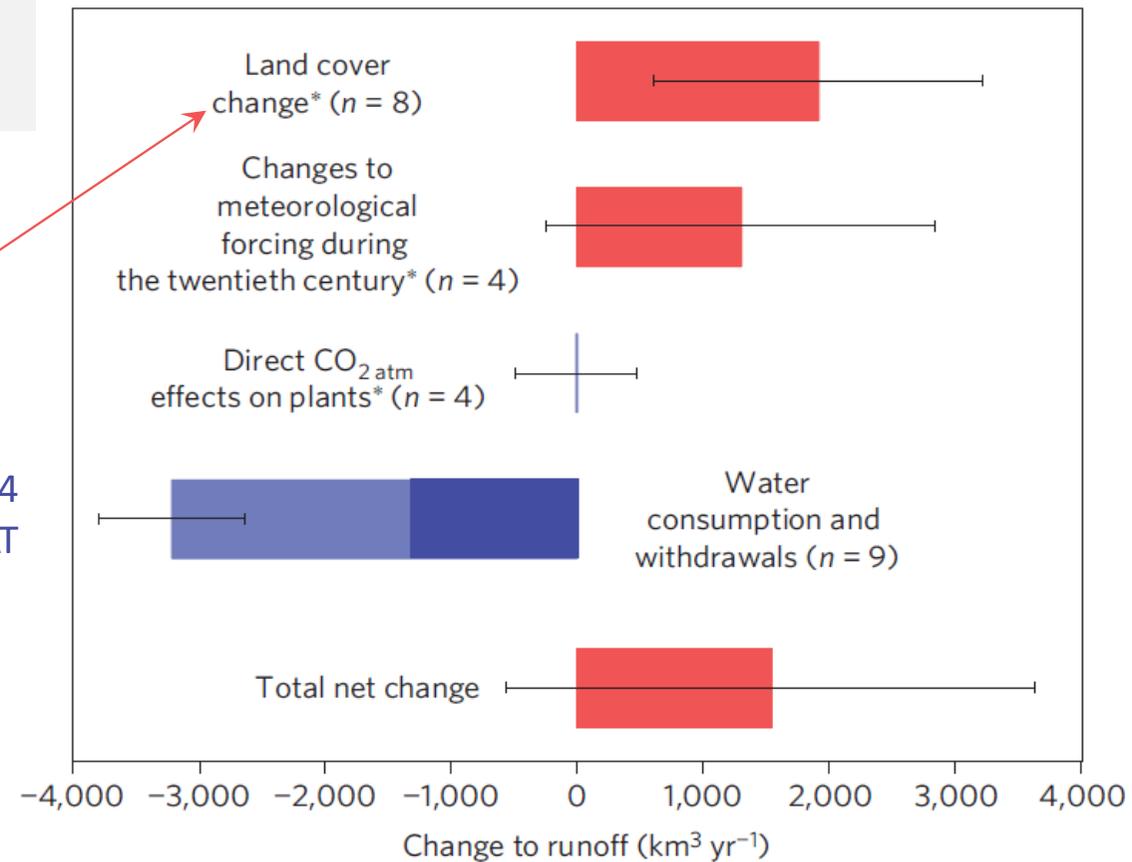
- 3 facteurs antagonistes avec fortes incertitudes
- **Difficile d'établir / attribuer des tendances historiques**
- Et ces valeurs ne sont pas homogènes sur la planète

Déforestation, urbanisation,
disparition de zones humides

E ↘ et R ↗

Mais aussi irrigation qui joue en sens inverse

Proche 4 000 km³ en 2014
Selon FAO/AQUASTAT



Sterling, Ducharne et al., 2013

1. Introduction

2. Bilan sur les ressources en eau et leurs usages

3. Changement climatique naturel et anthropique

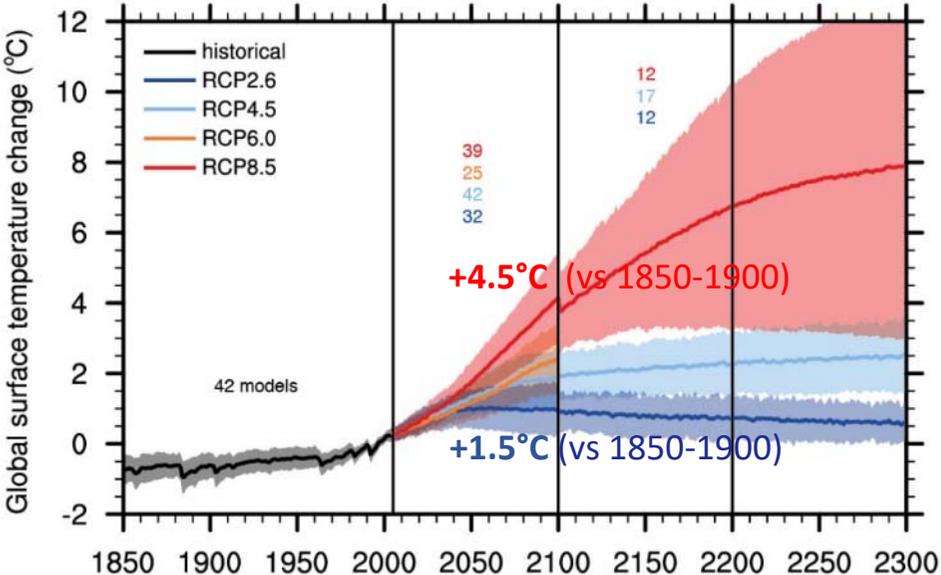
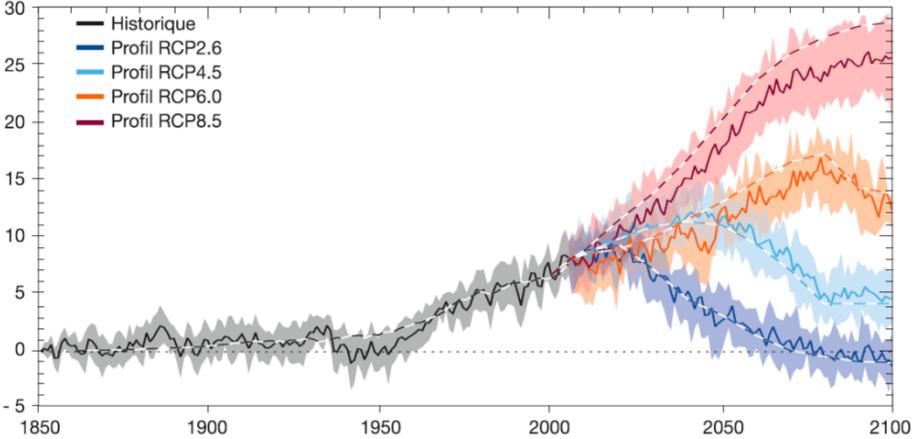
4. Que nous réserve le futur ?

5. Quelques éléments de conclusion



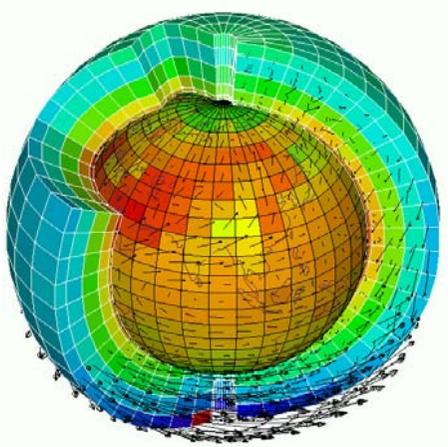
Que nous réserve le futur ?

Scénarios d'émissions futures (en GtC/an)

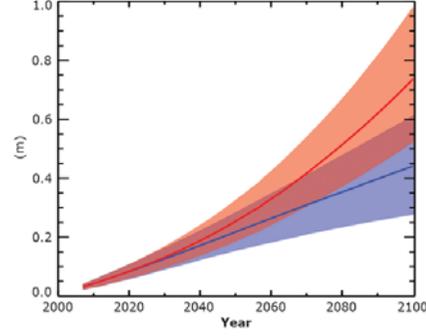


Avec aussi des scénarios d'aérosols et occupation des terres

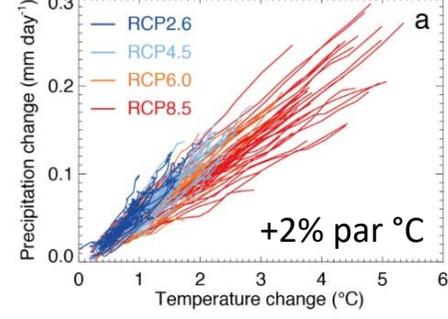
Modèles climatique



Niveau de la mer



Précipitations



Basé sur AR5 WG1

Que nous réserve le futur ?

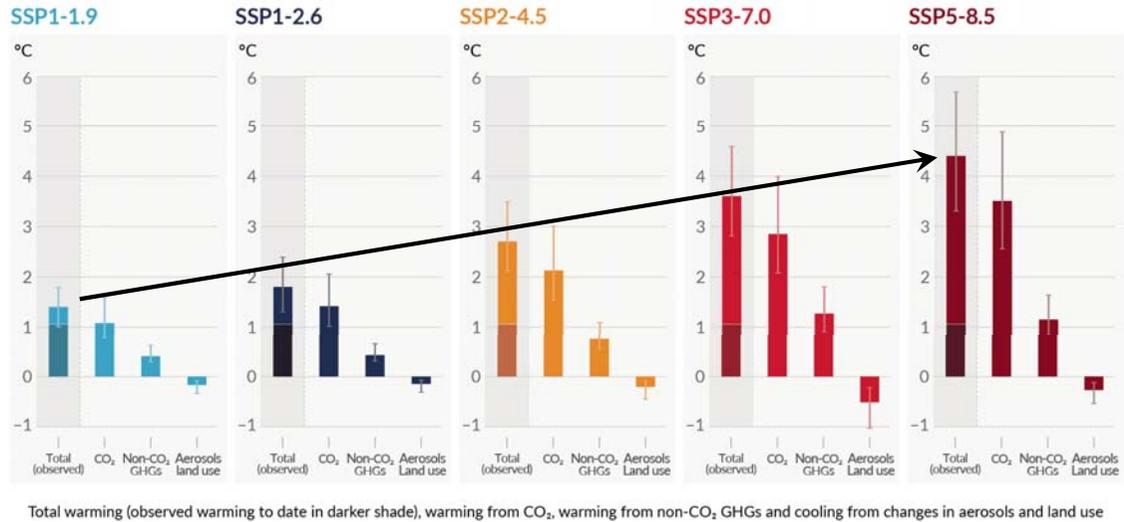
Les nouveautés du dernier rapport du GIEC (AR6)

Nouveaux scénarios SSP (Shared Socioeconomic Pathways)

Analyses par degrés de réchauffement moyen

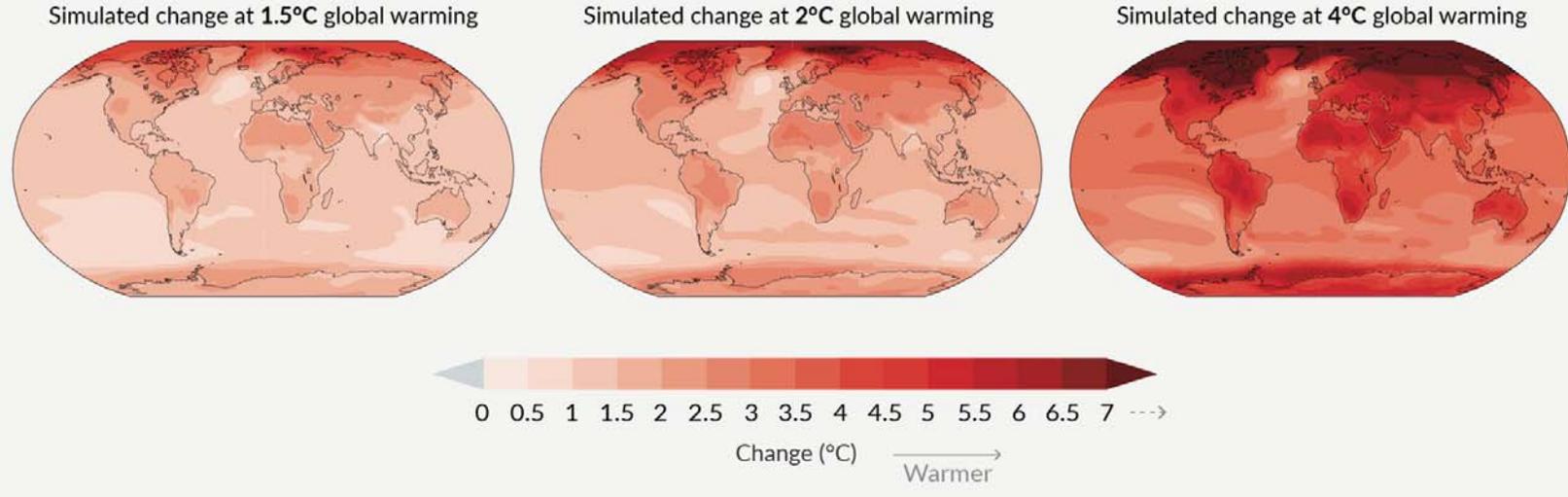
(b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions

Change in global surface temperature in 2081–2100 relative to 1850–1900 (°C)



(b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850–1900

Across warming levels, land areas warm more than ocean areas, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.



Que nous réserve le futur ?

Accroissement des inégalités de précipitation

Attention, fortes incertitudes sur l'évolution des précipitations :

- dispersion importante entre modèles climatiques
- ces modèles ne capturent pas parfaitement les précipitations actuelles

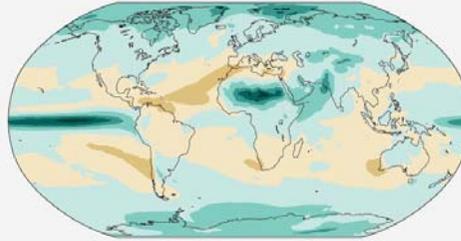
La quantification reste difficile !

Mais nombreuses régions continentales marquées par l'aridification

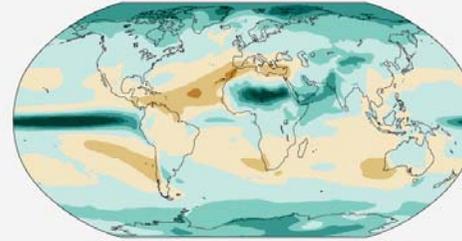
(c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

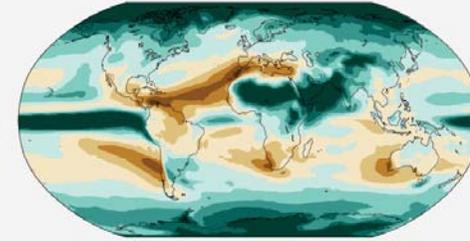
Simulated change at 1.5°C global warming



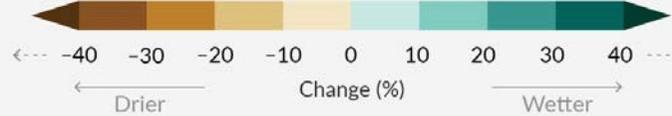
Simulated change at 2°C global warming



Simulated change at 4°C global warming



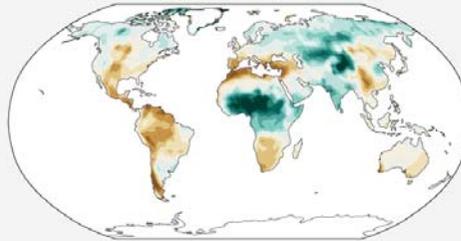
Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions



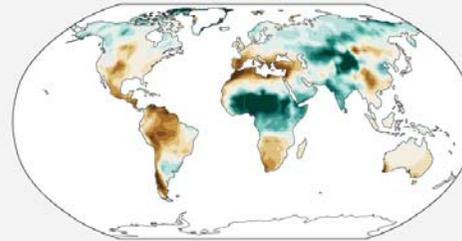
(d) Annual mean total column soil moisture change (standard deviation)

Across warming levels, changes in soil moisture largely follow changes in precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.

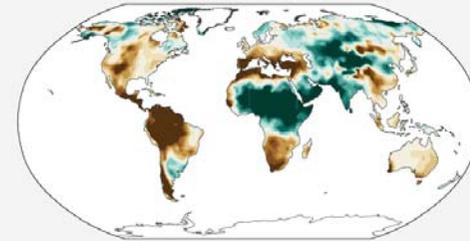
Simulated change at 1.5°C global warming



Simulated change at 2°C global warming



Simulated change at 4°C global warming



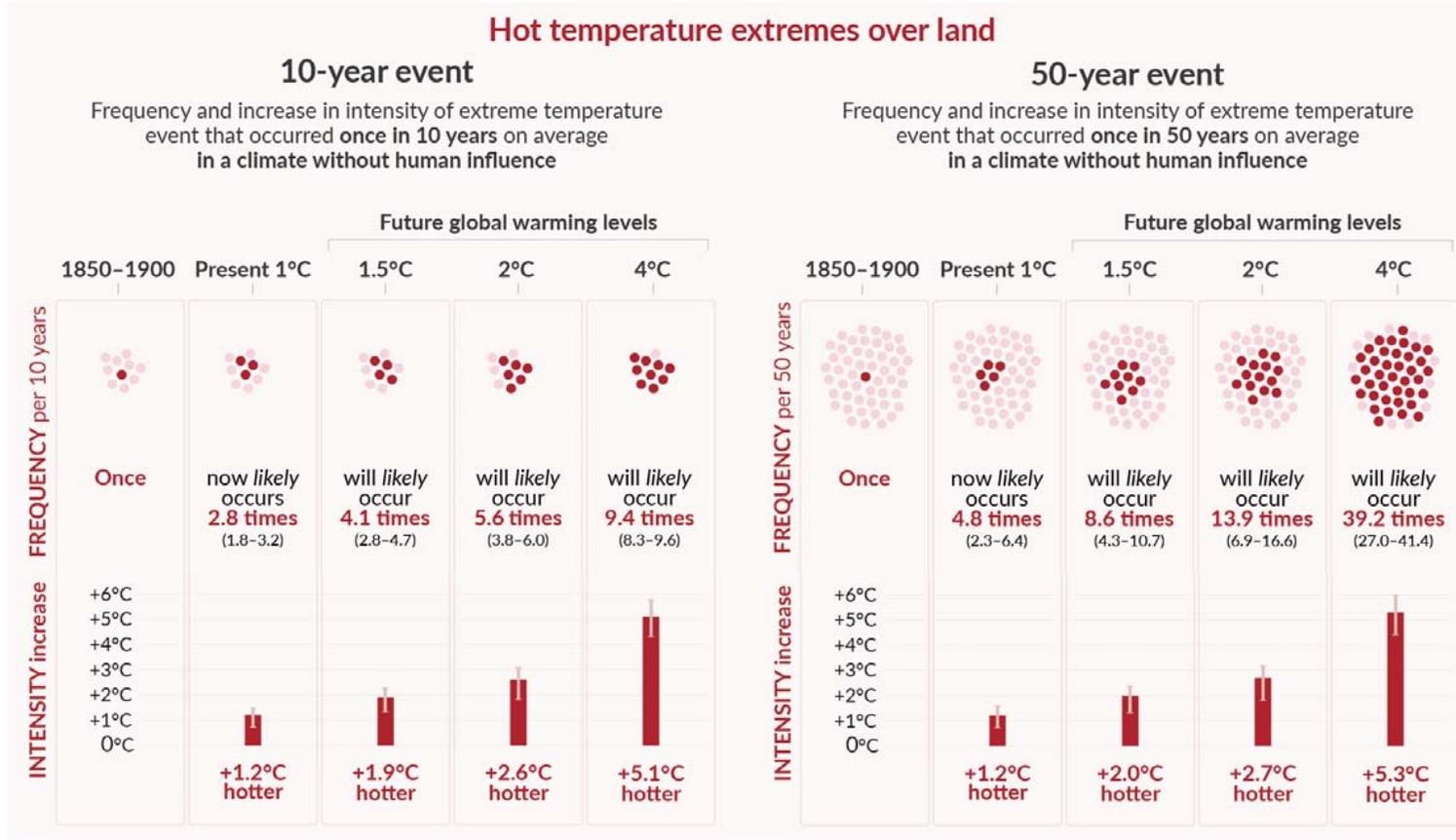
Relatively small absolute changes may appear large when expressed in units of standard deviation in dry regions with little interannual variability in baseline conditions



Que nous réserve le futur ?

Intensification des évènements extrêmes

Et ce d'autant plus que le réchauffement moyen est prononcé

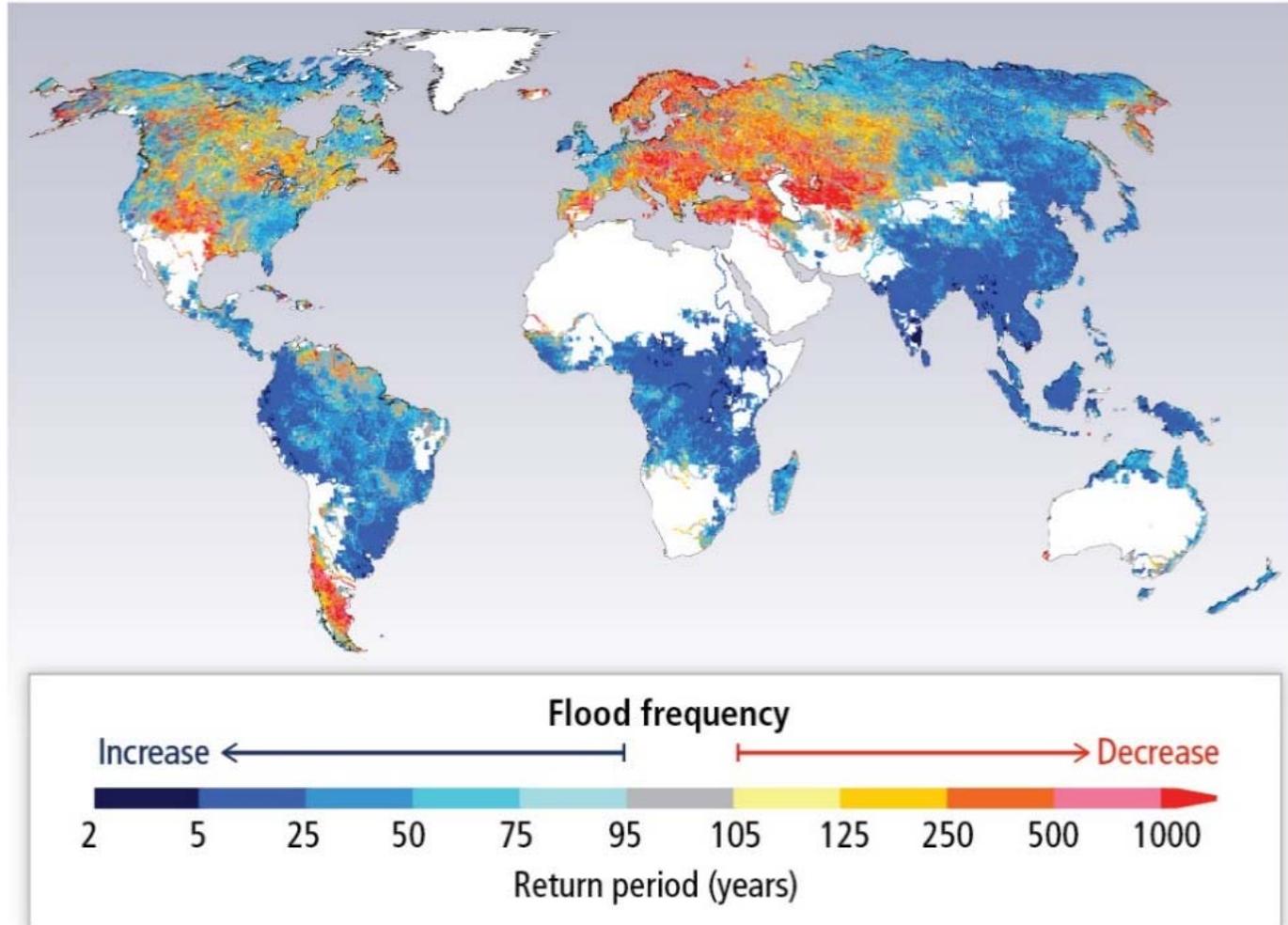


Que nous réserve le futur ?

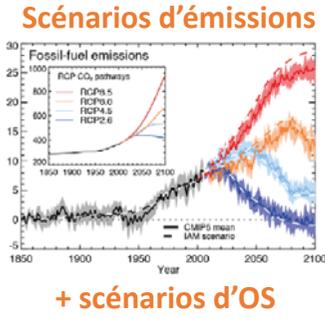
Les crues augmentent aussi !

1. En chaque point on estime le débit correspondant à une crue centennale en 1971-2000
2. On calcule la période de retour de ce débit en 2071-2100, pour 11 projections climatique RCP8.5 →

Carte de la médiane sur 11 modèles de climat sous RCP8.5

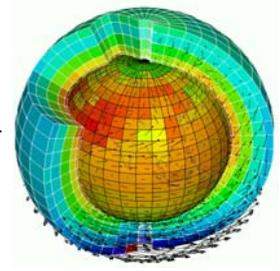


Et en France ?

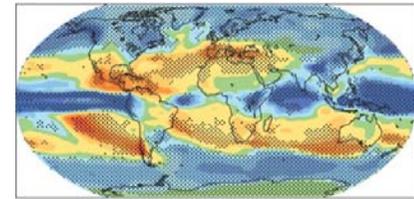


+ scénarios d'OS

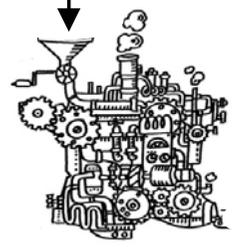
Modèles climatique globaux



Projections climatiques de grande échelle

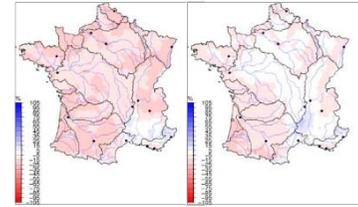


CMIP6 & GIEC avec atlas interactif



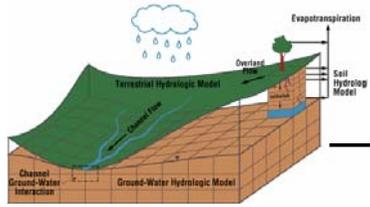
Descente d'échelle + correction de biais

Projections climatiques régionalisées

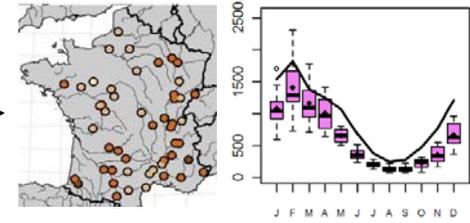


Exemple : site DRIAS

Projections hydrologiques régionalisées



Modèles d'impact



Mais attention aux incertitudes : à tous les niveaux !!

Et en France ?

<http://www.drias-climat.fr/decouverte>



DRIAS les futurs du climat

Fr En

ACCUEIL ACCOMPAGNEMENT **DÉCOUVERTE** DONNÉES ET PRODUITS

Espace Découverte

Vous pouvez depuis cet espace explorer de façon interactive l'information mise à disposition dans Drias^{les futurs du climat}, en visualisant, sous forme de cartes, les différentes évolutions climatiques simulées pour le siècle en cours sur la France. Plusieurs axes d'exploration sont proposés en combinant les modèles climatiques, les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et indicateurs climatiques.

Dans les étapes suivantes, toutes les rubriques ont été initialisées par défaut et vous pouvez vous contenter de 'valider' les pré-sélections pour afficher des premiers produits.

Thème de la modélisation

Atmosphère

- Atmosphère ---
- Atmosphère
- Impact ---
- Agriculture
- Tourisme hivernal en montagne – Enneigement
- Risques naturels – Feux de forêt
- Ressource en eau - Sécheresse
- Ancien jeu ---
- Atmosphère (2014)

Domaine géographique

Métropole

et massifs, outre-mer

Famille de paramètres

Température

et P, vent, humidité

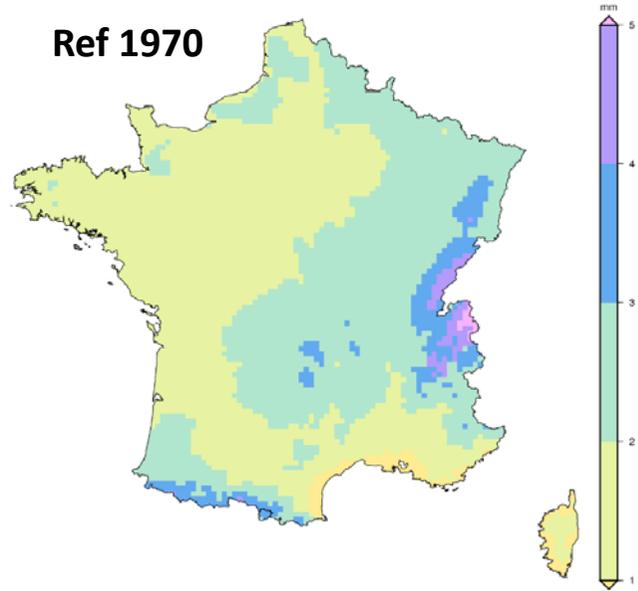
Valider

A partir de 30 projections climatiques régionalisées RCP4.5 et RCP8.5

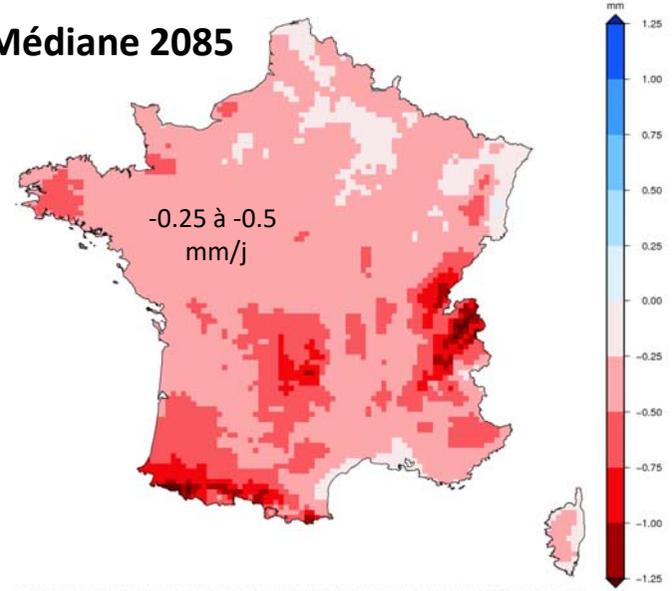
Et en France ?

**Précipitations estivales
RCP8.5**

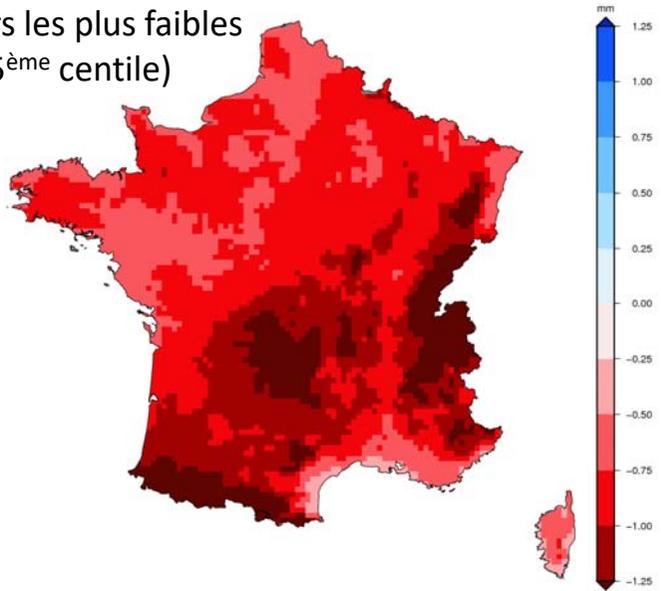
Ref 1970



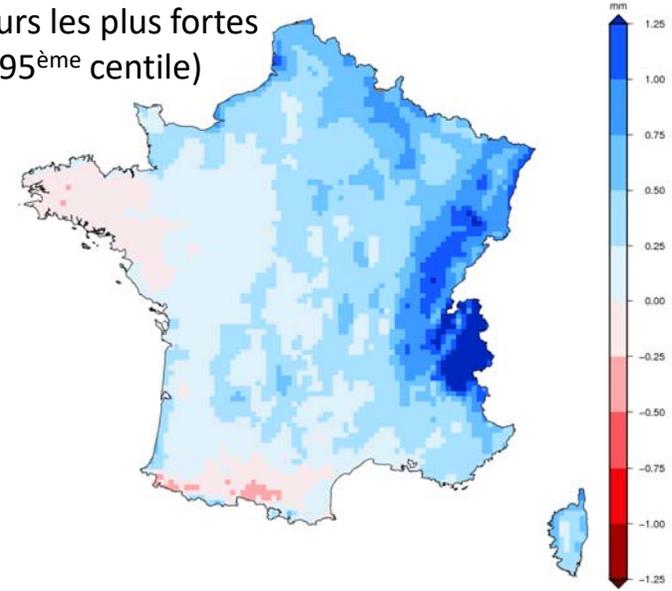
Médiane 2085



2085
Valeurs les plus faibles
(5^{ème} centile)



2085
Valeurs les plus fortes
(95^{ème} centile)



Exemple de projection hydrologique

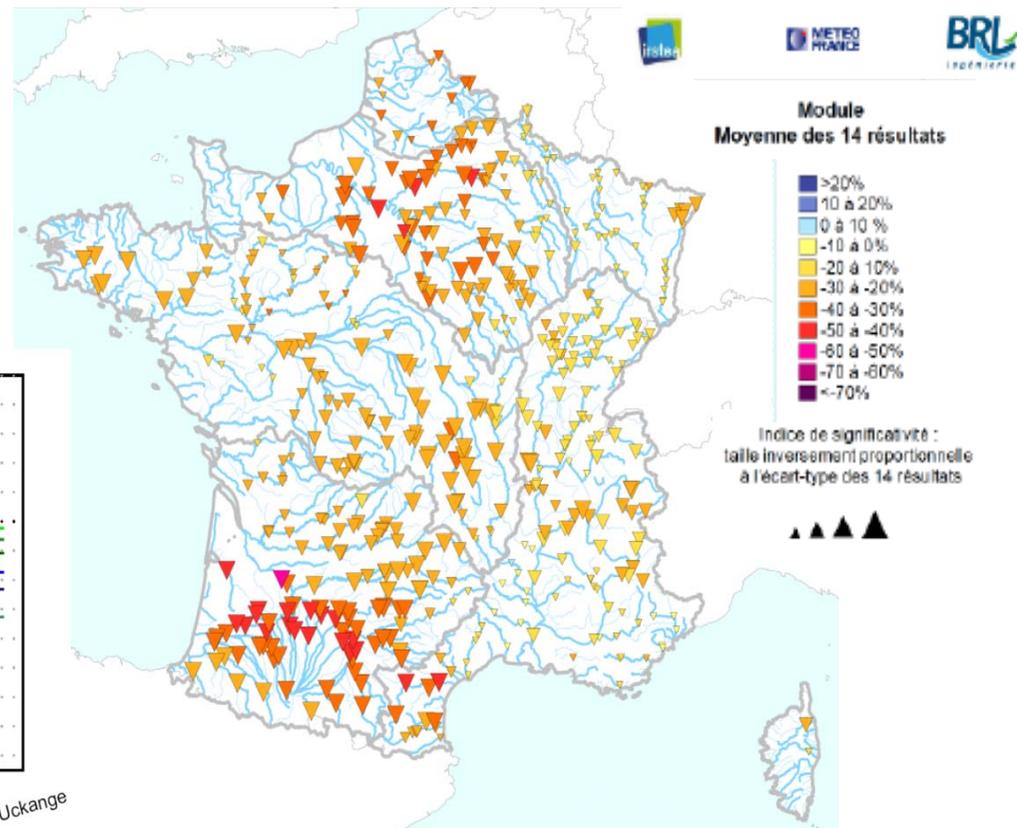
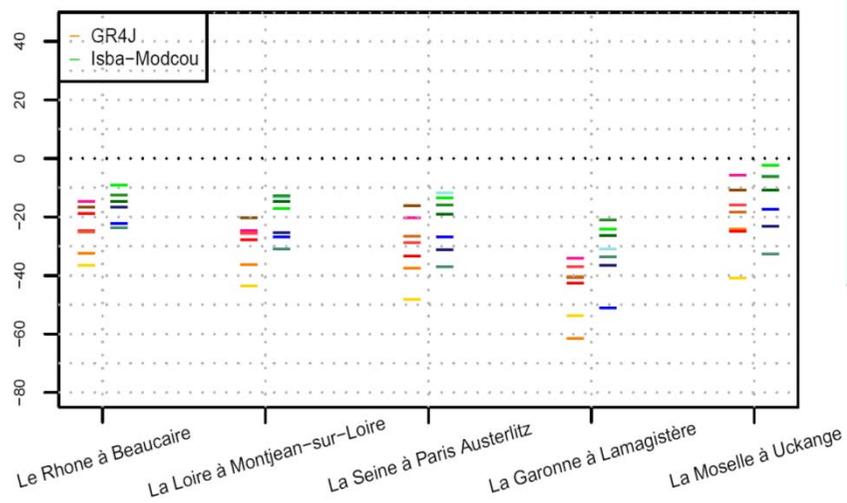
Projet Explore 2070, piloté par le MEDDE de juin 2010 à octobre 2012

pour évaluer les **impacts du changement climatique** sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à échéance 2070

A la base :

7 projections régionalisées
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

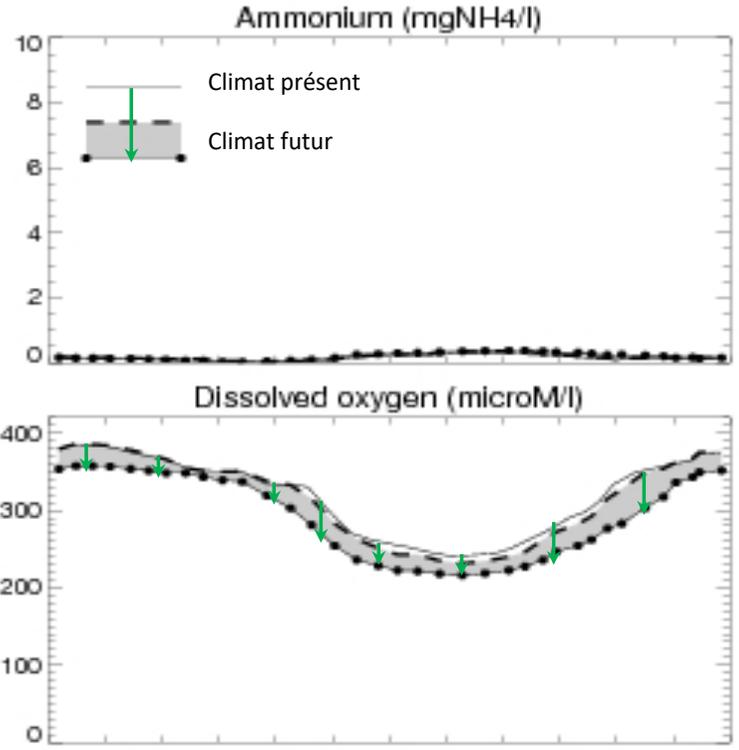
La qualité de l'eau va aussi changer

Débits ↘
donc concentrations ↗

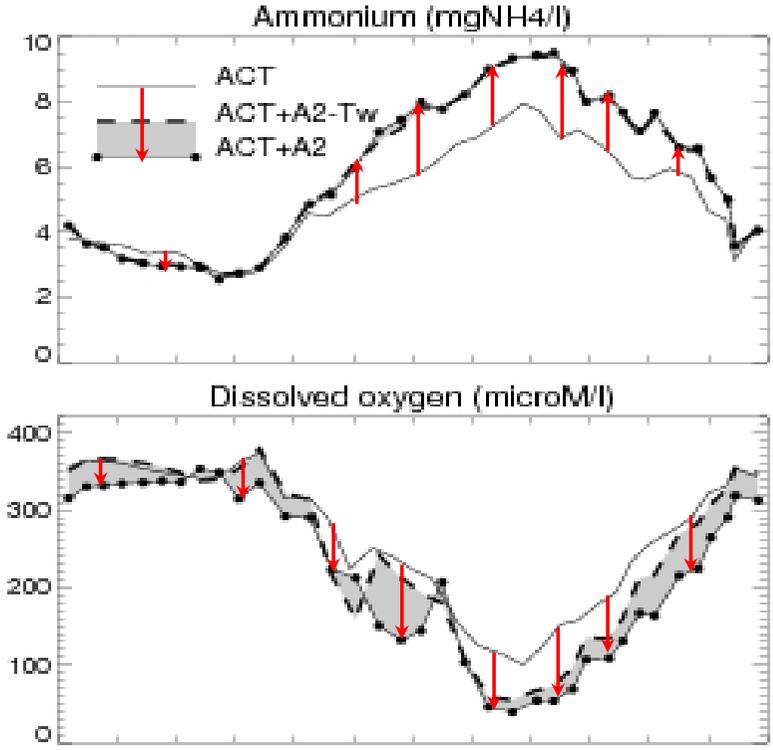
Température ↗
effet sur O₂ et cinétiques
biologiques & chimiques

**Et forte dépendance
aux apports futurs**

Prospective spécialisée
↓
Rejets 2050



Rejets 1991



*Cycles annuels moyens
à Conflans/Seine
Aval STEP Achères*

Si les rejets ponctuels ne baissent pas (reviennent aux valeurs de 1991),
l'impact du changement climatique sur la qualité
devient beaucoup plus négatif

1. Introduction

2. Bilan sur les ressources en eau et leurs usages

3. Changement climatique naturel et anthropique

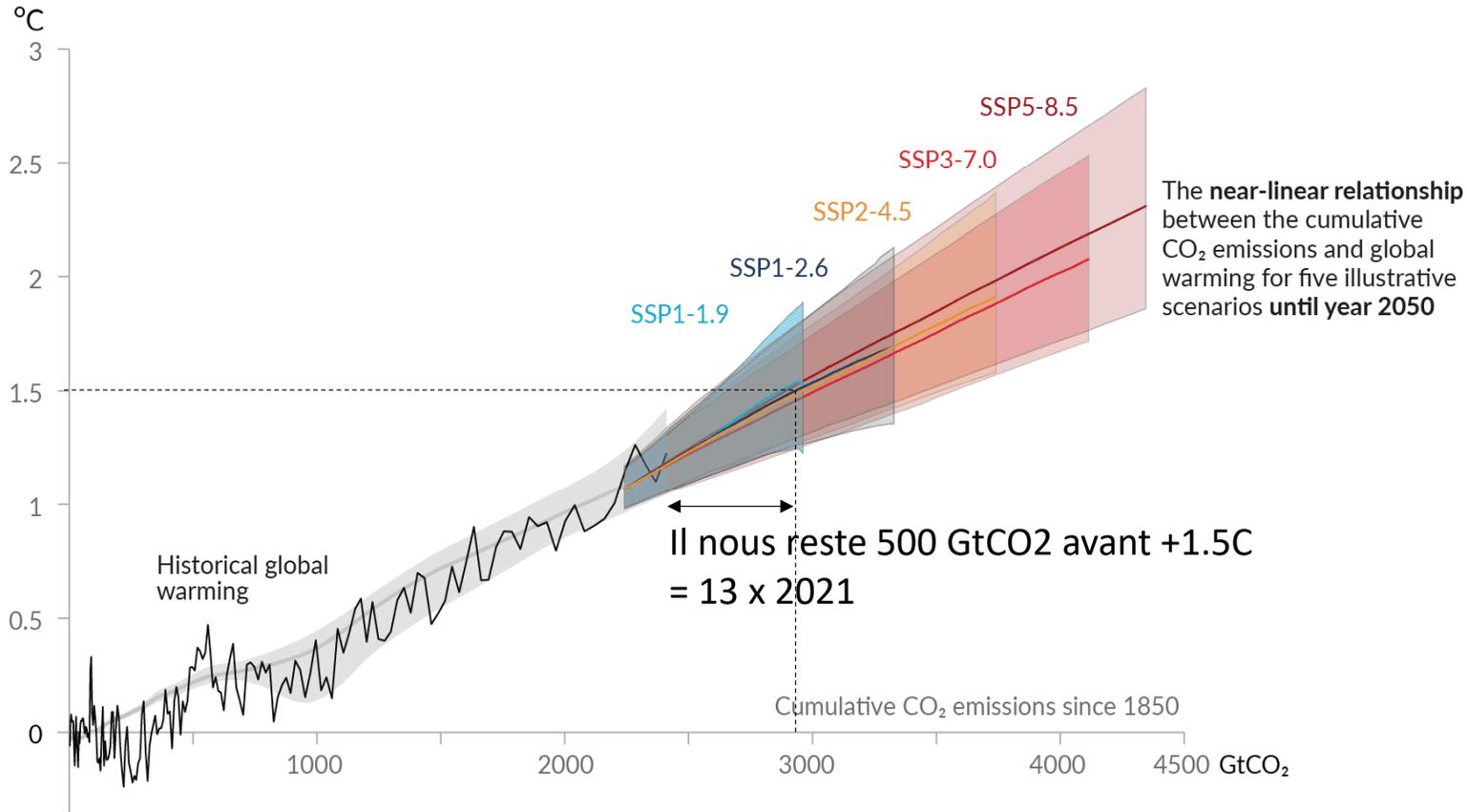
4. Que nous réserve le futur ?

5. Quelques éléments de conclusion



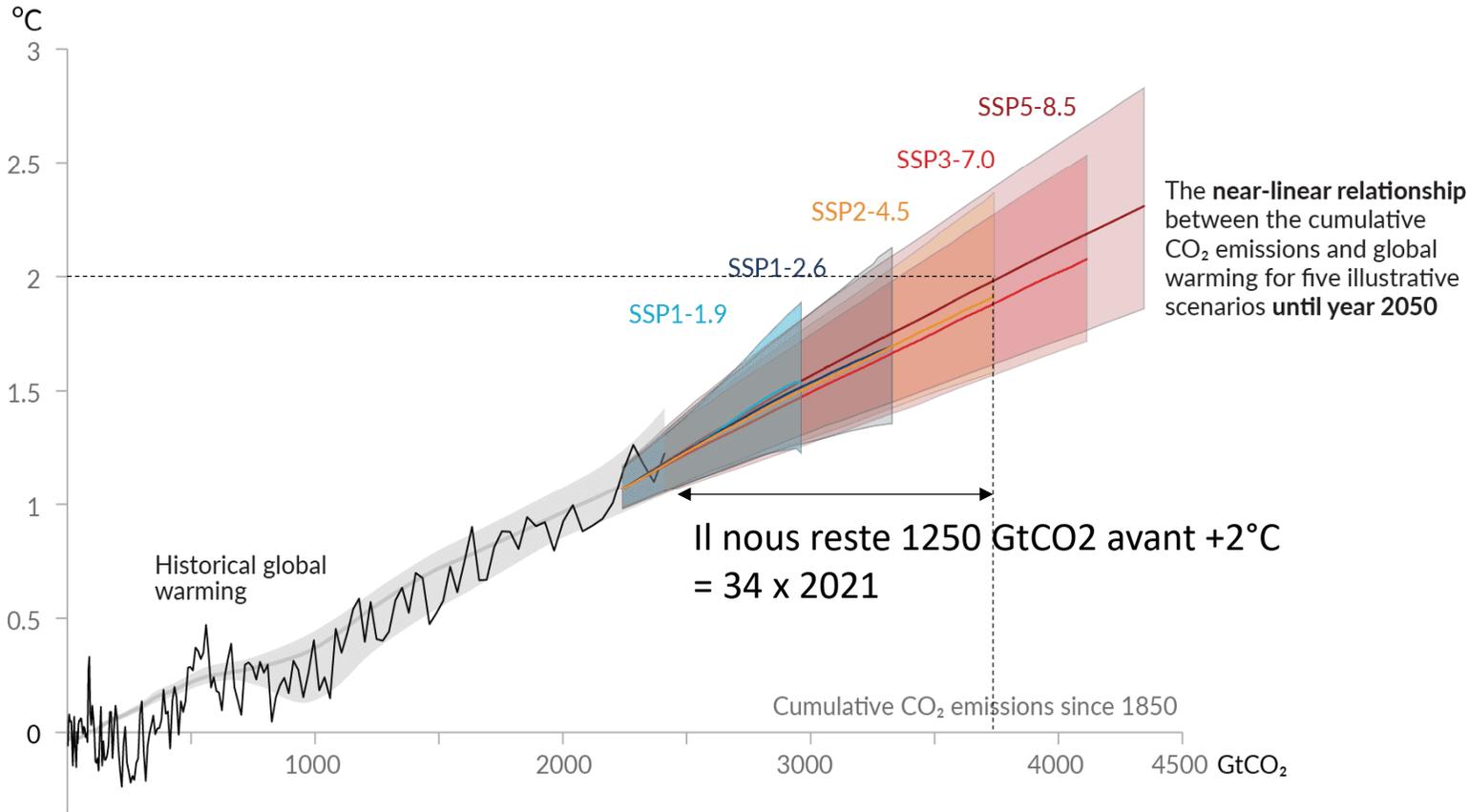
Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



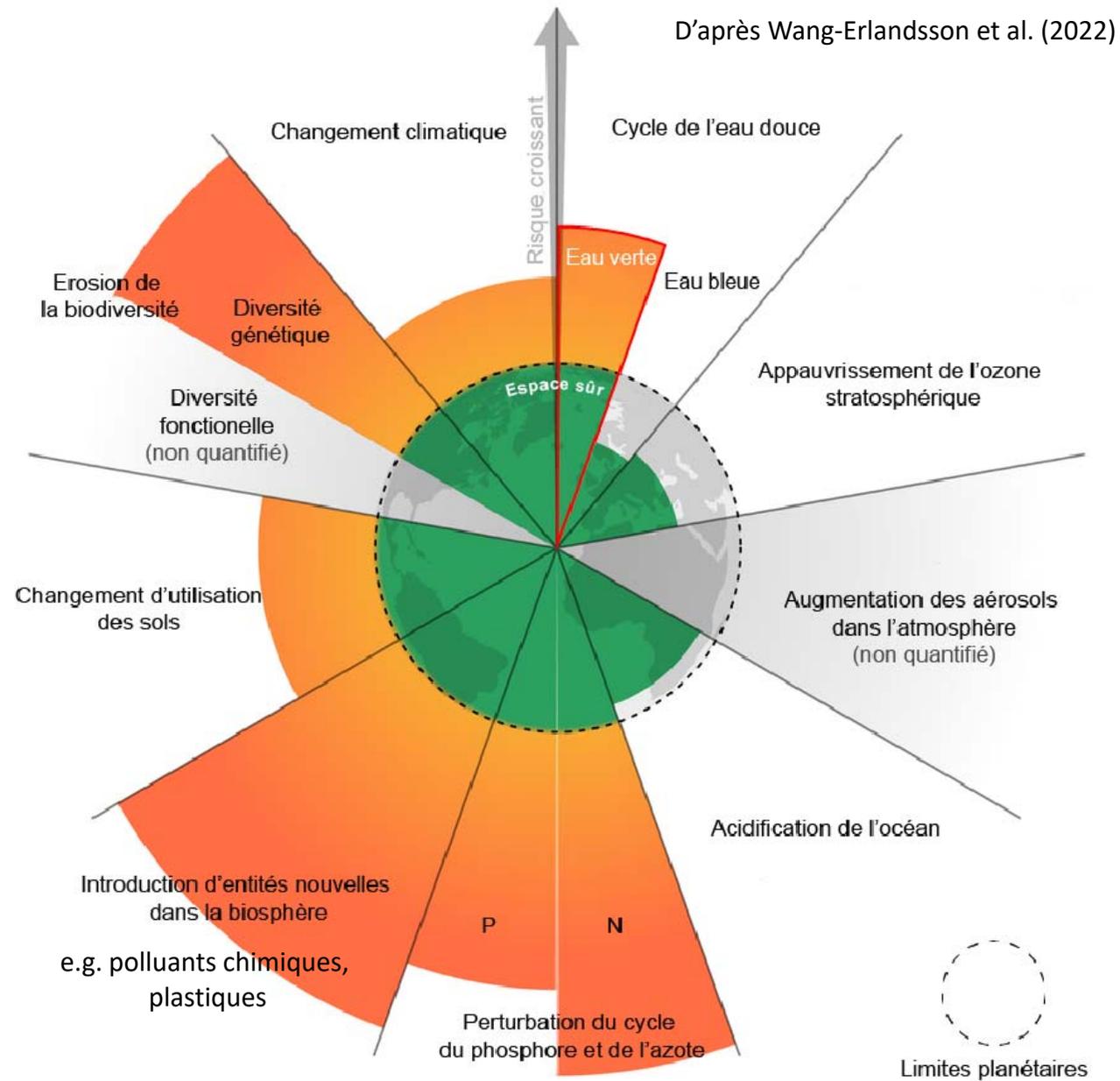
Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Éléments de conclusion

- Il est crucial de réduire nos émissions = **atténuer**
- Il faut aussi **s'adapter** au réchauffement qui est certain pour les prochaines décennies
- Il faut enfin préparer l'adaptation à des modifications moins certaines (cycle de l'eau, écosystèmes, biodiversité, etc.)
- **Et le changement climatique n'est pas le seul de nos problèmes !**



Éléments de conclusion

Les ressources en eau vont très probablement baisser en France, surtout l'été
→ **Economiser pour mieux partager**

Chez soi

Réduire les douches, éviter les fuites et usages inutiles
Moins d'électricité = moins d'eau
Moins de viande et de gaspillage alimentaire
Sobriété en textile, en papier, etc

A plus grande échelle / transformations structurelles

Favoriser les EnR à faible dépendance à l'eau
Agriculture : agro-écologie, irrigation + efficace, ↗ réserves ?
Réduire les fuites des réseaux
Réutilisation des eaux usées, désalinisation en zones côtières

Mais

Réindustrialisation ?
Durabilité de la forêt en ville ?

Comment faire concrètement ?

Tarification progressive, quotas, rationnements ?

Vraie gestion concertée de l'eau ??

cf. Assises de l'eau 2019 (avec cible à -10%) sans grand succès, remise en cause par le « Varenne de l'eau » 2022

Le transport de l'eau est très compliqué,
la gestion reste une problématique surtout régionale (mais équité amont/aval)

Merci de votre attention

