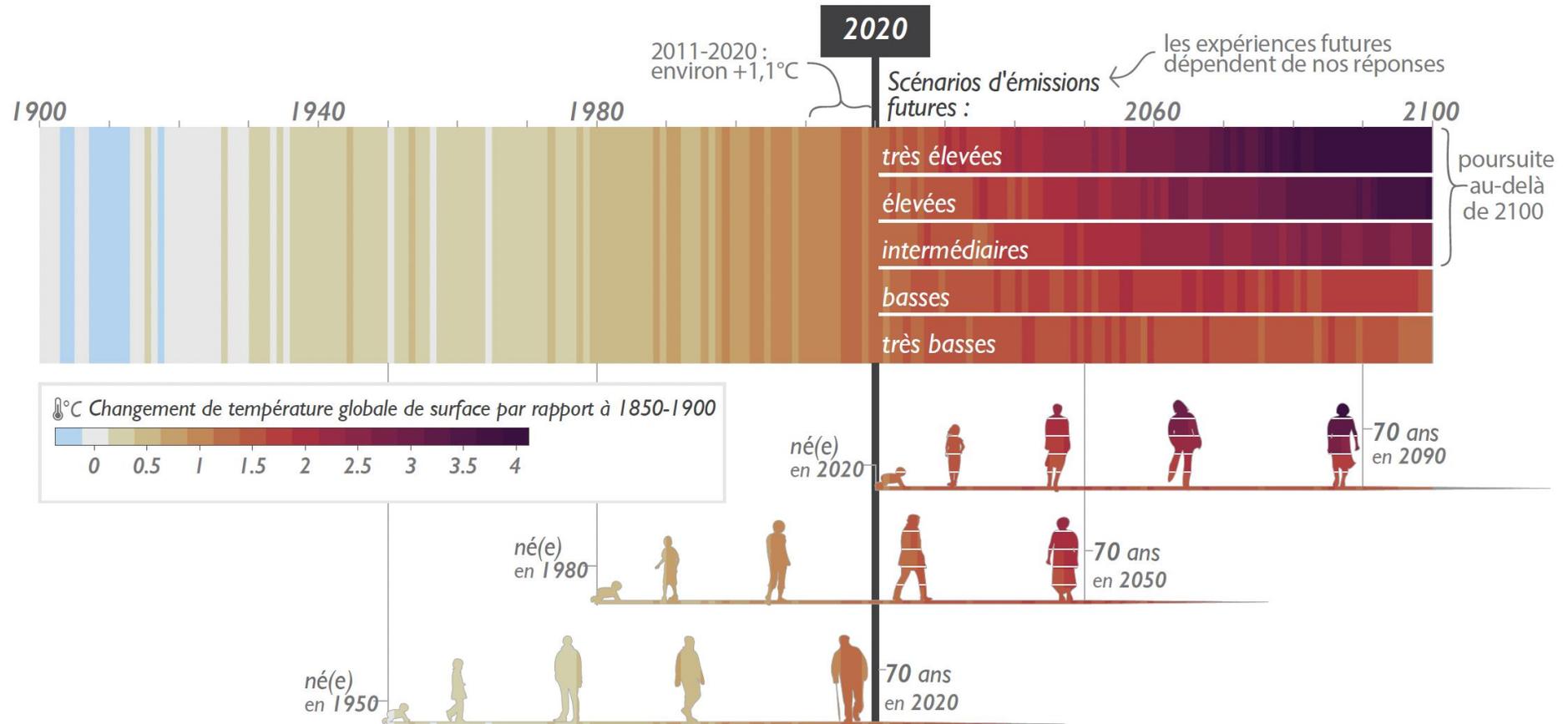


# Changement climatique, enjeux de transformations

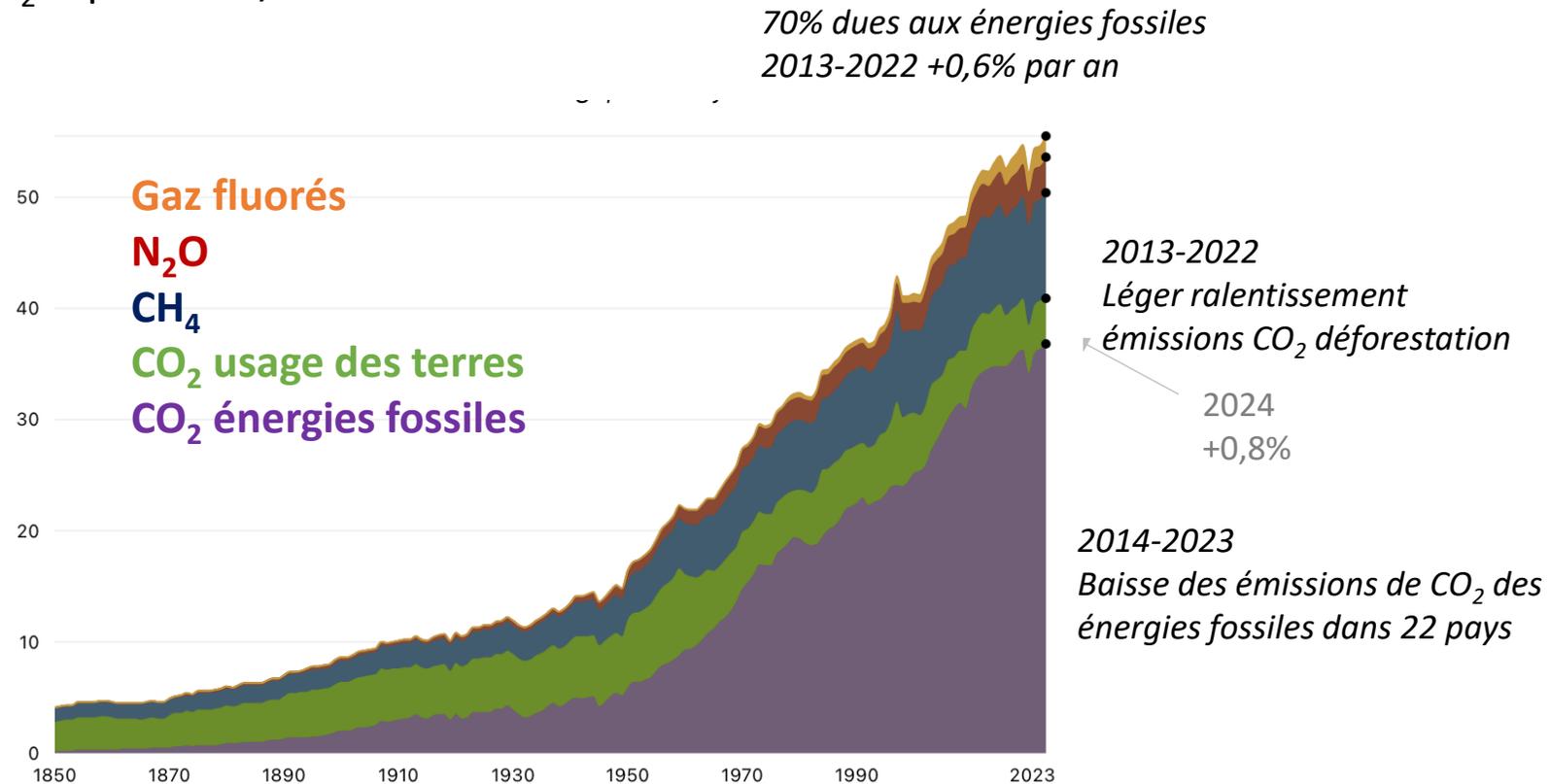
Rapport synthèse  
AR6 GIEC, 2023



Valérie Masson-Delmotte  
IPSL/LSCE, Université Paris Saclay

# Les émissions mondiales de gaz à effet de serre issues des activités humaines sont à un niveau record, avec des contributions historiques et actuelles inégales

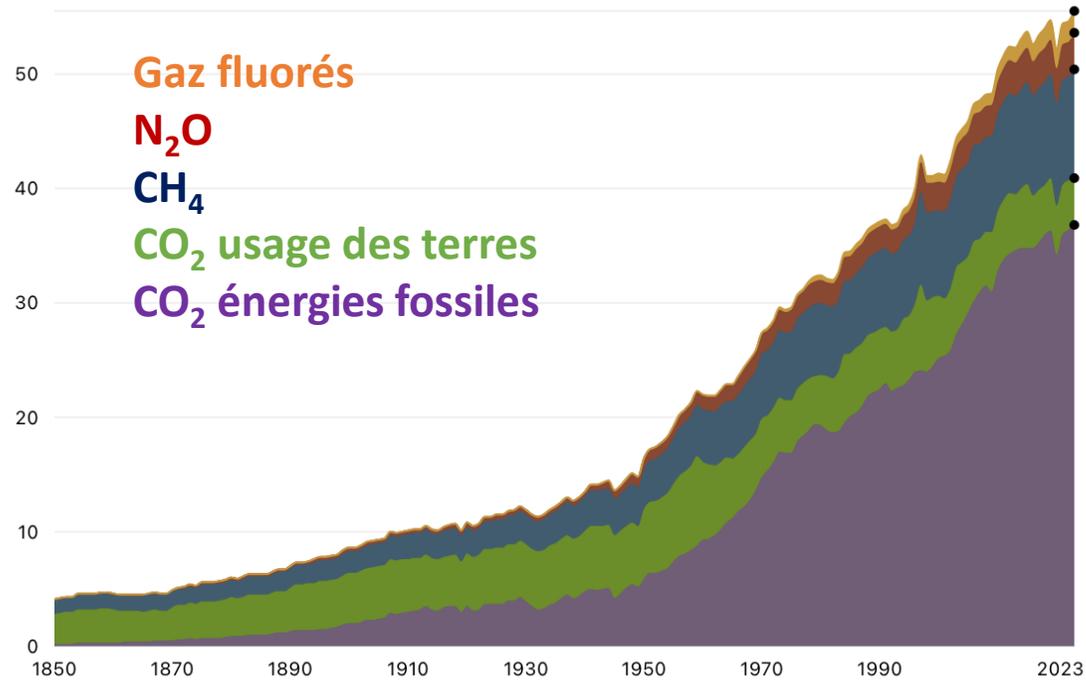
Milliards de tonnes CO<sub>2</sub>-équivalent / an



... conséquences de tendances non soutenables : énergie, terres, consommation, production, styles de vie

# Les émissions mondiales de gaz à effet de serre issues des activités humaines sont à un niveau record, avec des contributions historiques et actuelles inégales

Milliards de tonnes CO<sub>2</sub>-équivalent / an



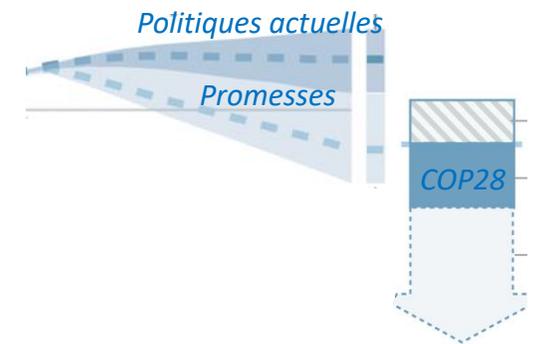
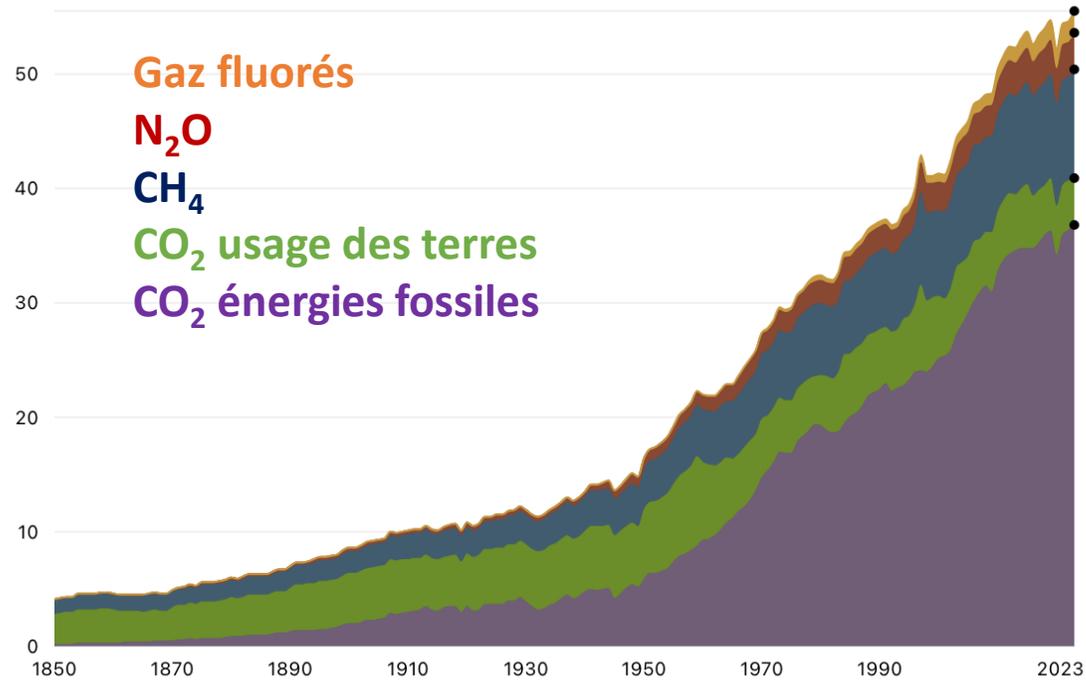
*Puits terrestre  
(effet climat -27%)*

*Puits océanique  
stagne depuis 2016  
(effet climat -6%)*



# Les émissions mondiales de gaz à effet de serre issues des activités humaines sont à un niveau record, avec des contributions historiques et actuelles inégales

Milliards de tonnes CO<sub>2</sub>-équivalent / an

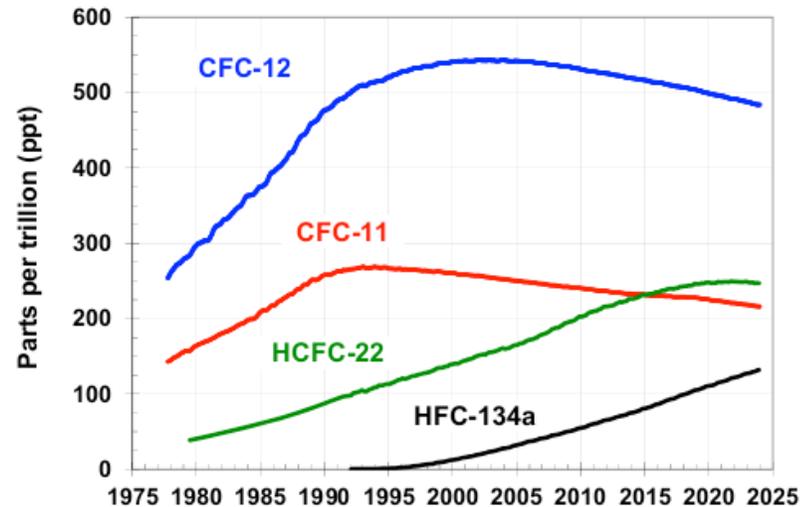
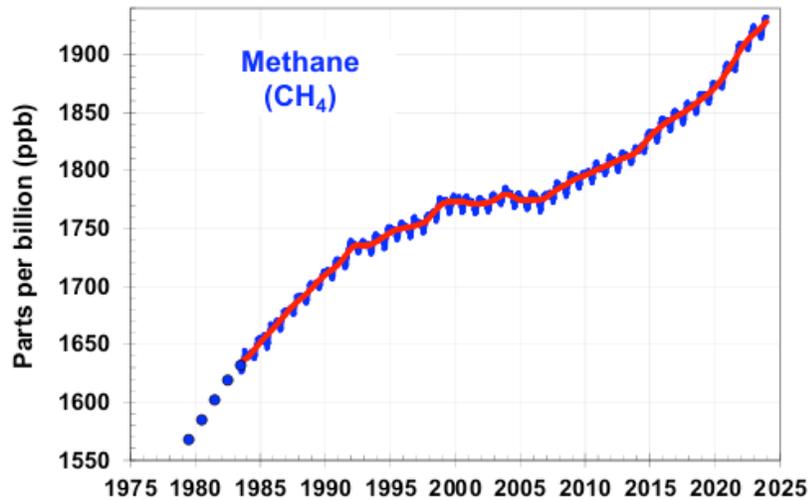
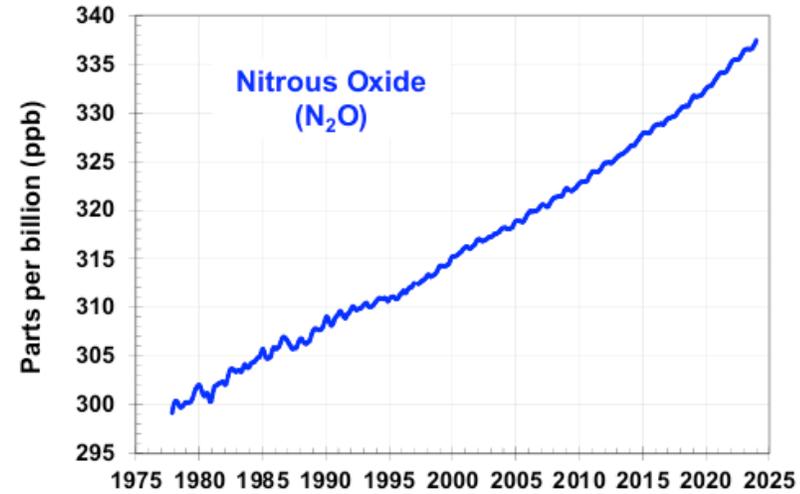
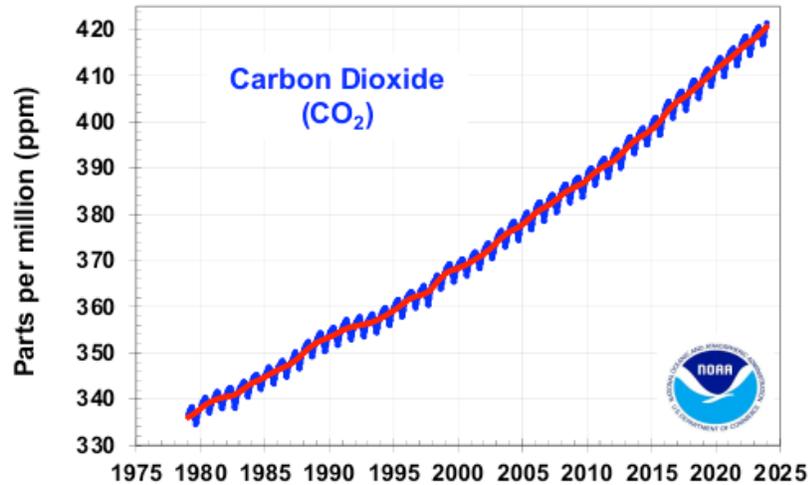


décennie critique



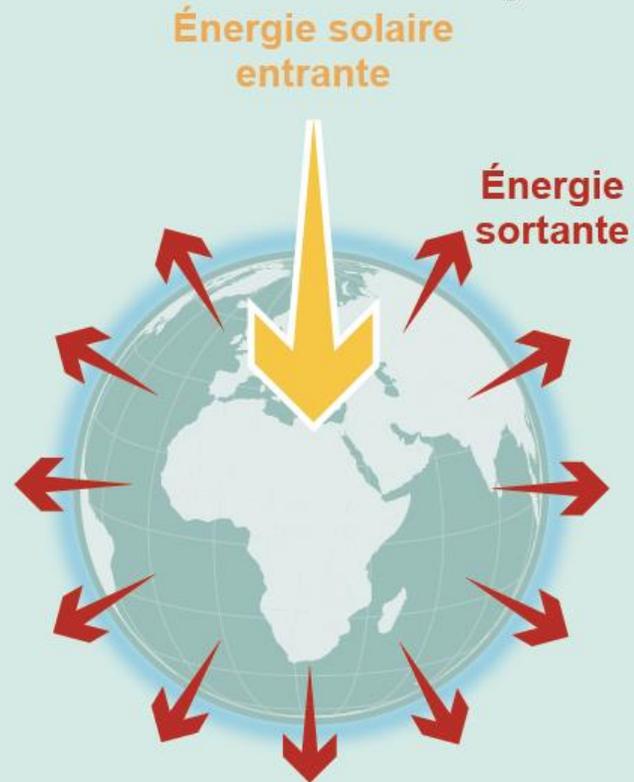
2030

# Les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmentent

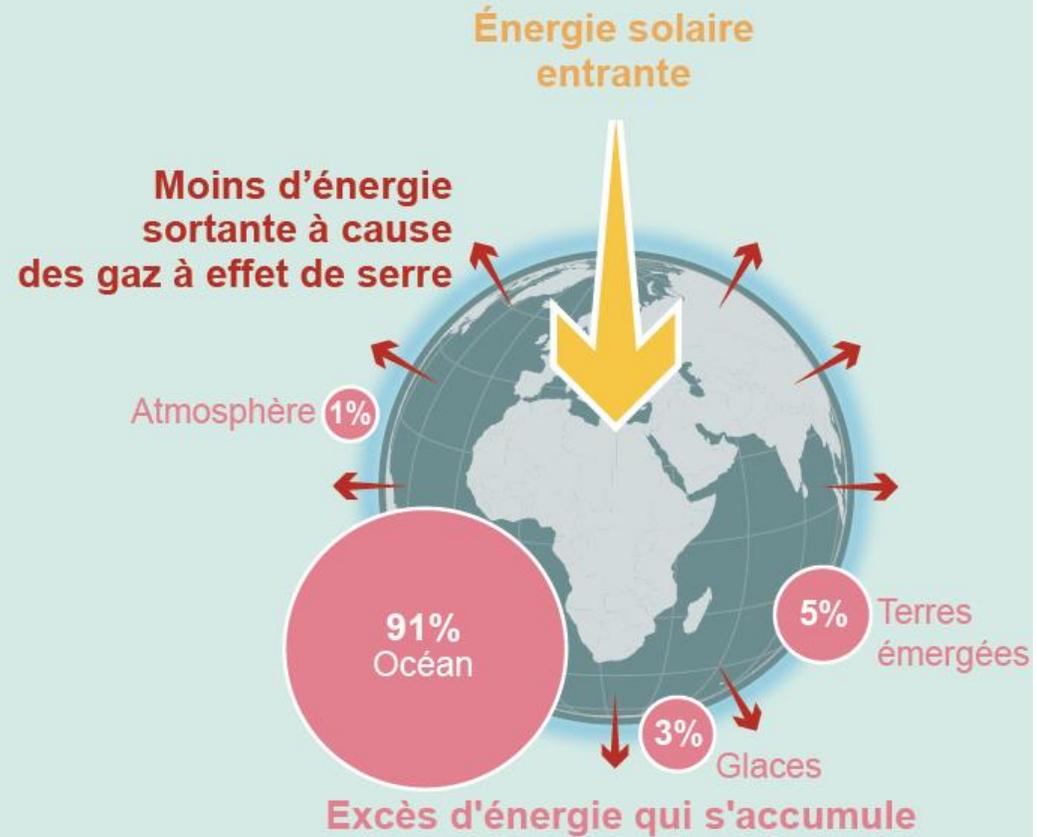


# L'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne une accumulation de chaleur et des changements généralisés

## Climat stable : en équilibre



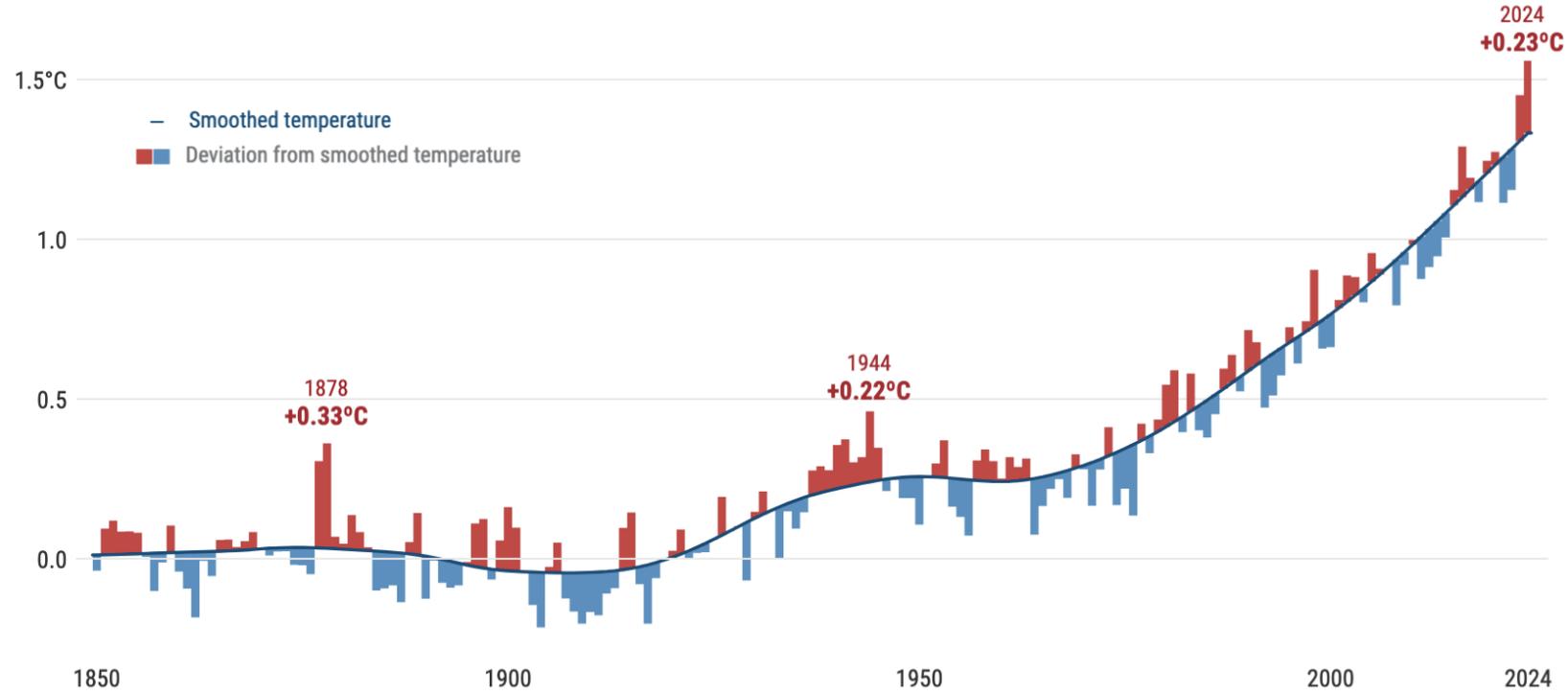
## Aujourd'hui : en déséquilibre





# Le climat se réchauffe à un rythme rapide

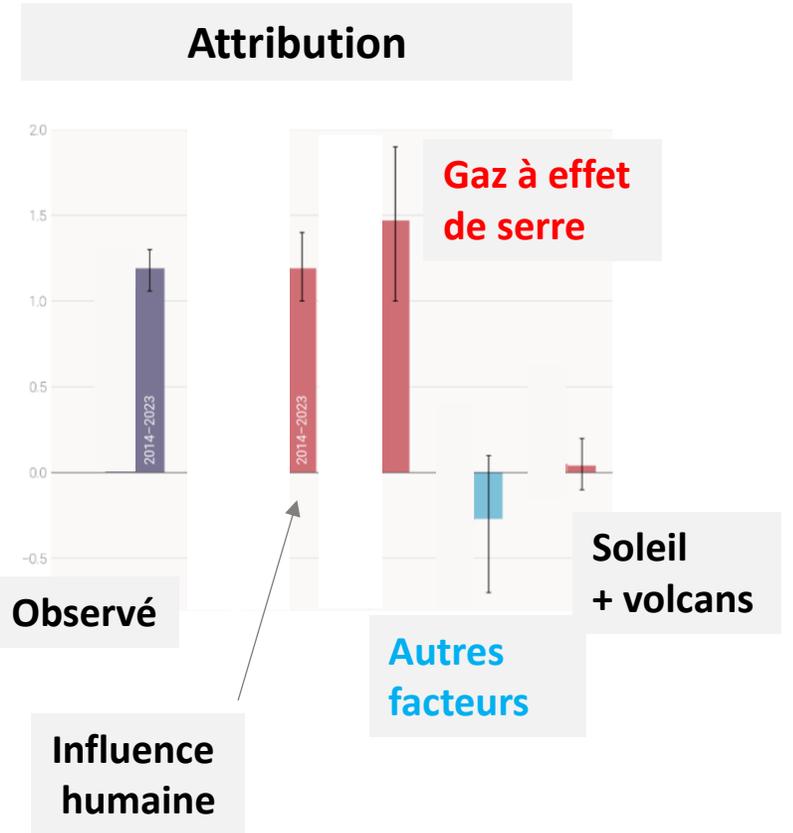
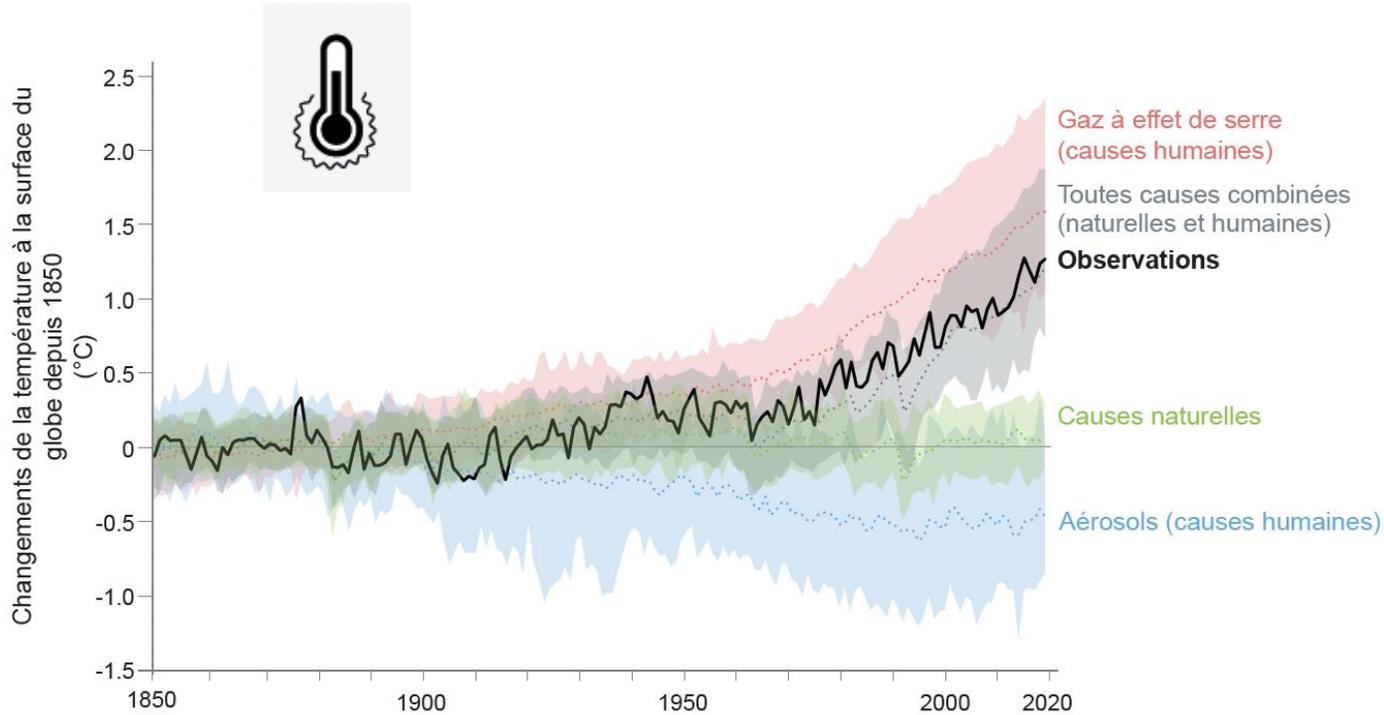
Data: average of Berkeley Earth, ERA5, GISTEMPv4, HadCRUT5, JRA-3Q, NOAA GlobalTempv6 • Reference period: pre-industrial (1850–1900) • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION



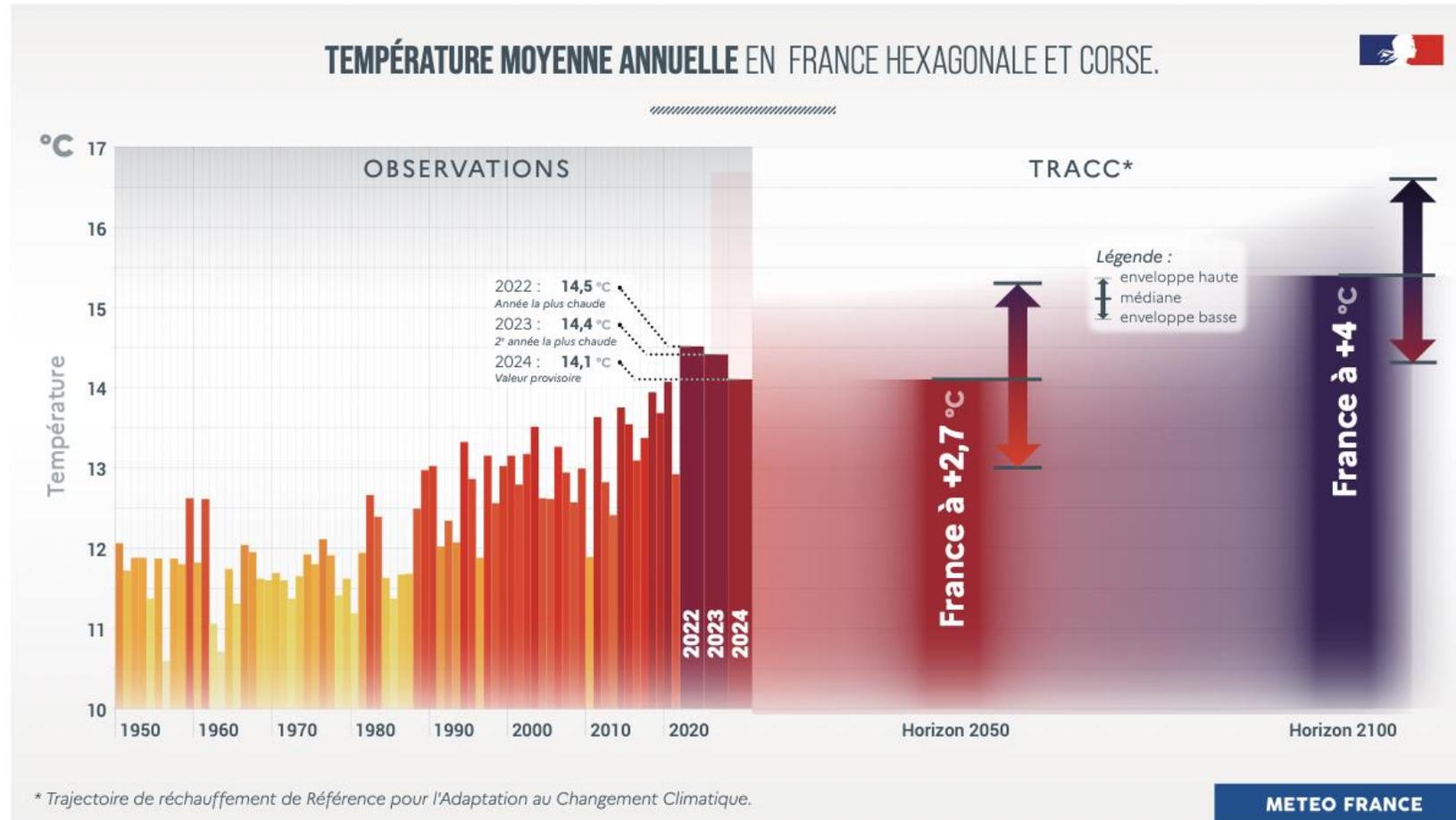
# Le réchauffement est dû aux activités humaines



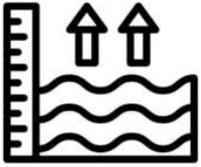
*Amplification de la réponse du climat (nuages bas)*



# Le réchauffement est particulièrement prononcé au-dessus du continent européen

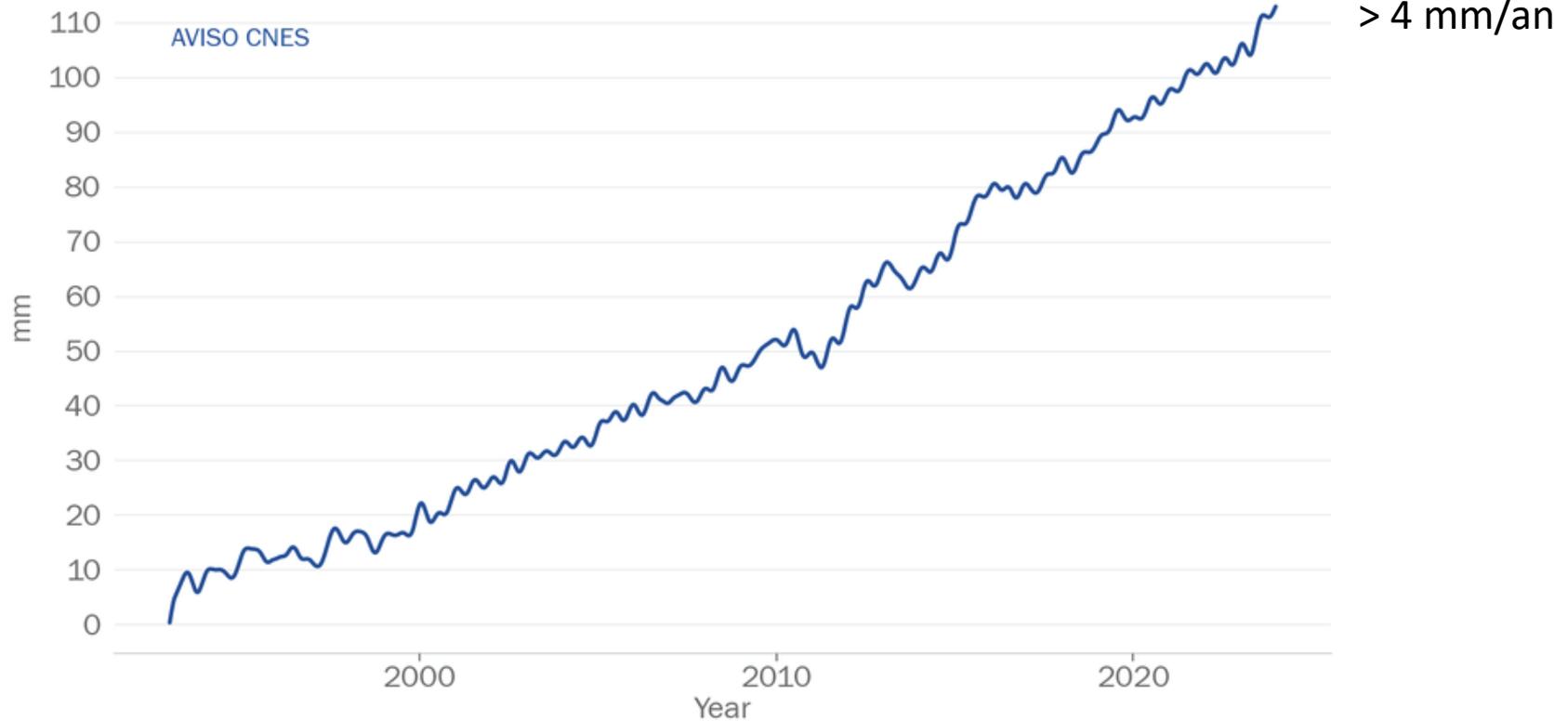


2013-2023  
monde +1,2°C  
Europe +2,2°C

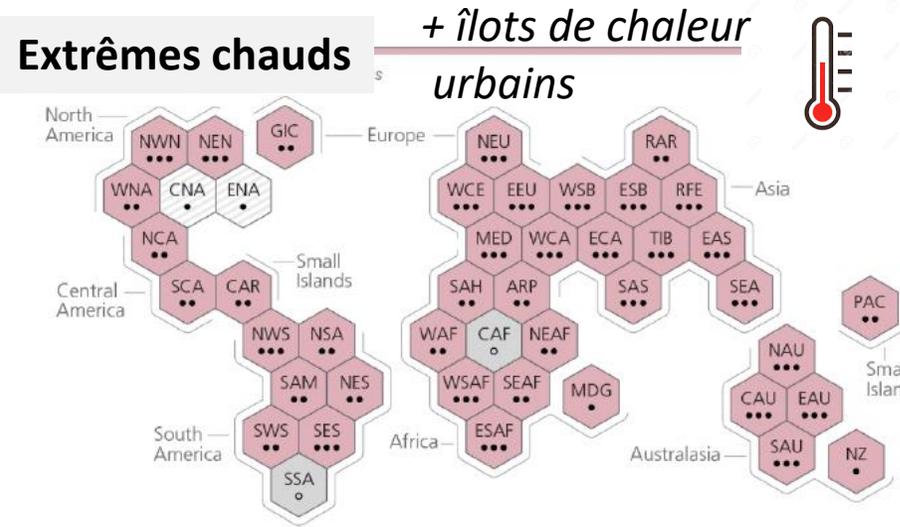


## Accélération de la montée du niveau moyen de la mer

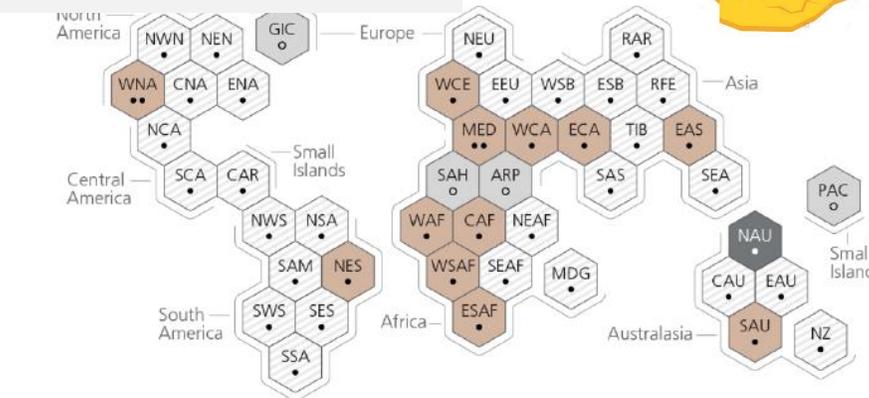
Changements depuis 1993



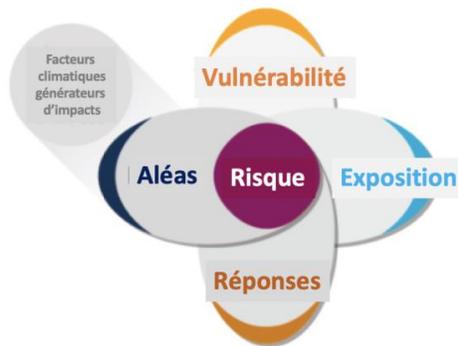
# Le réchauffement dû aux activités humaines entraîne des événements extrêmes plus fréquents et plus intenses



## Sécheresses agricoles

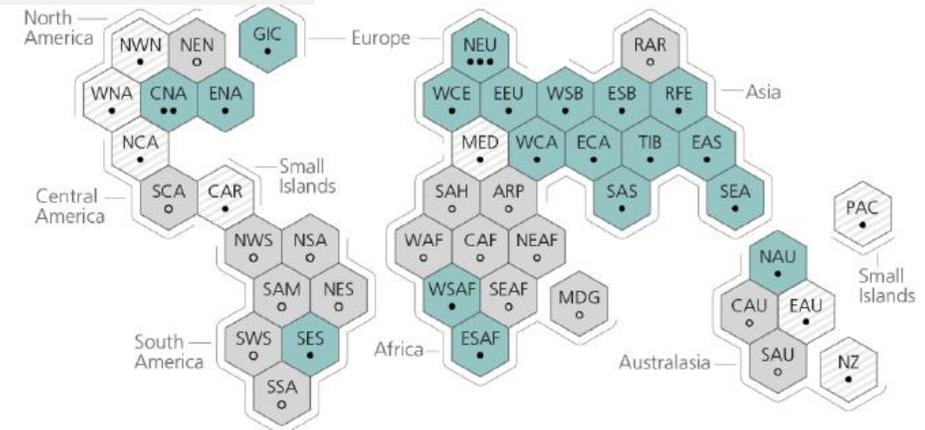


Voir : <https://www.worldweatherattribution.org>  
<https://www.climameter.org/>



## Pluies extrêmes

*+ ruissellement*



3,3 – 3,6 milliards de personnes dans des contextes de vulnérabilité élevée au changement climatique  
 La moitié de la population mondiale fait face à de graves pénuries d'eau

# Le changement climatique s'ajoute aux autres pressions sur les écosystèmes et ses impacts s'aggravent



# Généralisation d'impacts et pertes et dommages

## Disponibilité en eau et production agricole



Pénurie d'eau  
Rendements des cultures  
Santé productivité des animaux d'élevage  
Rendements pêcheries, aquaculture

## Santé et bien-être

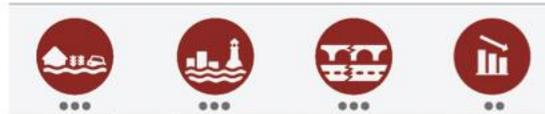


Maladies infectieuses  
Hyperthermie malnutrition et blessures liées aux feux  
Santé mentale  
Déplacements

En Europe, l'adaptation progresse mais demeure insuffisante face à la rapidité des changements

En France, diminution du puits de carbone des forêts gérées

## Villes et infrastructures



Inondations  
Inondations zone côtières  
Dommages infrastructures  
Dommages économiques

## Biodiversité et écosystèmes



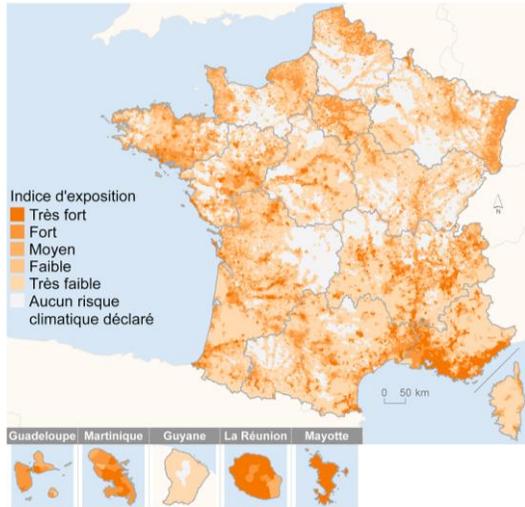
Ecosystèmes terrestres  
Ecosystèmes d'eau douce  
Ecosystèmes océaniques



**Les facteurs climatiques générateurs d'impacts vont s'accroître avec chaque incrément de réchauffement**



# La France est particulièrement exposée



Source : MTEs, Gaspar, 2017 – Insee, RP, 2014 – © IGN, BD Carto®, 2016  
Traitements : SDES, 2019

- Santé publique
- Approvisionnement en eau
- Production agricole
- Habitabilité
- Vulnérabilités importantes
- Inégalités d'expositions
- Limites de capacités d'adaptation
- Coûts économiques
- Assurabilité



TENIR LE CAP  
DE LA DÉCARBONATION,  
■ **PROTÉGER LA POPULATION**

ACCÉLERER LA TRANSITION CLIMATIQUE  
**AVEC UN SYSTÈME ALIMENTAIRE**  
■ **BAS CARBONE, RÉILIENT ET JUSTE**

# Enjeux pour la santé



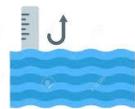
## Stress thermique

*Mortalité, morbidité  
Productivité au travail  
Activité physique, bien-être  
Performances cognitives*



## Evènements extrêmes

*Santé physique et mentale  
Accès aux services de santé  
Pathogènes aquatiques*



**Production agricole**  
*Insécurité alimentaire  
Malnutrition*



## Aires de répartition

*Vecteurs de maladies*



## Polluants atmosphériques

**Allergènes**



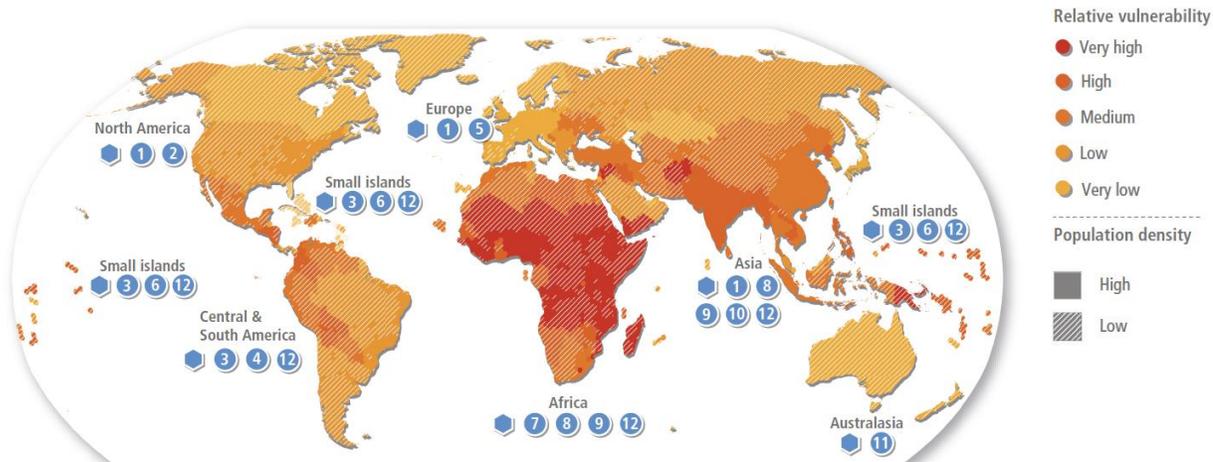
## Santé mentale

*Traumatismes évènements extrêmes / déplacement  
Pertes de repères culturels  
Chagrin environnemental (solastalgie)  
Par procuration (éco-anxiété)*

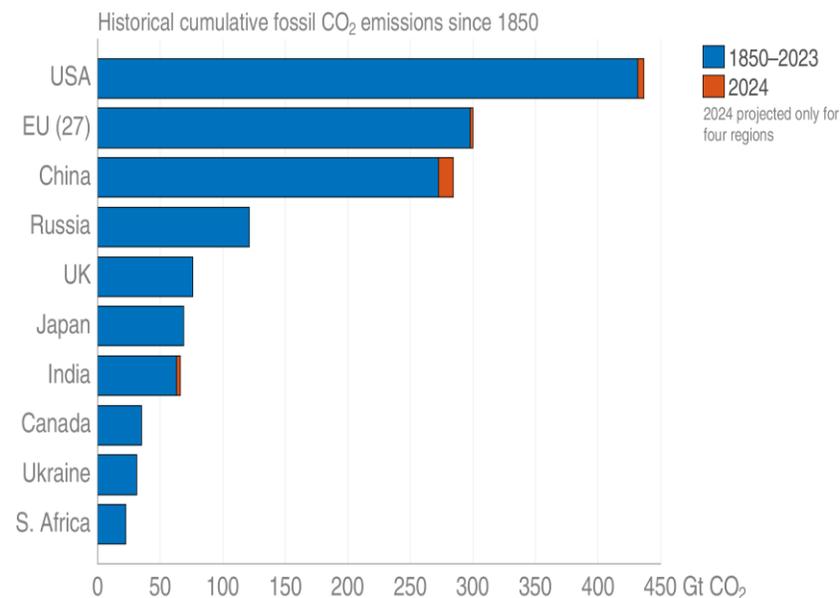


# Les communautés les plus vulnérables, qui ont historiquement le moins contribué au réchauffement actuel, sont affectées de manière disproportionnée

Indice de vulnérabilité humaine par pays



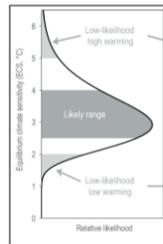
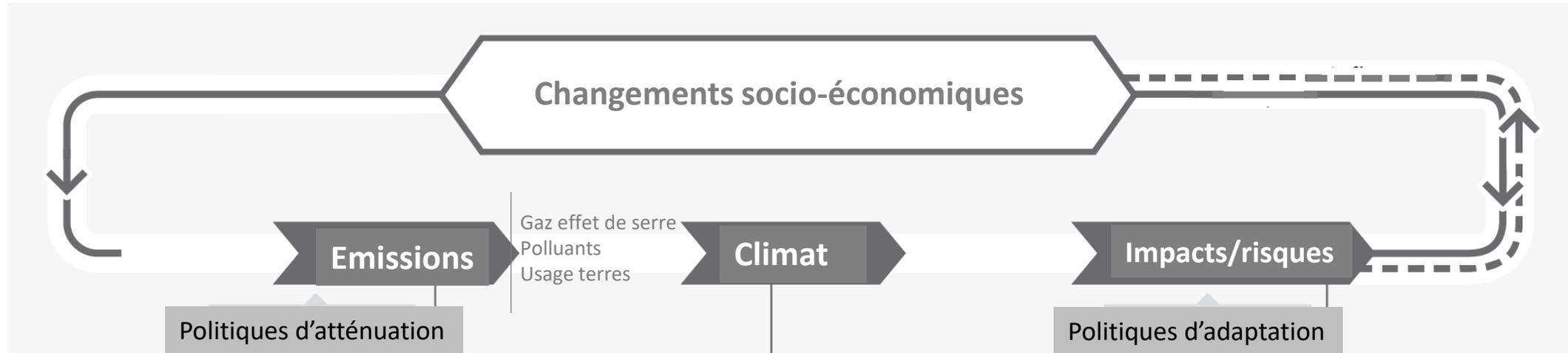
Cumul historique des émissions de CO<sub>2</sub>



Enjeux de justice climatique

<https://www.icj-cij.org/fr/affaire/187>

# Trajectoires de transformations intégrant atténuation, adaptation et soutenabilité



Rétroactions du climat et du cycle du carbone  
Niveau de réchauffement planétaire



**Des réponses inadéquates peuvent devenir des risques**

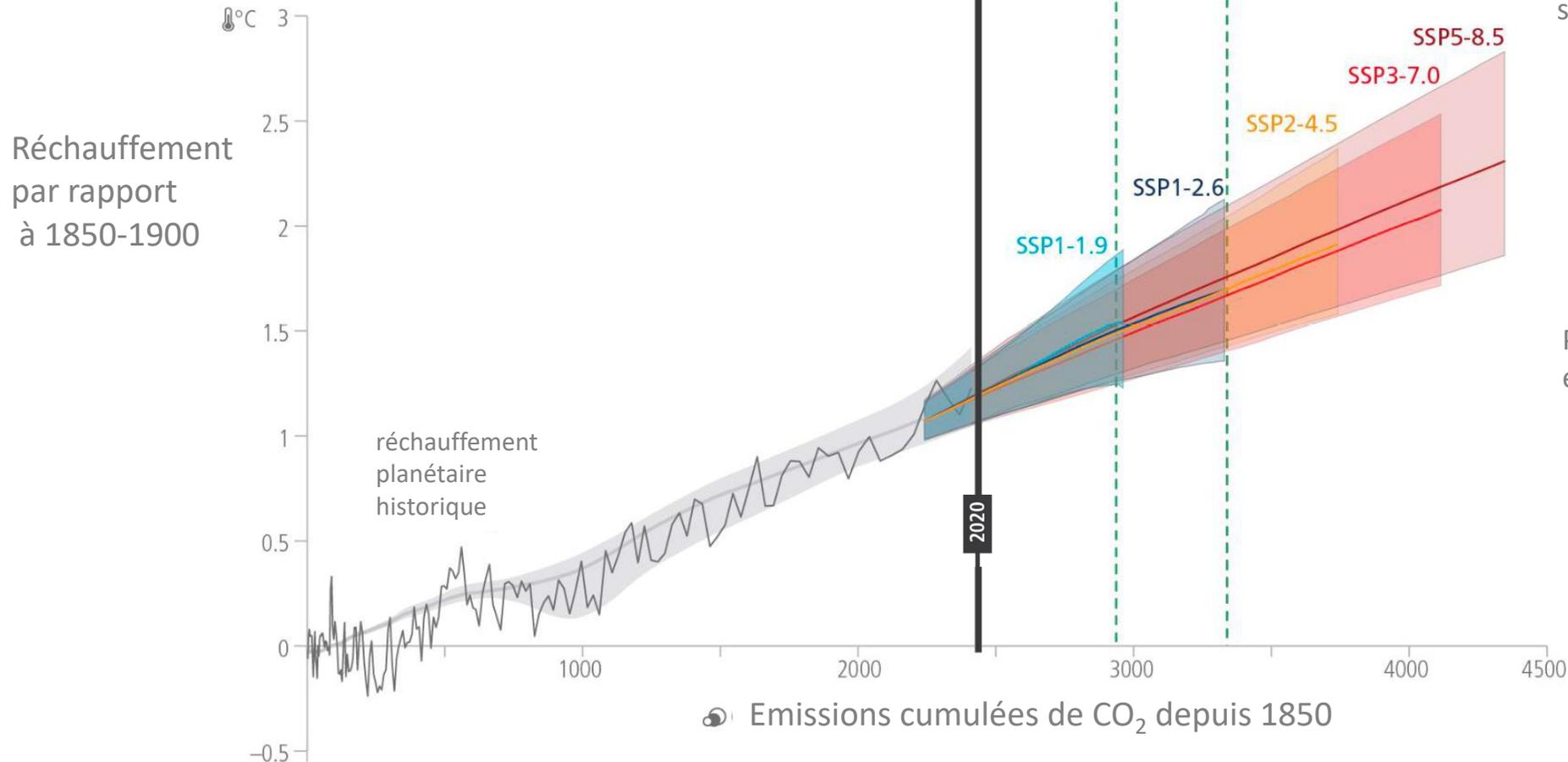
*transition juste*

*maladaptation*

*biomasse, pressions sur les terres*

# Le réchauffement à venir dépend des émissions à venir

## Emissions cumulées de CO<sub>2</sub> et réchauffement d'ici 2050



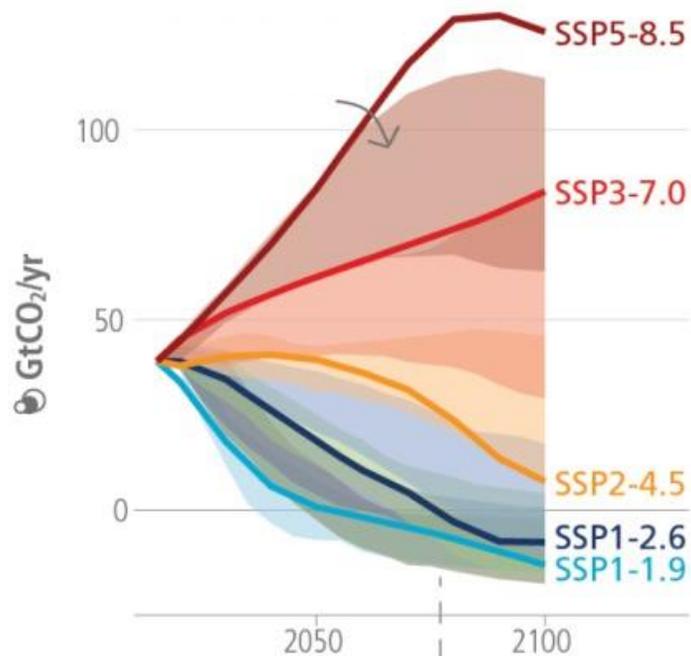
Si émissions de CO<sub>2</sub> à zéro net :  
pas de réchauffement supplémentaire

Au-delà de 2050 (+2°C) :  
perte d'efficacité de la réponse naturelle des puits de carbone

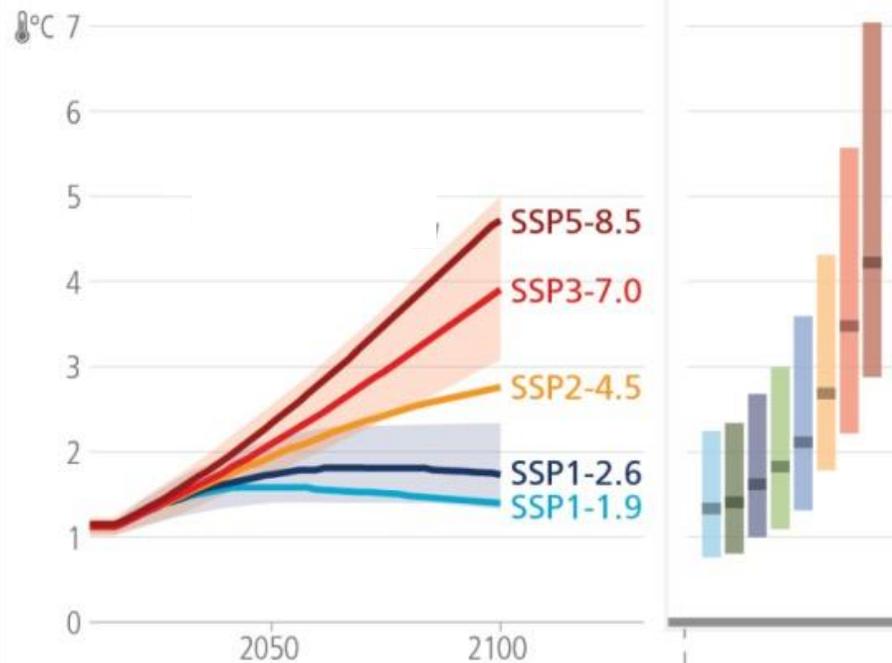
Pertes d'options d'adaptation et/ou d'atténuation > 1,5°C

# Le réchauffement à venir dépend des émissions à venir

## Emissions scénarios et trajectoires



## Changement de température de surface planétaire

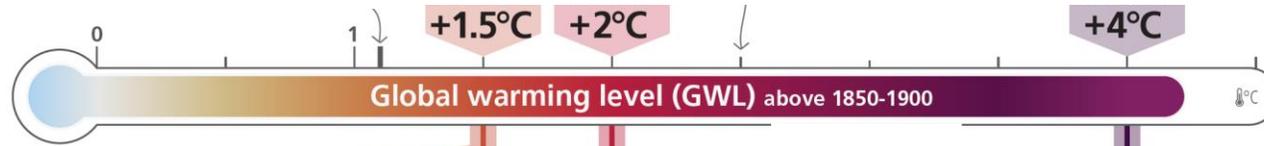


*en cas de forte baisse des émissions, des effets discernables d'ici environ 20 ans sur la température planétaire*

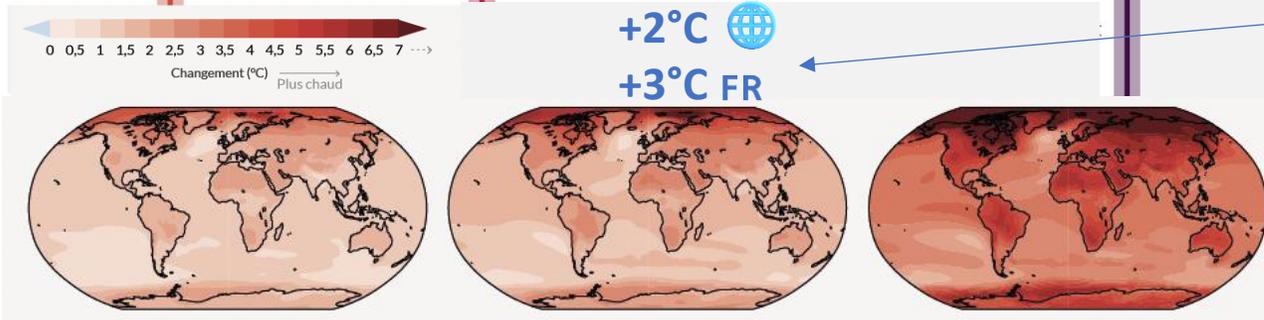
*modulations par la variabilité naturelle*

# Pour chaque incrément de réchauffement supplémentaire, les changements régionaux de climat moyen deviennent plus généralisés et plus prononcés

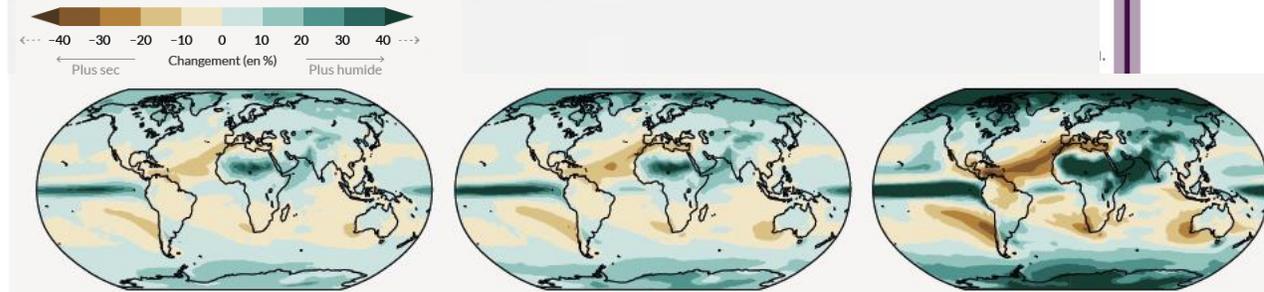
Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900



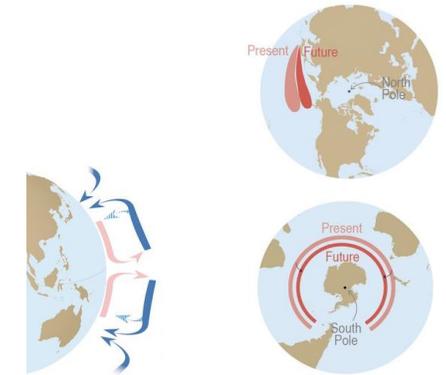
Changement de la température moyenne annuelle



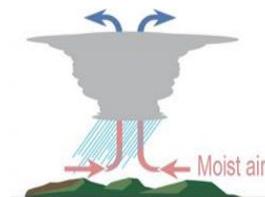
Changement de précipitations moyennes annuelles



température record (2022) = année moyenne

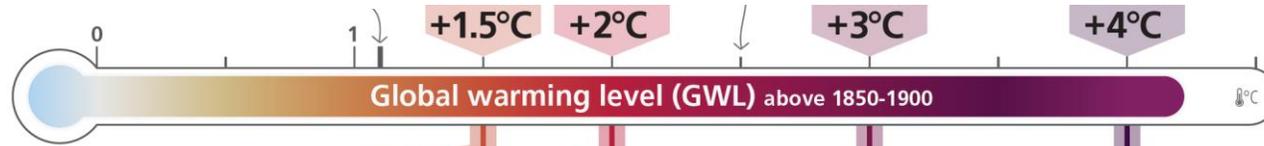


De faibles changements en valeur absolue peuvent sembler larges (en %) dans les régions arides

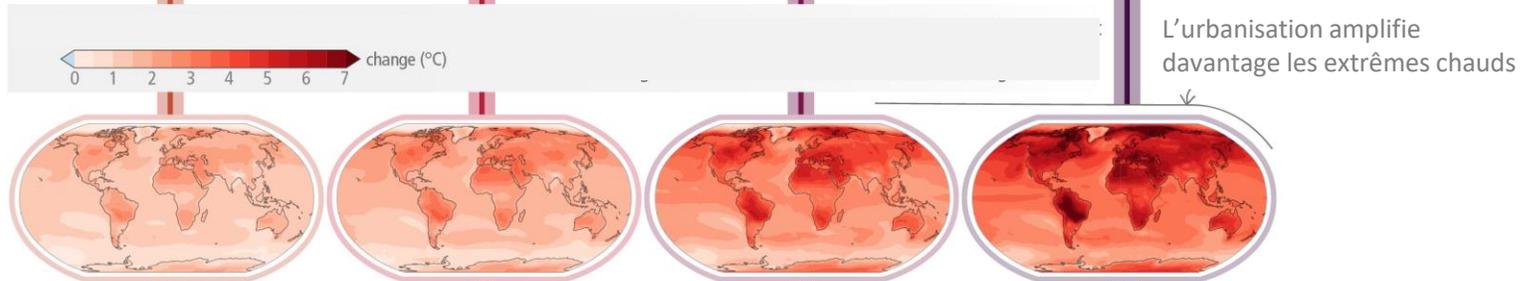


# Pour chaque incrément de réchauffement supplémentaire, les changements régionaux de climat moyen et d'extrêmes deviennent plus généralisés et plus prononcés

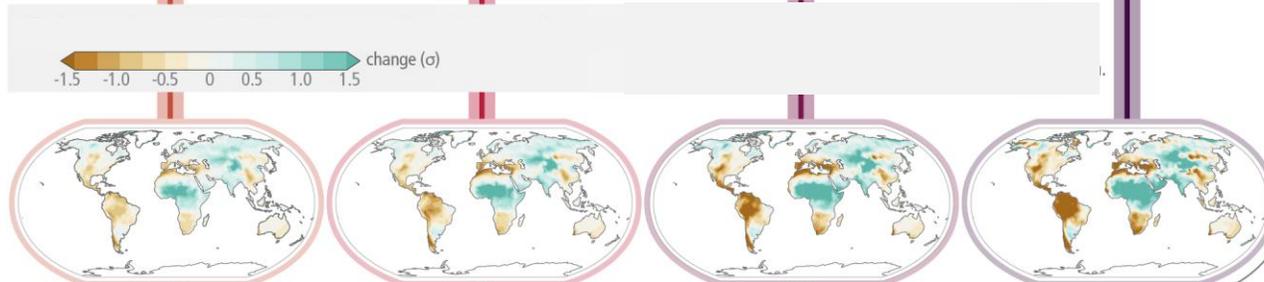
Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900



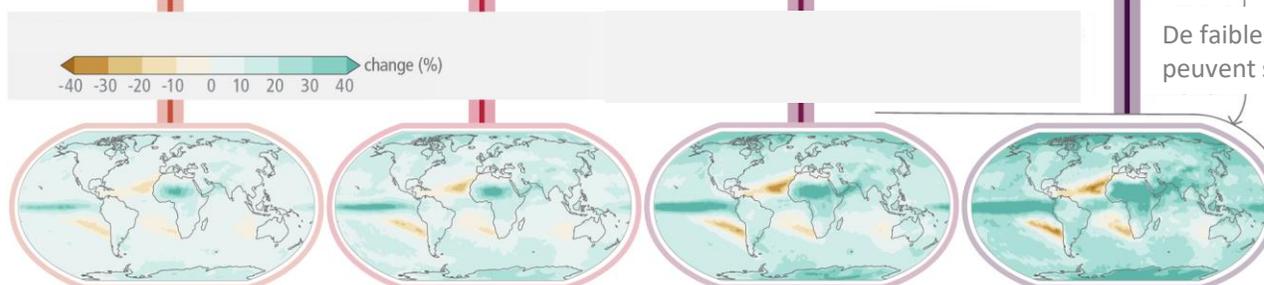
Changement de la température du jour le plus chaud



Changement de l'humidité des sols (moyenne annuelle)



Changement de précipitations pour le jour le plus pluvieux

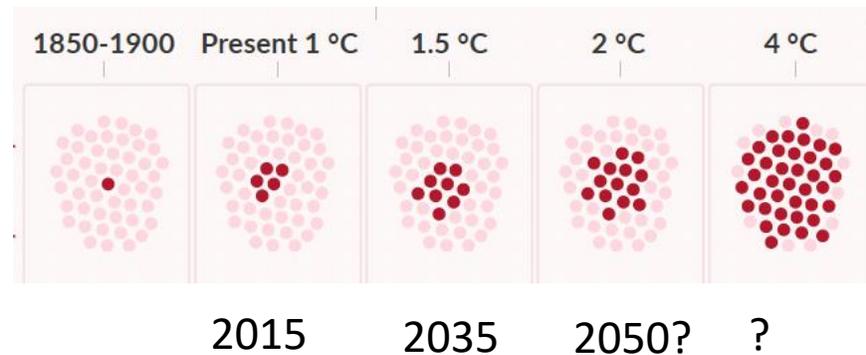
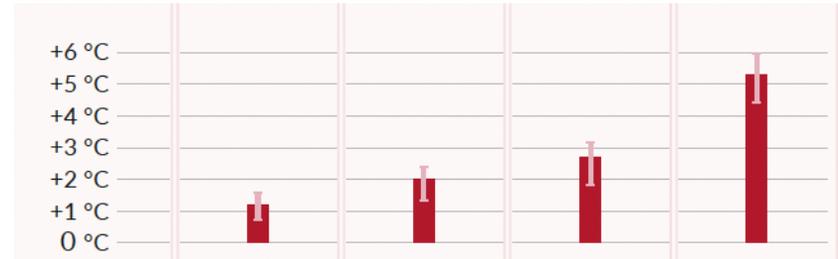


# Les changements de multiples facteurs climatiques générateurs d'impacts vont s'accroître avec chaque incrément de réchauffement planétaire

Chaleur extrême

+ intense

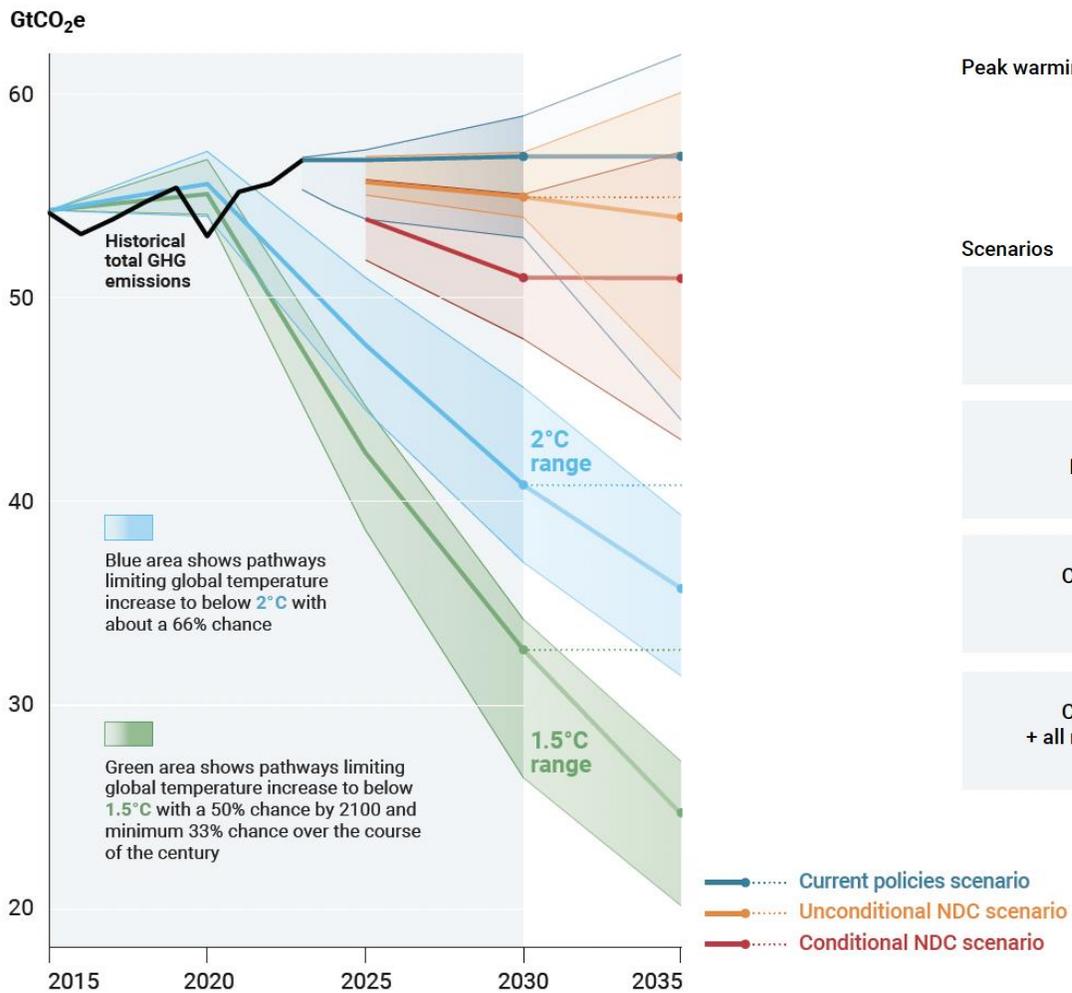
+ fréquente



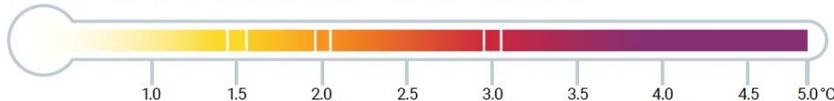
Anticiper 50°C à Paris



# Implications des efforts d'atténuation

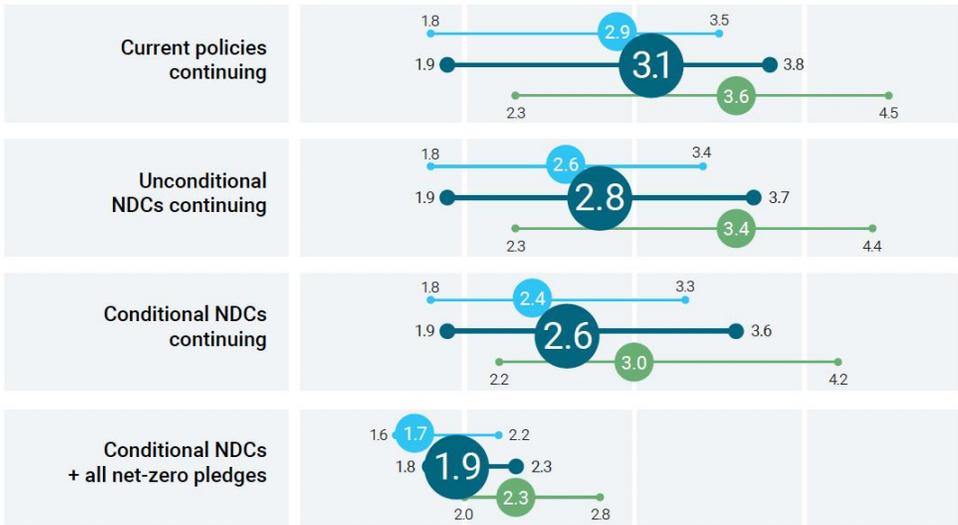


Peak warming over the twenty-first century (°C) relative to pre-industrial levels

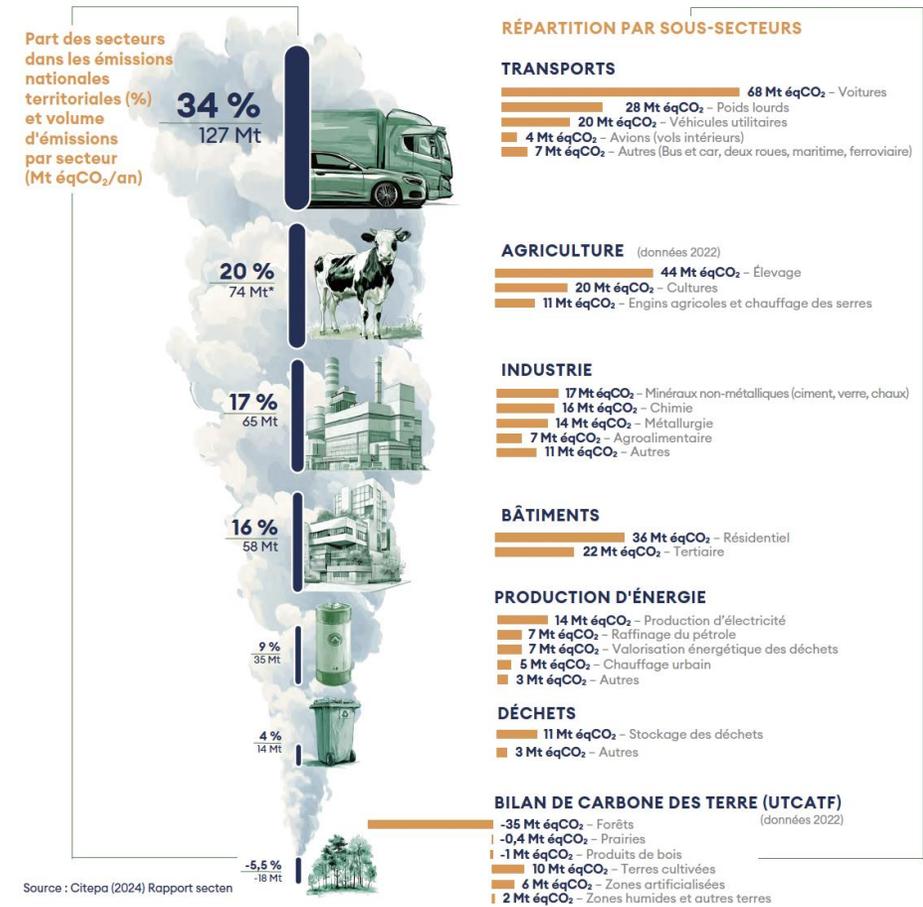
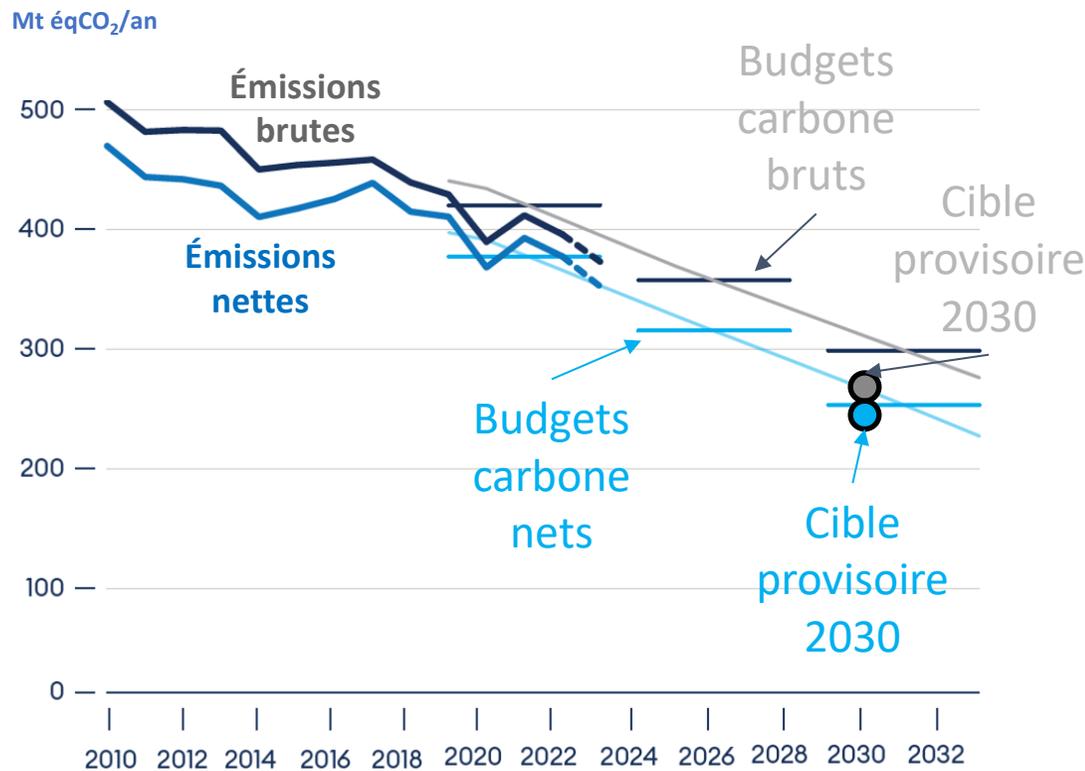


Scenarios

50% chance 66% chance 90% chance



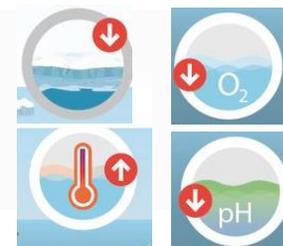
# La baisse des émissions de gaz à effet de serre s'est amplifiée en France, garder le cap est essentiel pour tenir les objectifs 2030 et atteindre la neutralité carbone en 2050



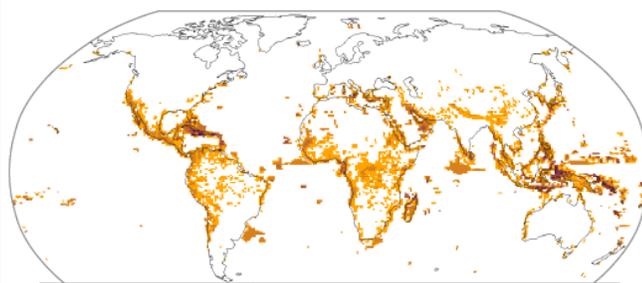
Pour tenir les objectifs, rythme x1,3

Points de vigilance : transports, rénovation thermique, gestion des forêts, déchets

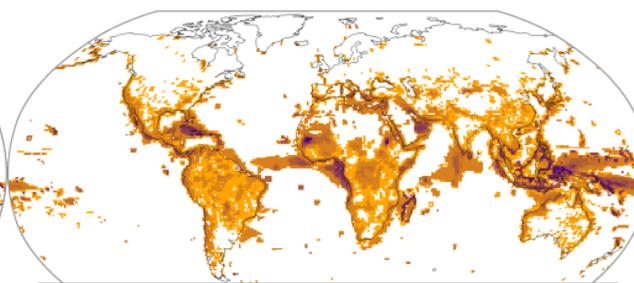
# Risques clés : écosystèmes et biodiversité



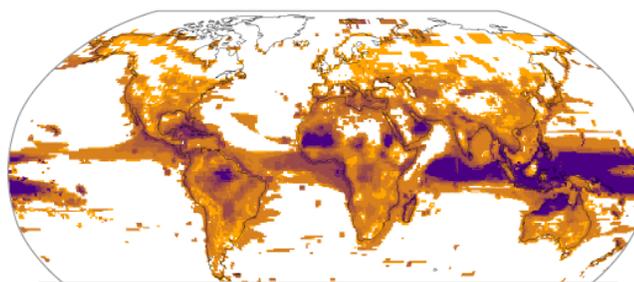
Pourcentage d'espèces animales exposées à des conditions de température potentiellement dangereuses



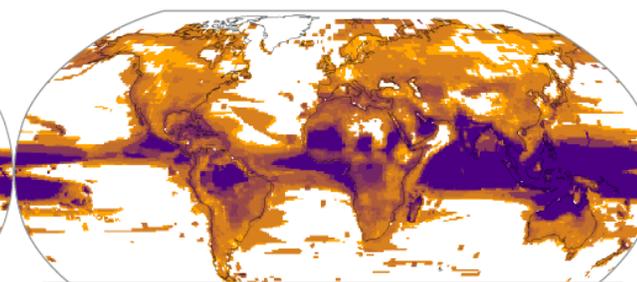
1.5°C



2.0°C



3.0°C



4.0°C

<sup>2</sup>Includes 30,652 species of birds, mammals, reptiles, amphibians, marine fish, benthic marine invertebrates, krill, cephalopods, corals, and seagrasses.

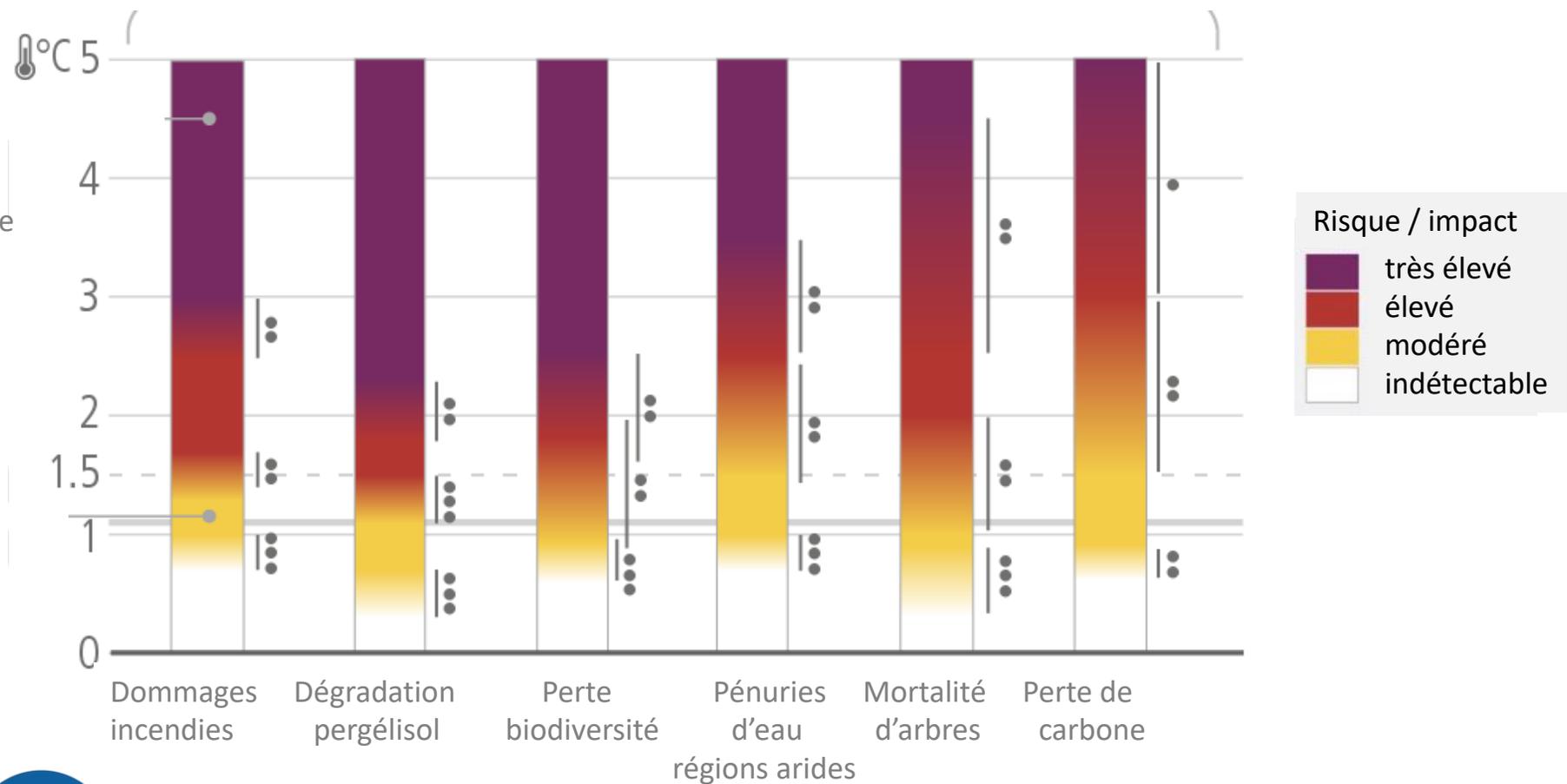


**Protéger les écosystèmes, réduire les autres pressions**

# Risques clés : écosystèmes terrestres

Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900

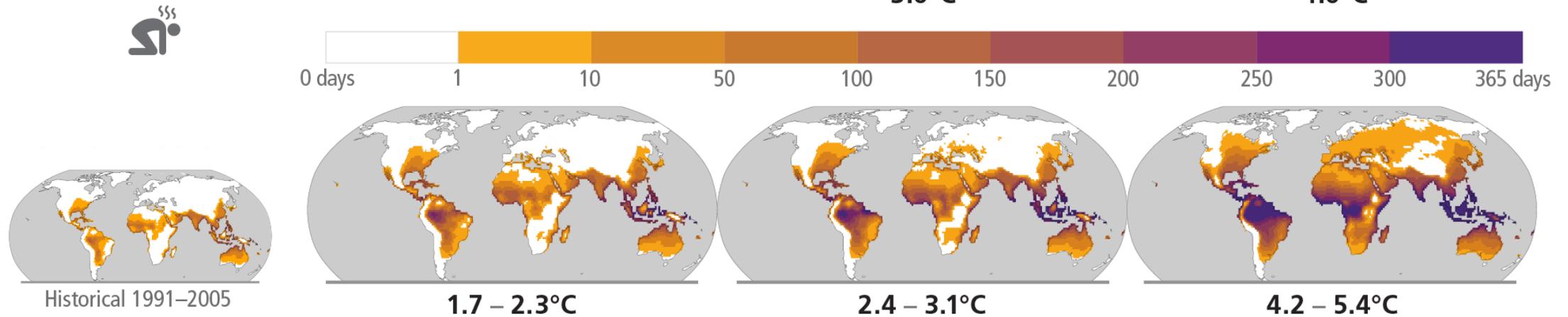
Risques pour les écosystèmes terrestres



Limites aux réponses liées à l'eau et aux écosystèmes

# Risques clés : santé humaine

Nombre de jours par an où les conditions de température et d'humidité exposent les individus à un risque mortel

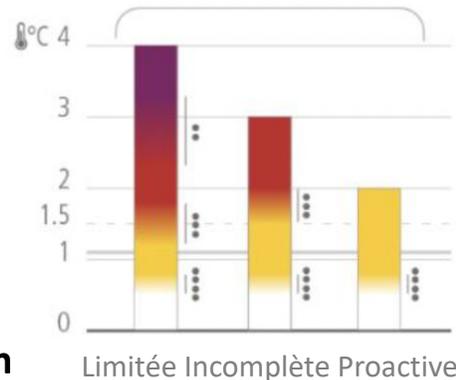


## Morbidité et mortalité liée à la chaleur

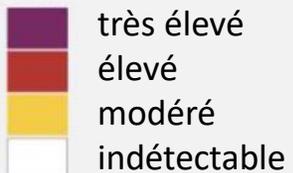
Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900



Adaptation



Risque / impact

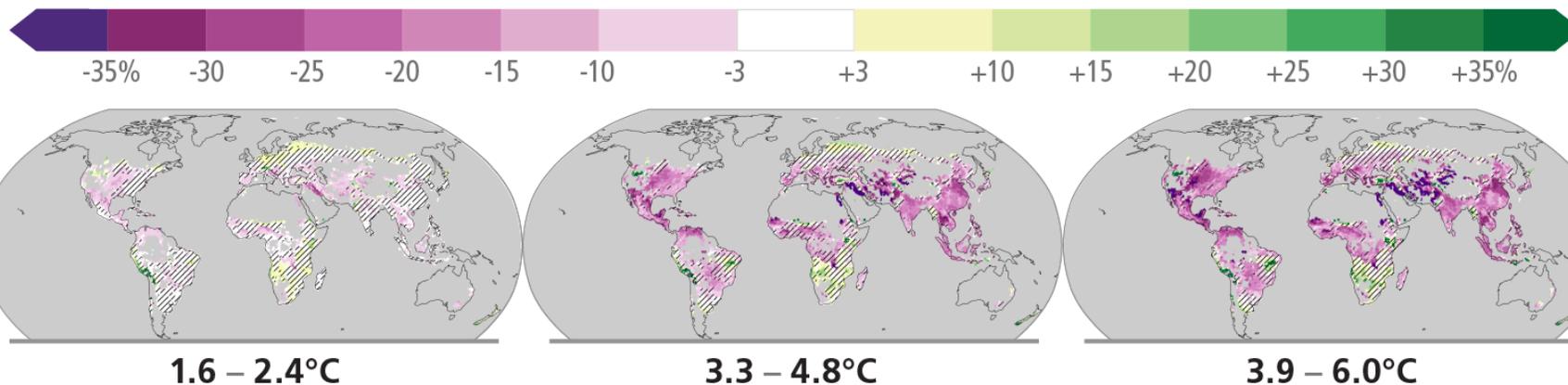


**Systèmes de santé  
Action pour le climat  
enjeu de santé publique**

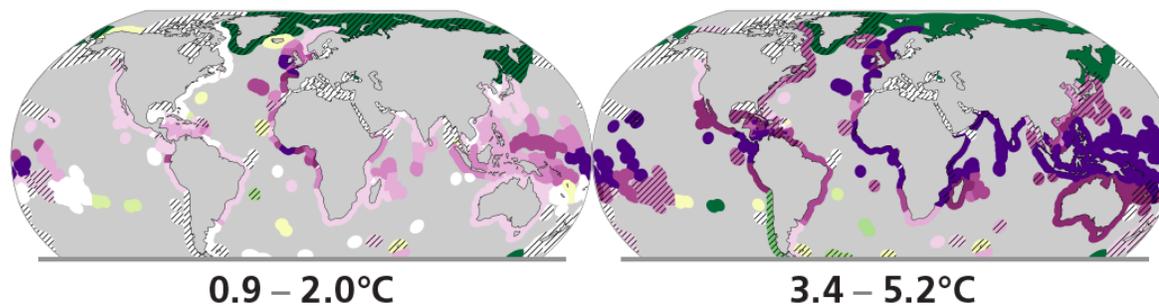
# Risques clés : production agricole, pêches



Rendement maïs (%)



Potentiel de prises de pêches (%)



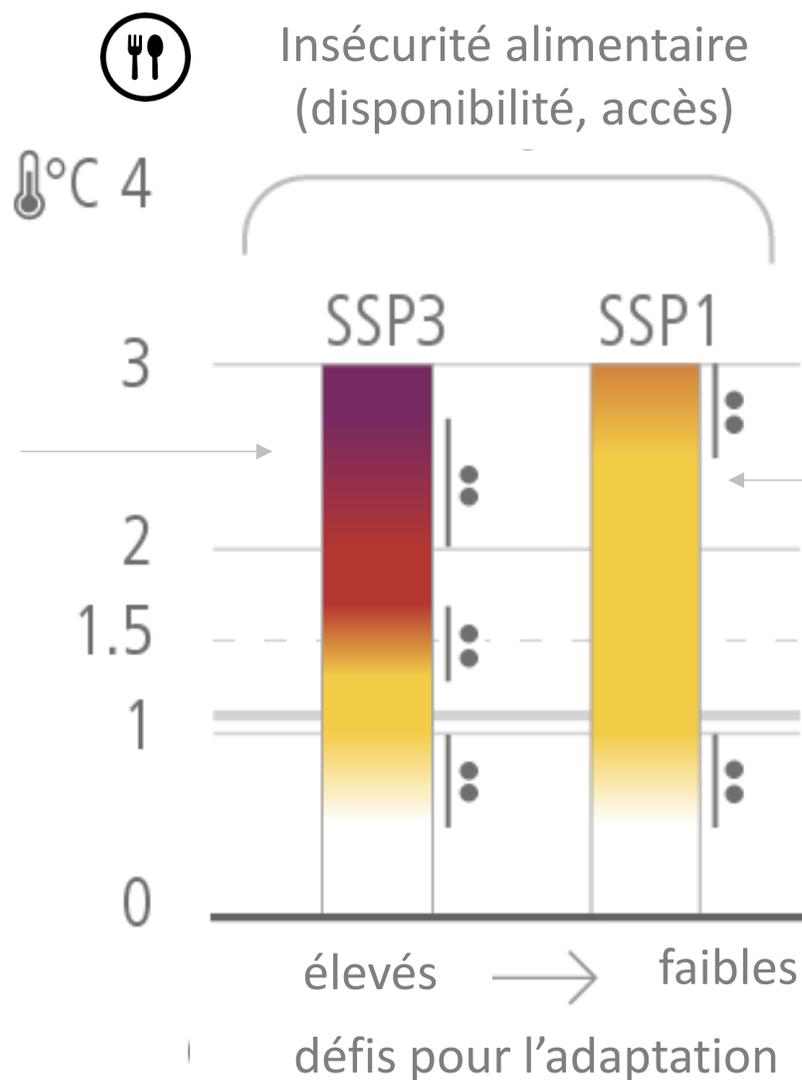
- Zones de faible production ou absence d'évaluation
- //// Zones de désaccord entre les modèles

*sans adaptation supplémentaire*



**Risques de + en + complexes et difficiles à gérer**

# Risques clés : insécurité alimentaire



**Risques amplifiés par les pressions sur l'utilisation des terres pour l'atténuation (biomasse, afforestation)**

faible croissance démographique  
réglementation efficace de l'utilisation des terres  
inégalités réduites, forte capacité d'adaptation  
systèmes de production alimentaire résilients et à faibles émissions, régimes alimentaires sains et durables



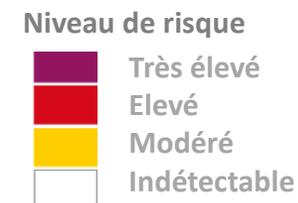
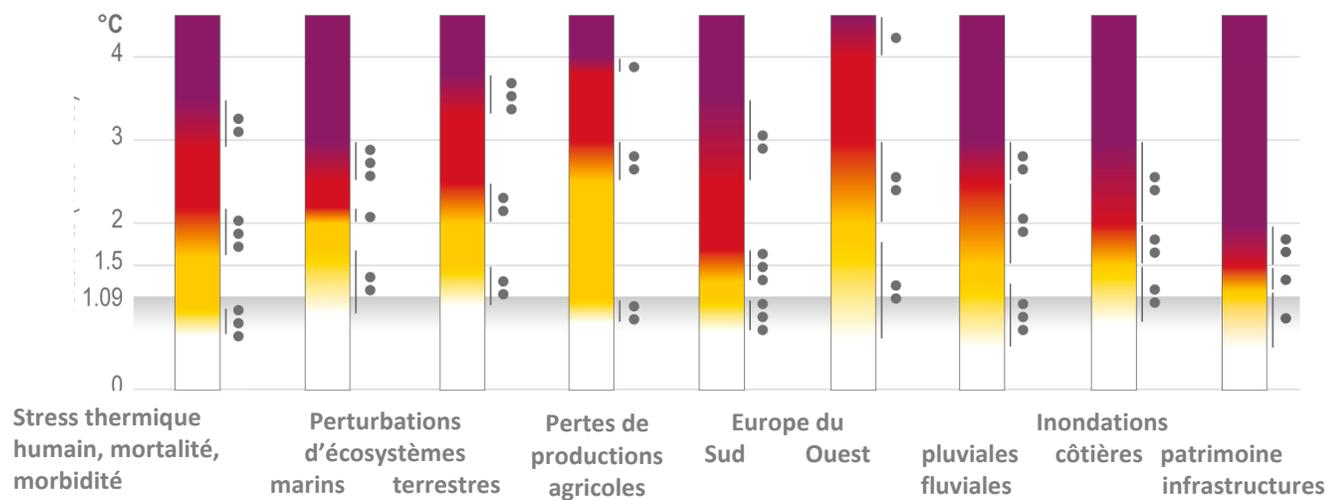
**Transformations des systèmes alimentaires**

# Risques clés : Europe et petites îles

Risques clés en Europe pour une adaptation basse à moyenne

+ *risques en cascade*

Niveau de réchauffement planétaire (par rapport à 1850-1900)



**Extrêmes chauds**



**Agriculture**



**Pénurie d'eau**



**Inondations**



Dégradation écosystèmes et ressources



Récifs coralliens



Stress hydrique



Insécurité alimentaire



Inondations (santé, culture)



Habitabilité

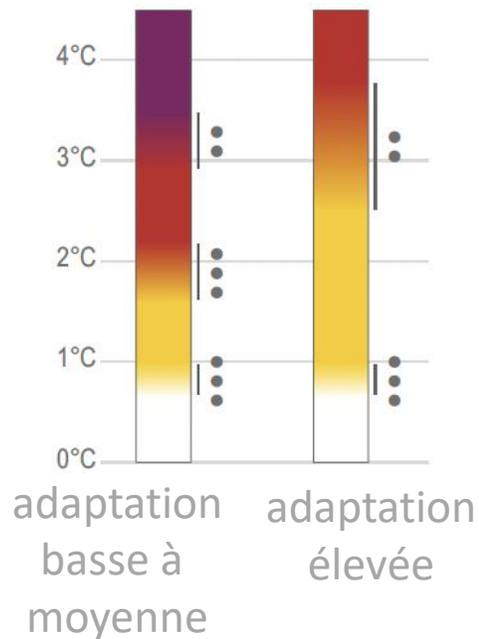


Pertes et dommages

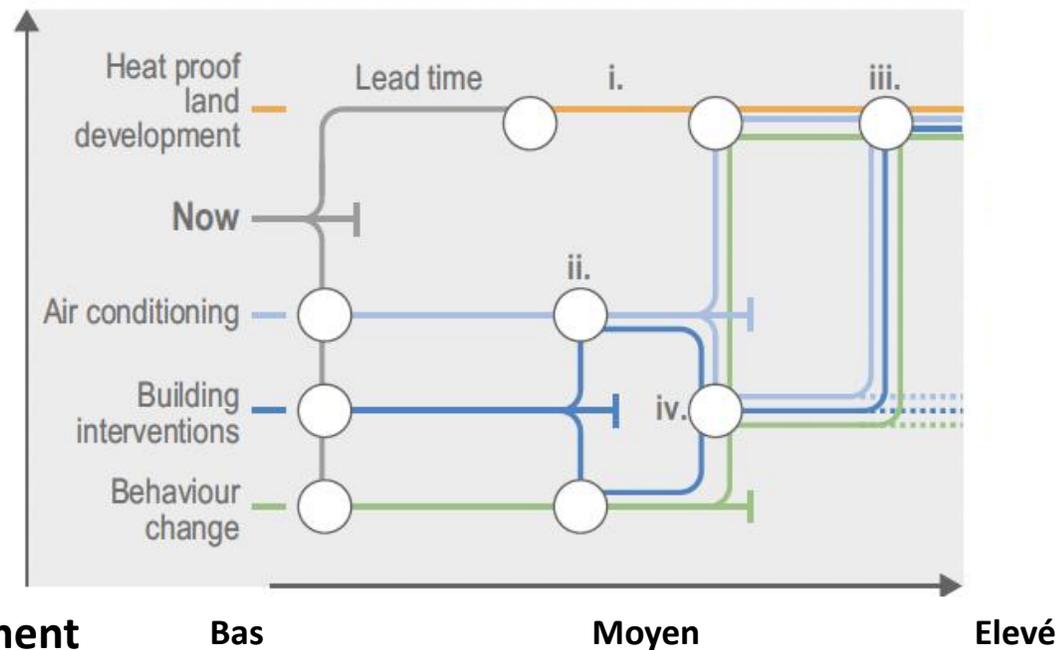
Petites îles :

# Trajectoires d'adaptation pour limiter les risques liés à la chaleur

Risques pour la santé liés à la chaleur



- Aménagement, urbanisme
- Climatisation réseaux de froid
- Interventions sur les bâtiments
- Comportements



Niveau de réchauffement

Bas

Moyen

Elevé

Niveau de risque

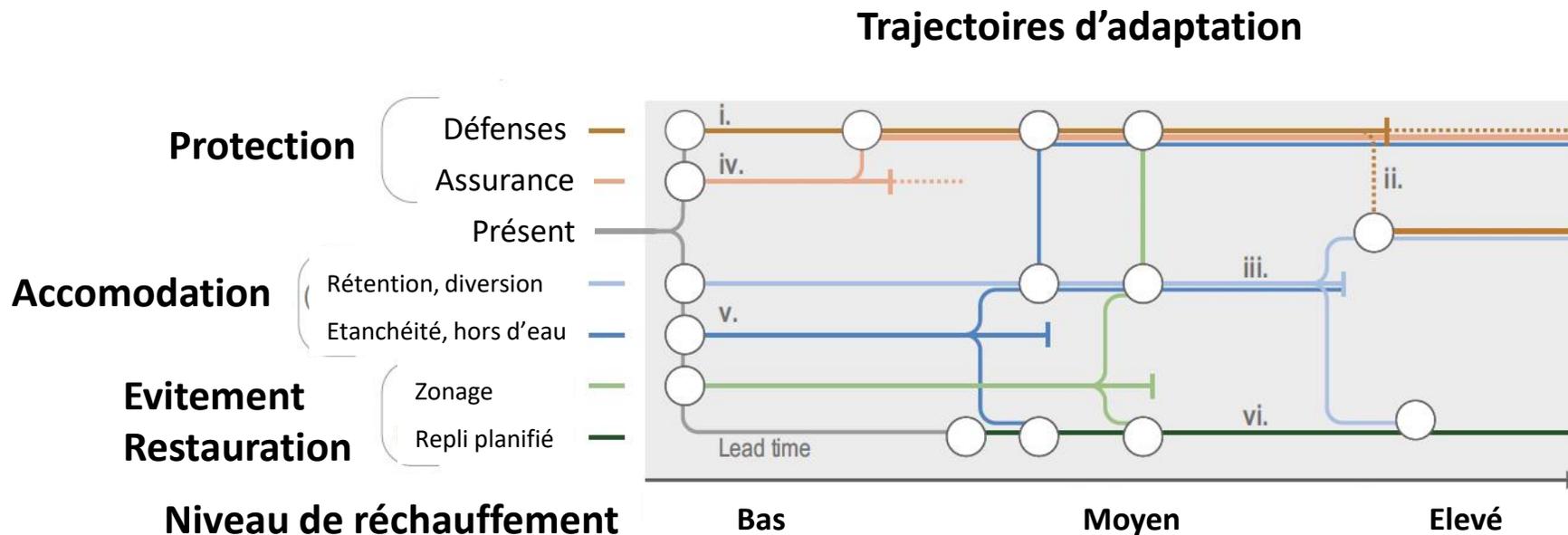
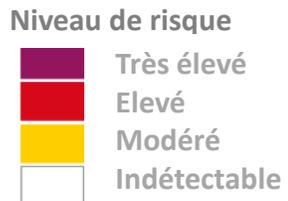
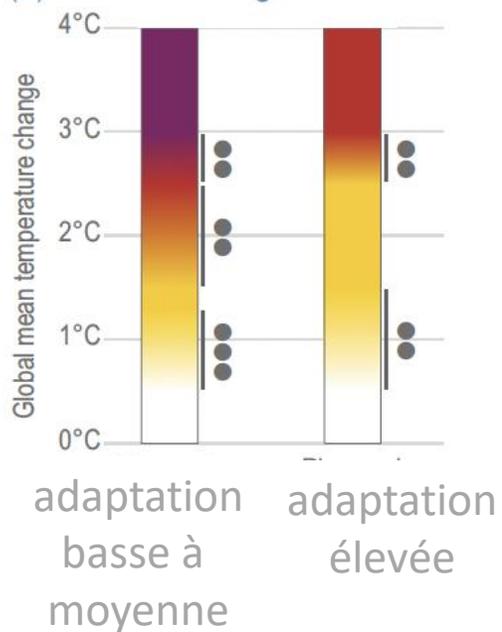


*Caractérisation de chaque mesure d'adaptation : potentiel et limites, faisabilité, coût, efficacité co-bénéfiques, effets indésirables, équité*



# Trajectoires d'adaptation face au risque d'inondations

Risques d'inondations (pluies et cours d'eau)



# Conséquences à long terme

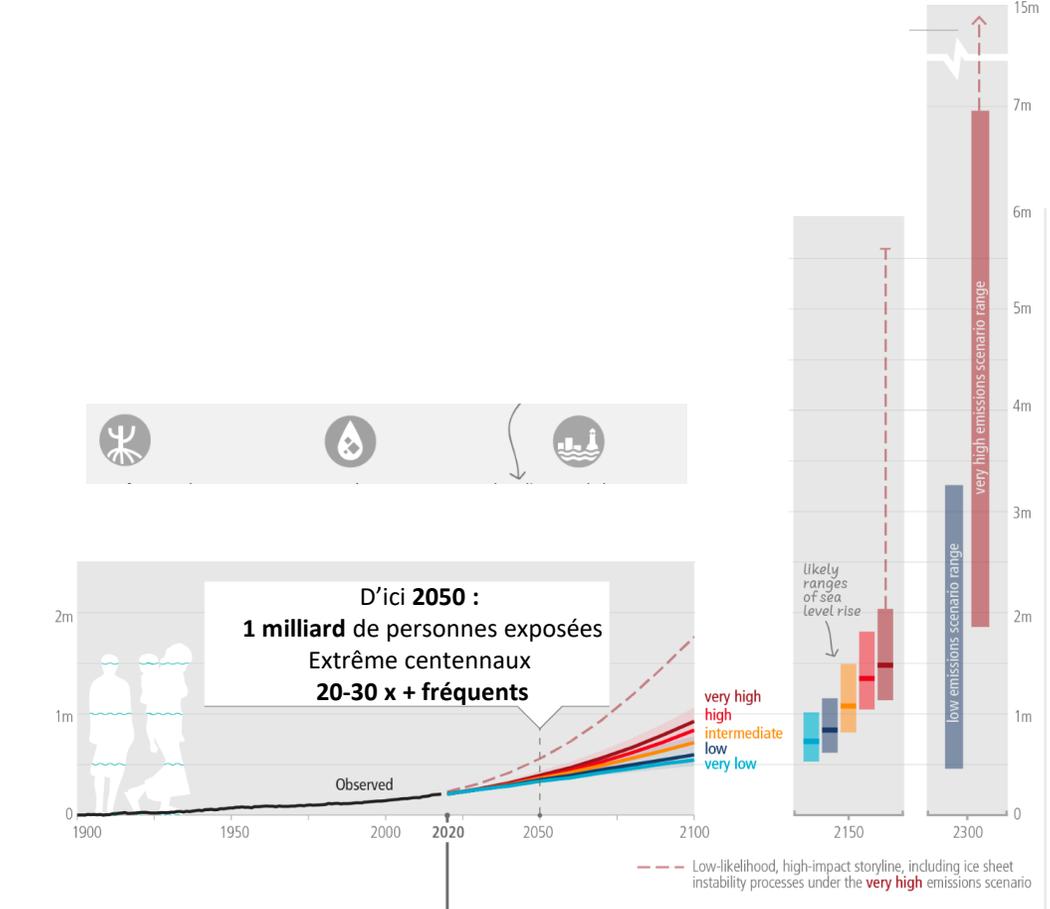
Montée inéluctable du niveau de la mer à l'échelle de millénaires

Le rythme et l'ampleur dépendent des émissions à venir et de la réponse des calottes polaires (incertitude profonde)

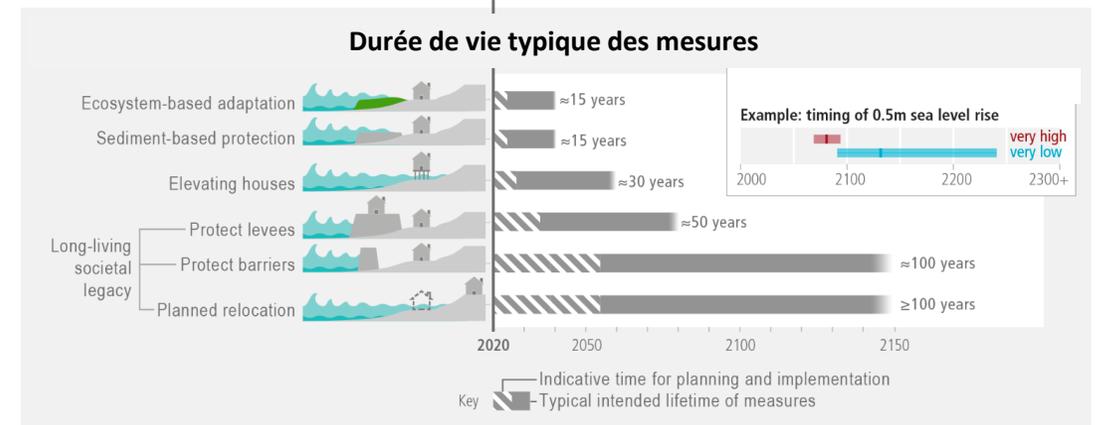
La probabilité de changements abrupts et/ou irréversibles augmente avec le niveau de réchauffement planétaire

Intégrer les éventualités de probabilité d'occurrence faible à l'analyse de risque – prise de décision robuste devant l'incertitude

Mètres par rapport à 1900



Les mesures pour faire face à la montée du niveau de la mer demandent une planification à long terme



<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

# Objectif mondial d'adaptation

*Santé et systèmes de santé résilients*

*Approvisionnement en eau et assainissement résilients, accès à l'eau potable*

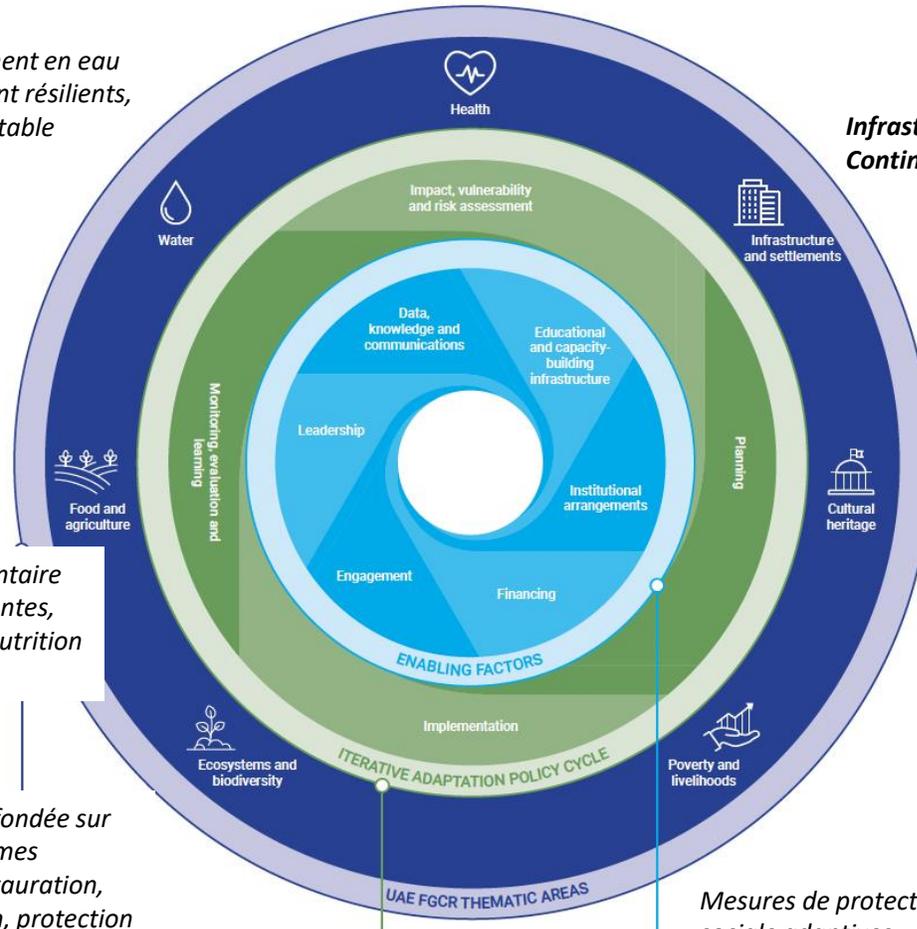
*Infrastructures et établissements résilients  
Continuité des services essentiels*

*Production alimentaire et agricole résilientes, Alimentation et nutrition*

*Pratiques culturelles  
Sites patrimoniaux  
Savoirs locaux et autochtones*

*Adaptation fondée sur les écosystèmes  
Gestion, restauration, conservation, protection*

*Mesures de protection sociale adaptives*



2027 : alerte précoce multi-aléas, services d'informations climatiques, systèmes d'observation systématique

2030 : évaluation impacts, vulnérabilités et risques – stratégies et planification sensibles à l'égalité des sexes, participatifs, transparents

2030 : application, réduction des impacts sociaux et économiques

2030 : système de suivi, évaluation et apprentissage, capacités institutionnelles nécessaires

# Objectif mondial d'adaptation

Santé et systèmes de santé résilients

Approvisionnement en eau et assainissement résilients, accès à l'eau potable

Infrastructures et établissements résilients  
Continuité des services essentiels

## Adaptation transformatrice

Pertinence  
Changements systémiques  
Profondeur,  
Vitesse  
Echelle, champs d'application  
Soutenabilité (robustesse, résilience, adaptabilité)

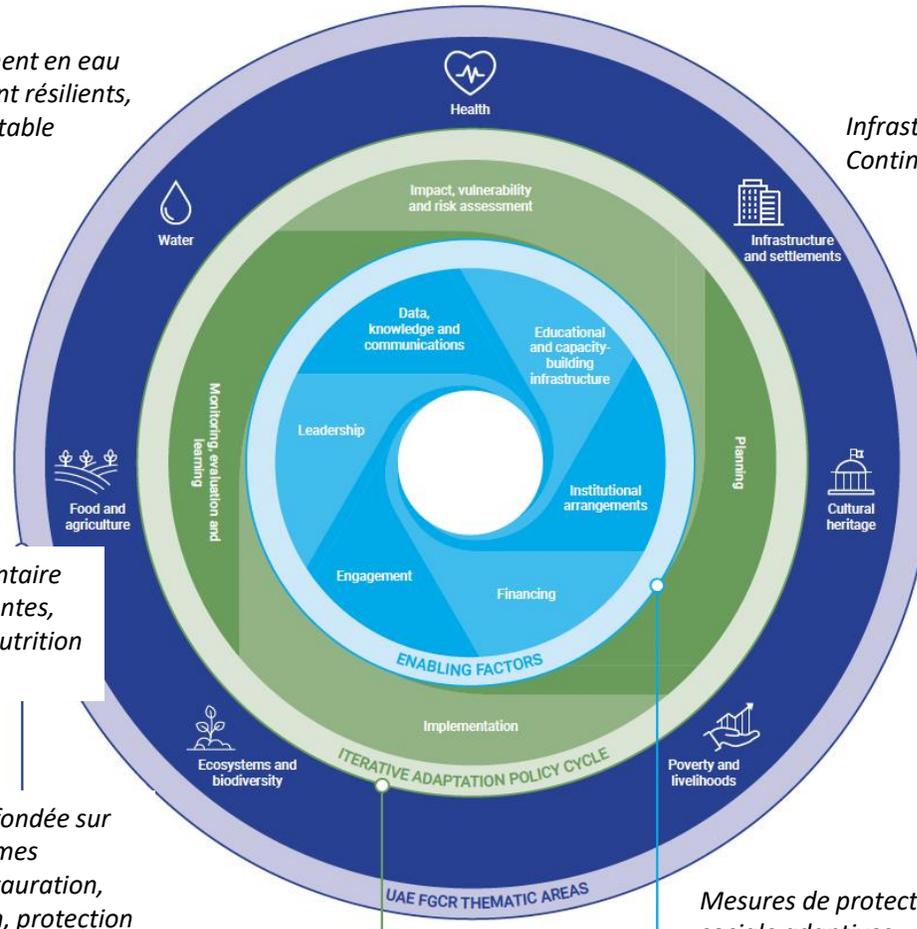
## Déficit de financements pour l'adaptation

Financements publics : 27,5 milliards de \$ en 2022  
Besoins : 387 milliards de \$ par an jusqu'en 2030

## Pertinence des indicateurs

Renforcement de la capacité d'adaptation  
Accroissement de la résilience  
Réduction de la vulnérabilité

Disponibilité des données  
Synergies  
Aspects transfrontaliers



Pratiques culturelles  
Sites patrimoniaux  
Savoirs locaux et autochtones

Mesures de protection sociale adaptives

Adaptation fondée sur les écosystèmes  
Gestion, restauration, conservation, protection

Production alimentaire et agricole résilientes, Alimentation et nutrition

- 2027 : alerte précoce multi-aléas, services d'informations climatiques, systèmes d'observation systématique
- 2030 : évaluation impacts, vulnérabilités et risques – stratégies et planification sensibles à l'égalité des sexes, participatifs, transparents
- 2030 : application, réduction des impacts sociaux et économiques
- 2030 : système de suivi, évaluation et apprentissage, capacités institutionnelles nécessaires

# De nombreuses options d'actions sont disponibles maintenant pour réduire les émissions et s'adapter à un climat qui change

## Options d'adaptation

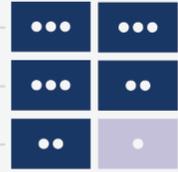
## Options d'atténuation

Contribution potentielle à la baisse des émissions nettes d'ici 2030

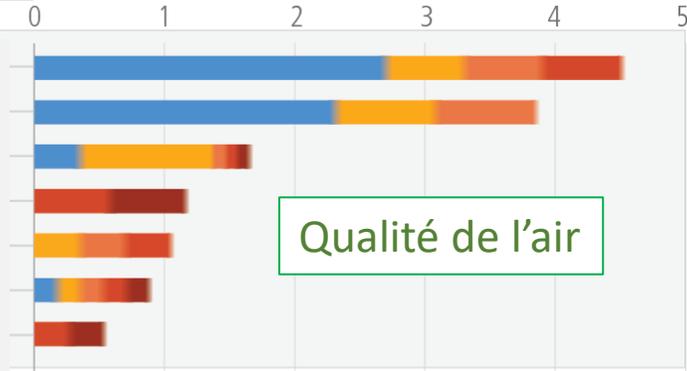
GtCO<sub>2</sub>-eq/yr

### PRODUCTION D'ÉNERGIE

Fiabilité (e.g. diversification, accès, stabilité)  
Systèmes d'alimentation électrique résilients  
Meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau



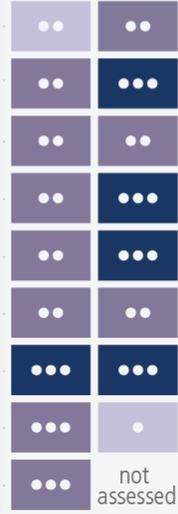
Solaire  
Éolien  
↓ méthane charbon, pétrole, gaz  
Bioélectricité (dont BECCS)  
Géothermie, hydroélectricité  
Nucléaire  
Captage et stockage carbone fossile



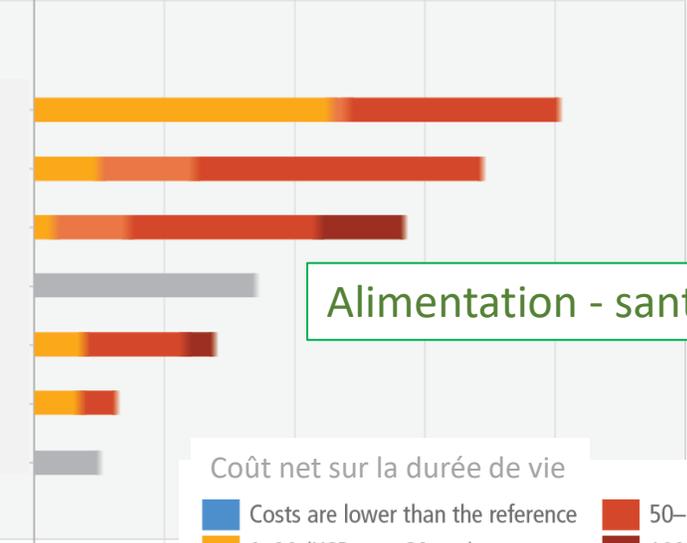
Qualité de l'air

### TERRES, EAU, ALIMENTATION

Systèmes d'élevage efficaces  
Meilleure gestion des terres cultivées  
Efficacité utilisation eau, gestion des ressources en eau  
Gestion biodiversité et connectivité des écosystèmes  
Agroforesterie  
Aquaculture et pêcheries durables  
Adaptation fondée sur les forêts  
Gestion intégrée du littoral  
Protection du littoral



↓ conversion écosystèmes naturels  
↑ stockage carbone sols  
Restauration d'écosystèmes, afforestation, reforestation  
Alimentation saine et durable  
Gestion durable des forêts  
↓ émissions CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O agricoles  
↓ pertes & gaspillage alimentaire



Alimentation - santé

Faisabilité et synergies  
■ High  
■ Medium  
■ Low  
 Insufficient evidence

Faisabilité potentielle jusqu'à +1,5°C

Synergies avec l'atténuation

Coût net sur la durée de vie



# De nombreuses options d'actions faisables, efficaces et abordables sont disponibles maintenant pour réduire les émissions et s'adapter à un climat qui change

## VILLES ET INFRASTRUCTURES

Nature en ville

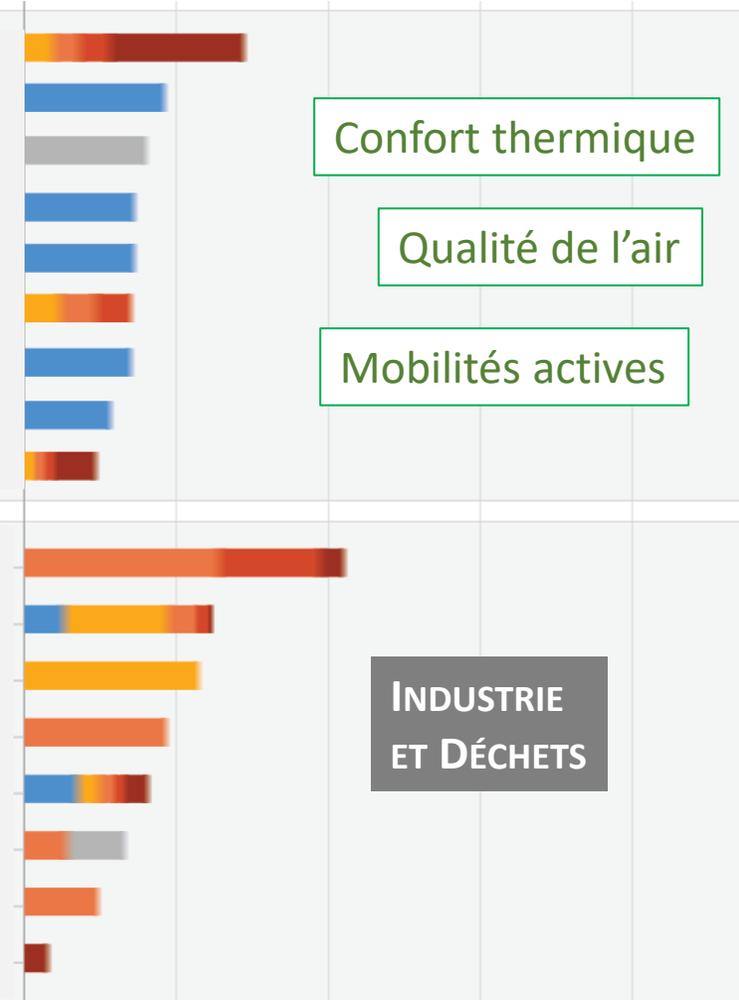
## SANTÉ

## SOCIÉTÉ, ÉCONOMIE, MOYENS DE SUBSISTANCE

Gestion soutenable eaux urbaines	••	•
Urbanisme et usage des terres soutenables	••	•
Infrastructures vertes et services écosystémiques	•••	••
Renforcement des services de santé (eau, assainissement, hygiène, nutrition, alimentation)	••	••
Mutualisation de risque	••	•
Filets de sécurité sociale	••	•
Services climatiques, dont les systèmes d'alerte précoce	•••	
Gestion des risques de catastrophes	•••	••
Migrations	••	•
Relocalisation planifiée	•	•
Diversification des moyens de subsistance	••	••

- Bâtiments performants
- Véhicules économes en carburants
- Véhicules électriques
- Eclairage, appareils et équipements efficaces
- Transports publics, vélo
- Agrocarburants
- Transport maritime et aérien performants
- Eviter des demandes de services énergétiques
- Intégration de renouvelables

- Changement combustible
- Réduction gaz fluorés
- Efficacité énergétique
- Efficacité matériaux
- Réduction méthane déchets et eaux usées
- Substitution matériaux construction
- Renforcement recyclage
- Captage carbone CCU et CCS



Confort thermique

Qualité de l'air

Mobilités actives

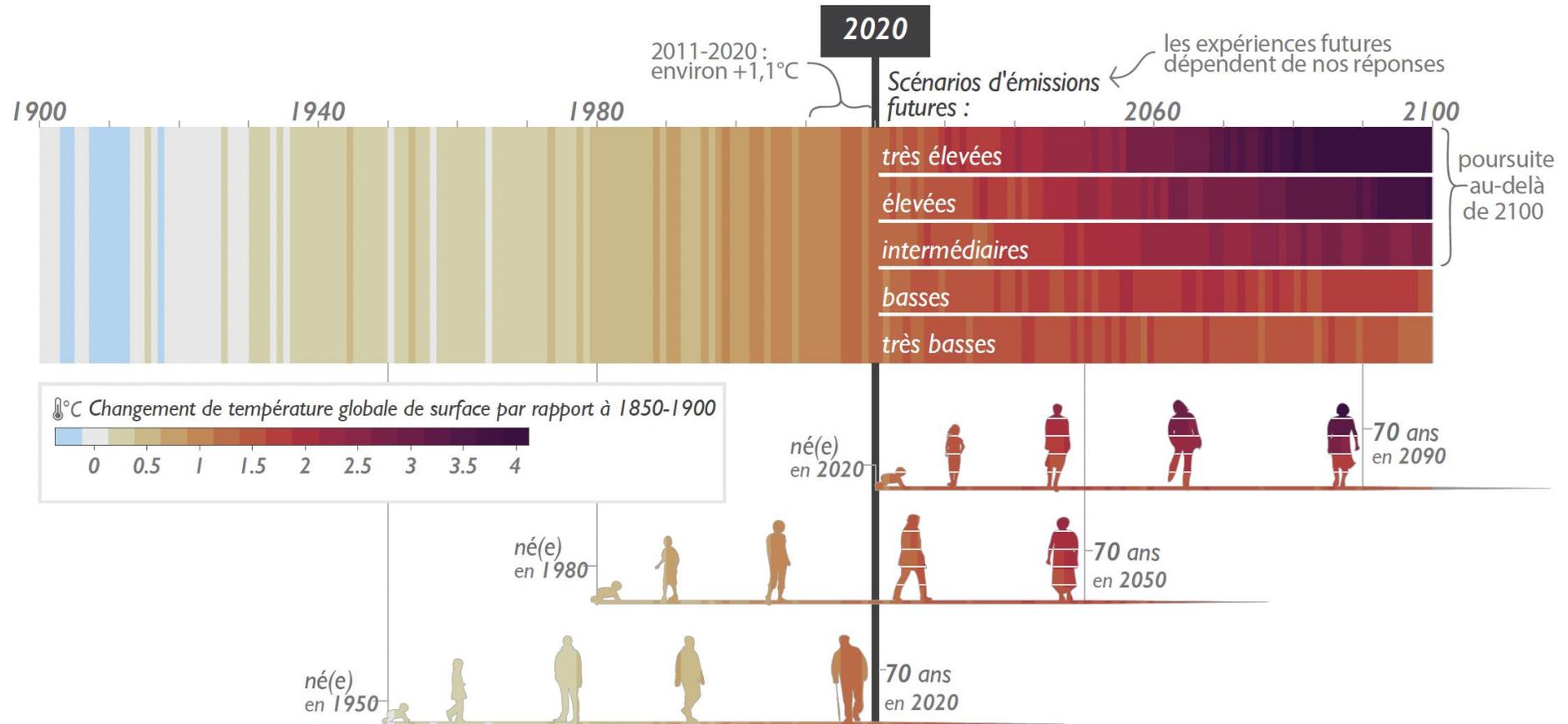
## INDUSTRIE ET DÉCHETS

Faisabilité potentielle jusqu'à +1,5°C

Synergies avec l'atténuation

# Changement climatique, enjeux de transformations

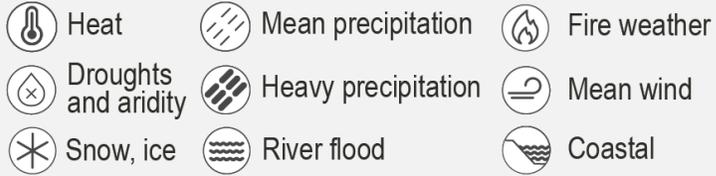
Rapport synthèse  
AR6 GIEC, 2023



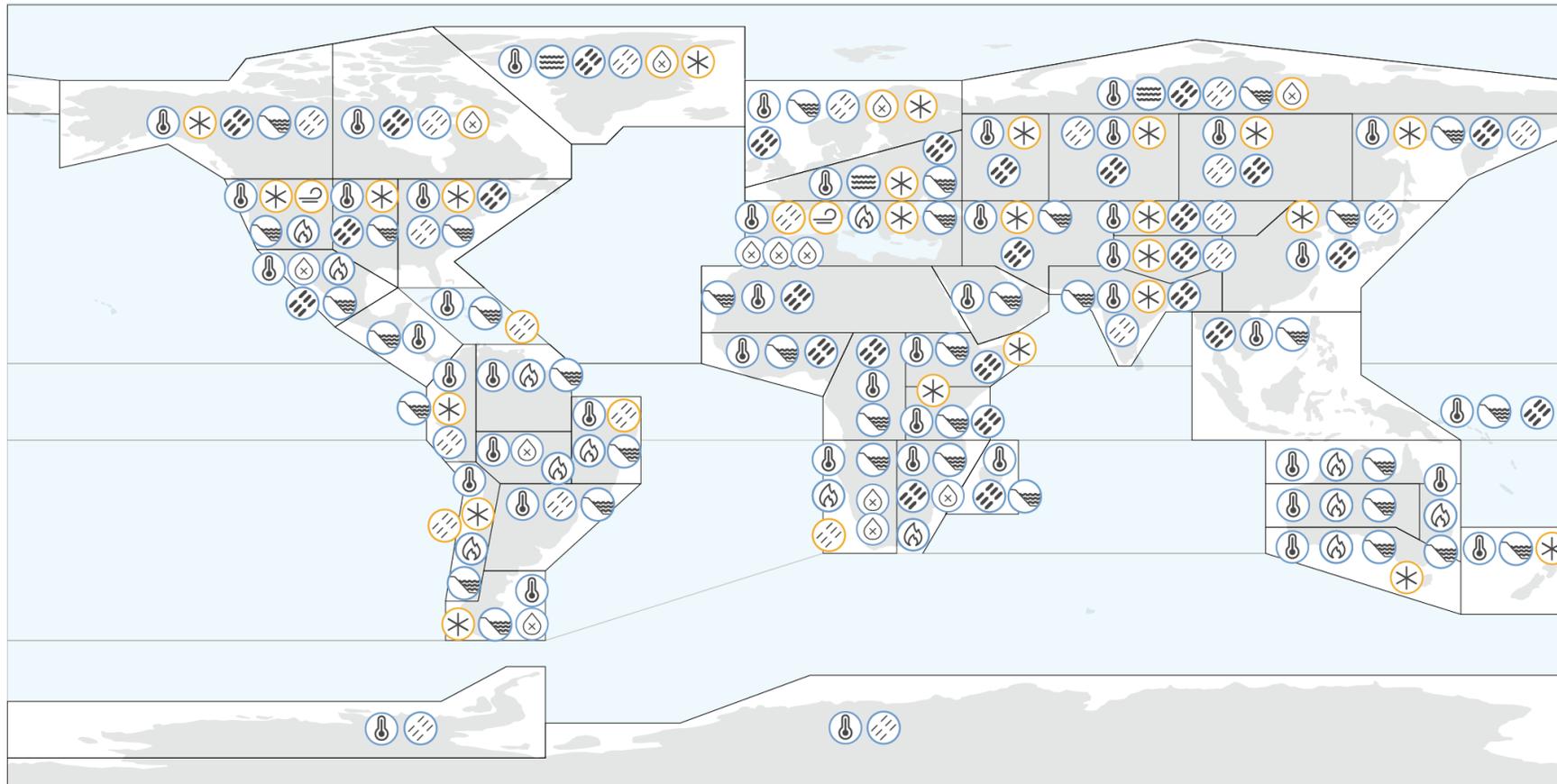
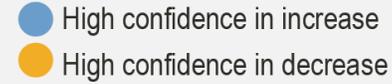


# A horizon 2050, des changements de multiples facteurs climatiques générateurs d'impacts dans chaque région

Climatic impact-drivers

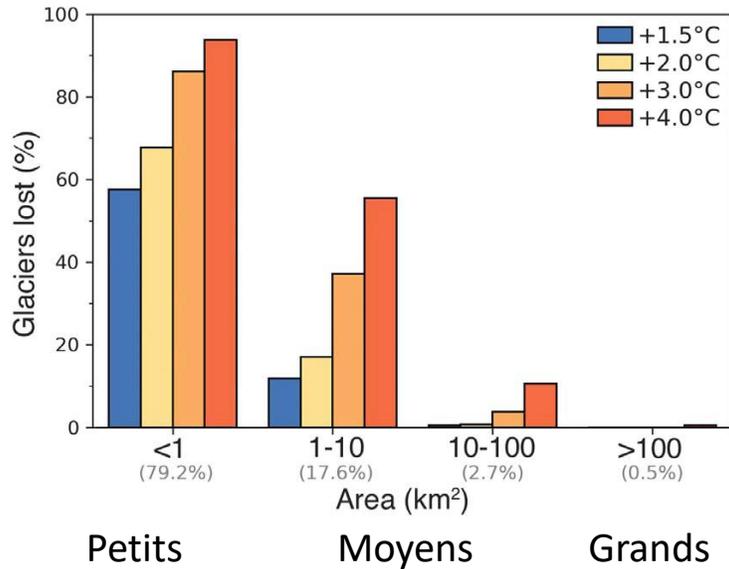


Direction of change



# Cryosphère de montagne

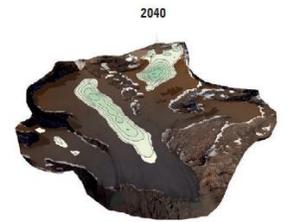
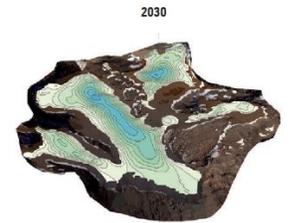
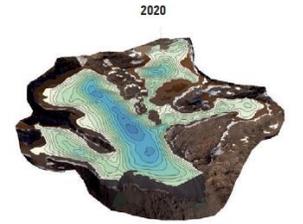
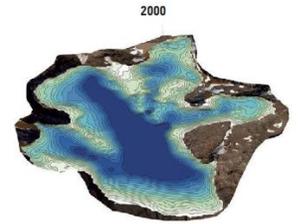
Fraction de glaciers dont la disparition est projetée entre 2015 and 2100 (global)



- « Peak water » avant 2050 pour de nombreuses régions

## Alpes, 2050 :

- Disparition des petits glaciers  
Enjeux biodiversité zones déglacées
- Baisse hauteur de neige moyenne altitude  
Fonte accélérée au printemps  
Risque faible enneigement 1/3 stations de ski  
Assèchement en été  
Baisse de débit estival / évapotranspiration
- Dégel sols gelés, déstabilisation parois  
Avalanches neige humide + haute altitude



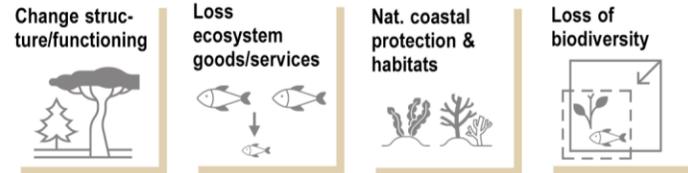
Glacier de Saint-Sorlin

# Des risques climatiques clés en interaction

(a) Low-lying coastal systems



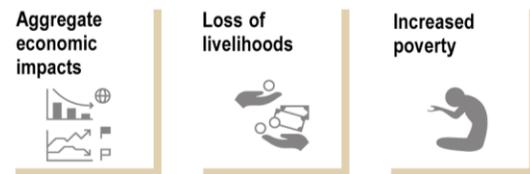
(b) Terrestrial and marine ecosystems



(c) Critical infrastructure, networks and services



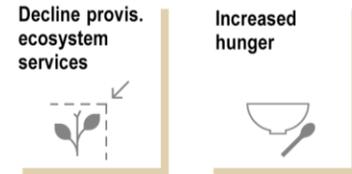
(d) Living standards



(e) Human health



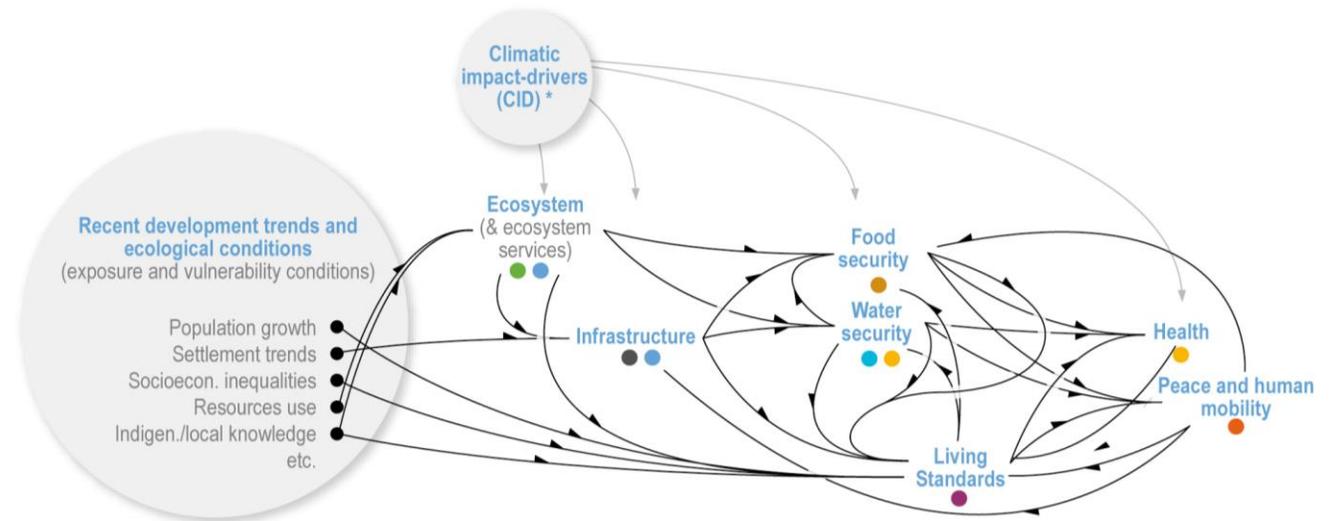
(f) Food security



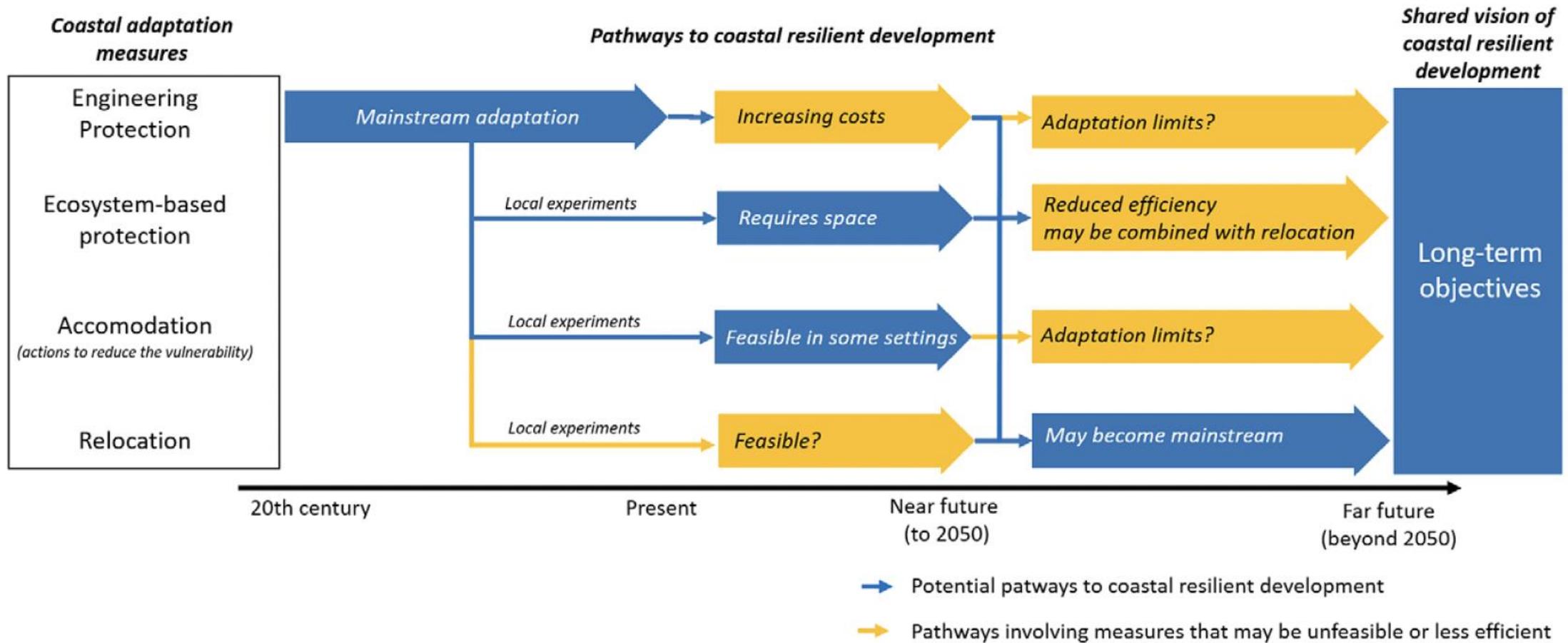
(g) Water security



(h) Peace & human mobility

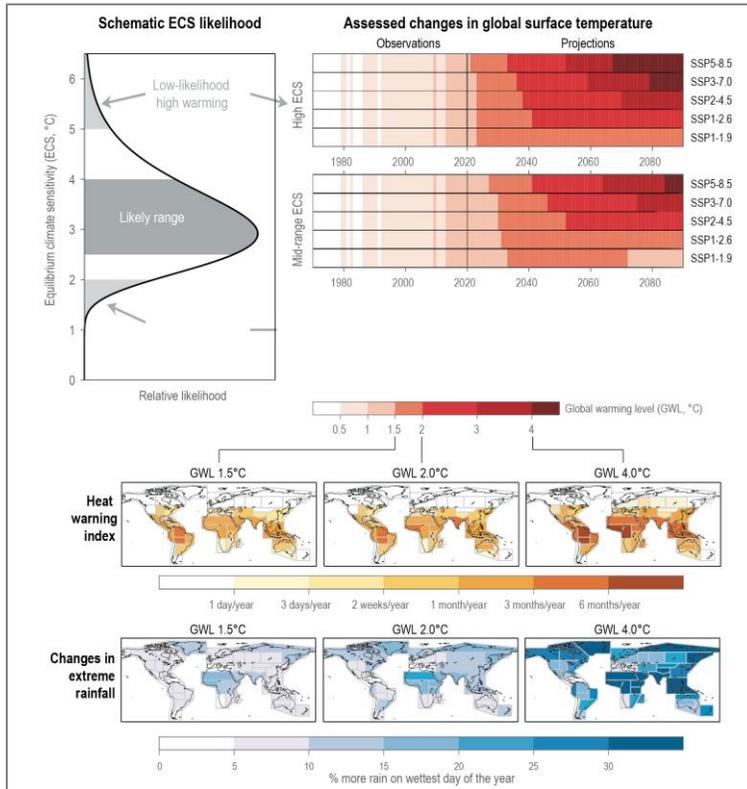


# 2035-2050 : nouvelles approches vers un développement littoral résilient

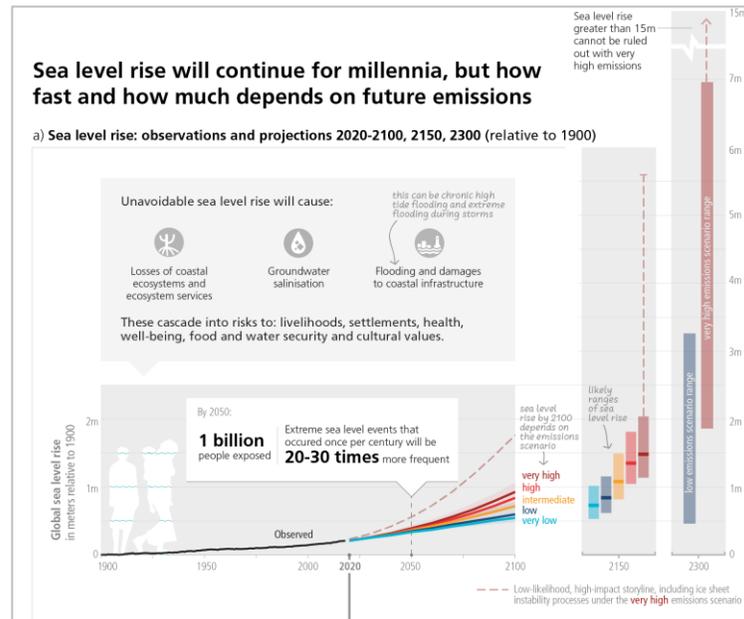


# Exemple d'éventualités de probabilité d'occurrence faible & fort impact

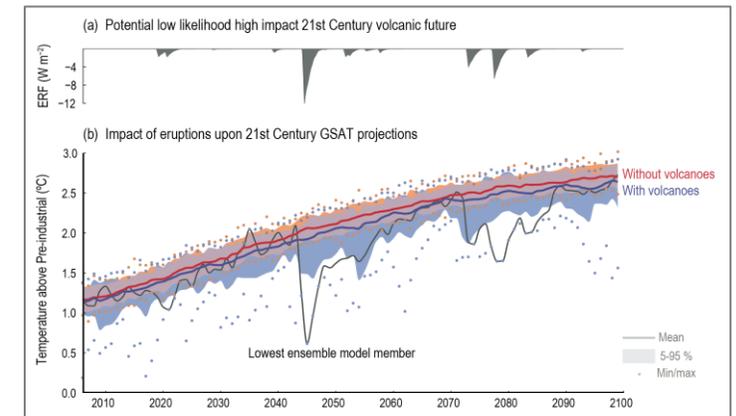
## Forte réponse du climat



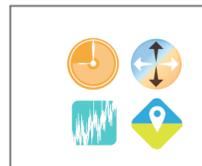
## Points de bascule



## Eruptions volcaniques



**Extrêmes composites, combinés, en cascade**

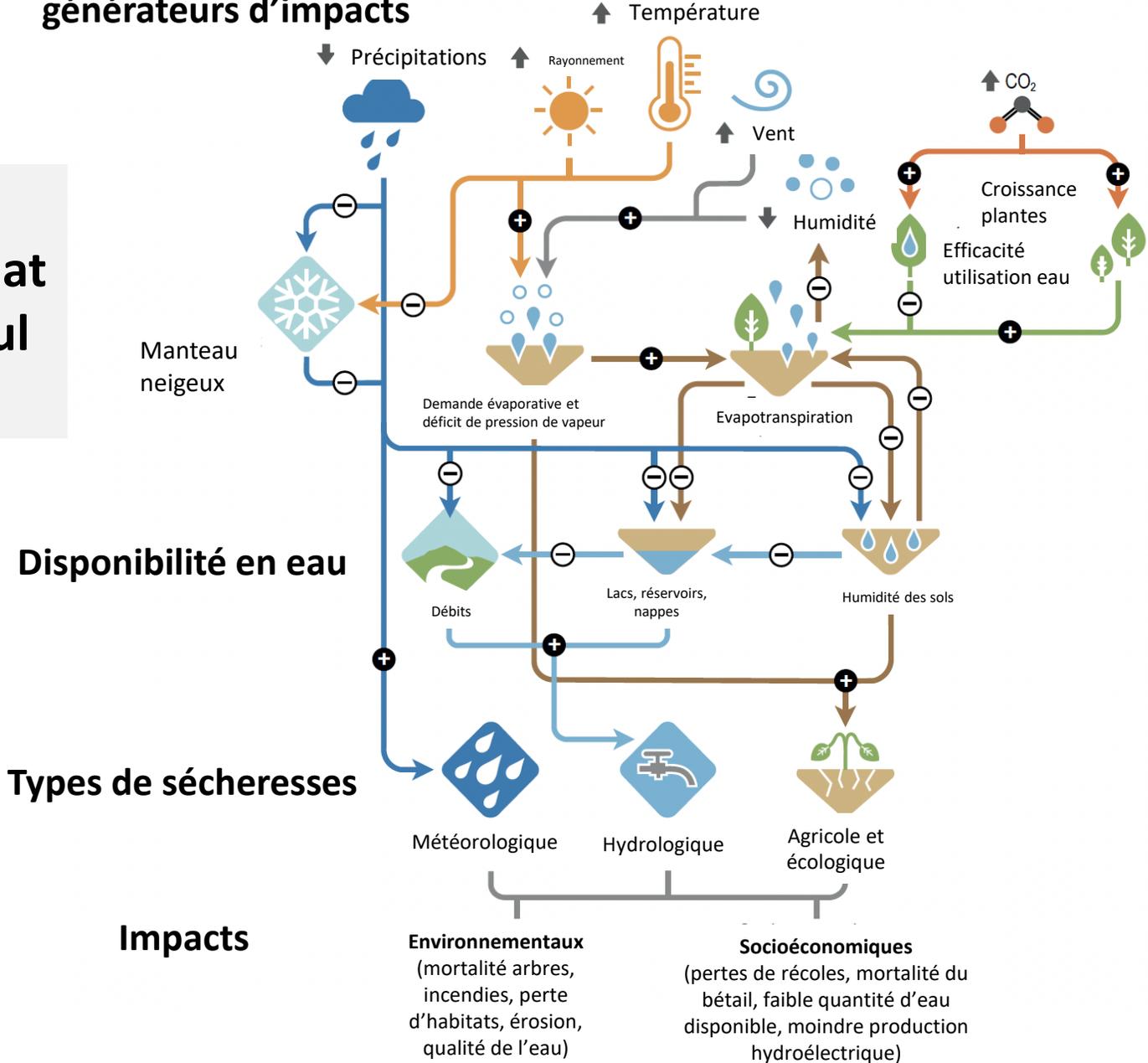


**Intégrer ces éventualités à l'analyse de risques**

# Des limites sur la disponibilité des ressources en eau douce dans un climat qui se réchauffe, y compris via le recul de la cryosphère de montagne

- Les ressources en eau vont baisser en été en France (et toute l'année au sud)
- Les autres changements sont incertains
- Besoin de mieux tenir compte des autres facteurs (cryosphère, usage des terres et de l'eau)

## Facteurs climatiques générateurs d'impacts

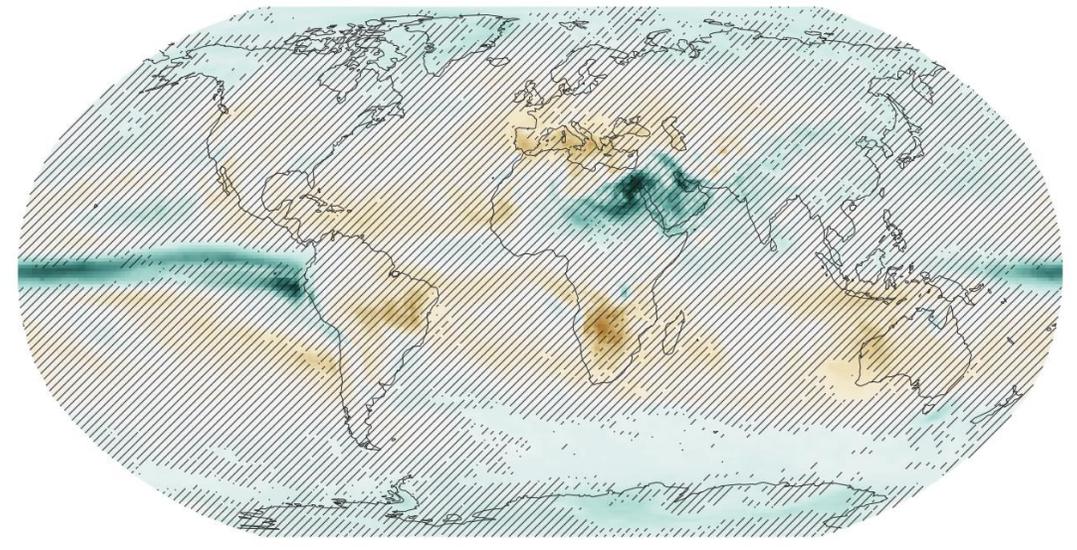
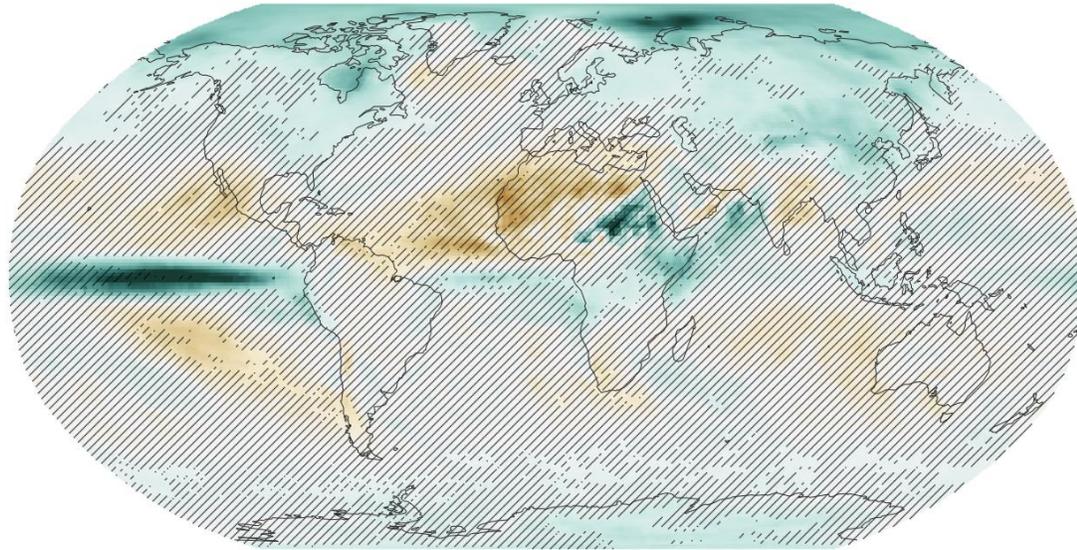


# Dans un climat plus chaud, un cycle de l'eau plus intense et plus variable, avec des contrastes saisonniers et régionaux

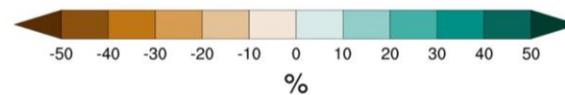
## Changements de précipitations saisonnières

Décembre-Janvier-Février

Juin-Juillet-Août



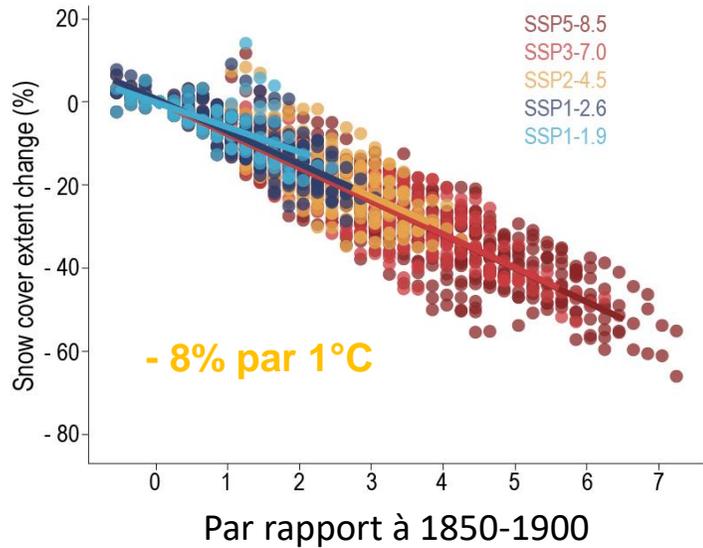
+2°C, scénario SSP2-4.5, par rapport à 1995-2014



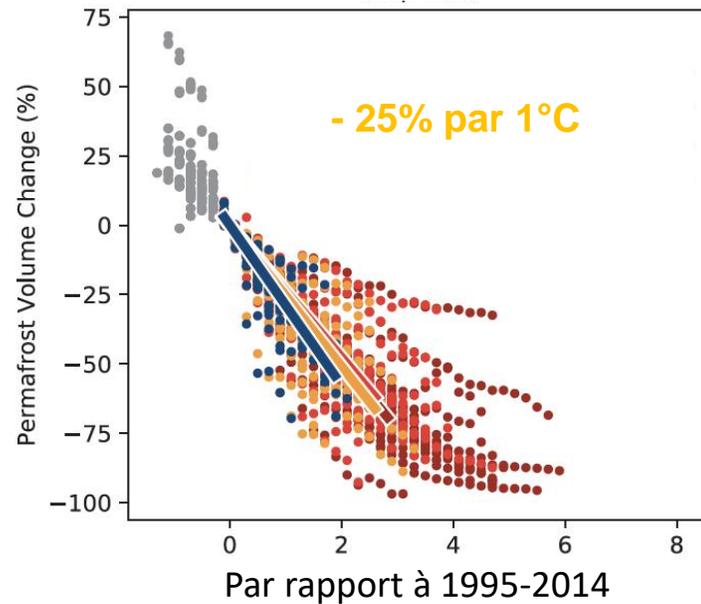
Color High model agreement ( $\geq 80\%$ )  
Low model agreement ( $< 80\%$ )

# Pour chaque incrément de réchauffement supplémentaire, le recul de la cryosphère s'amplifie

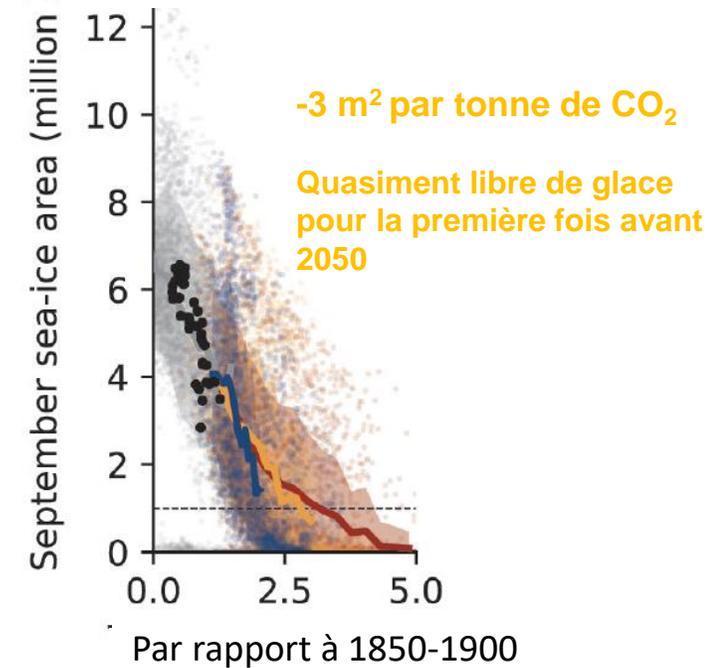
Changement d'extension du manteau neigeux de printemps hémisphère nord (%)



Changement de volume des sols gelés de l'Arctique sur 3 m (%)



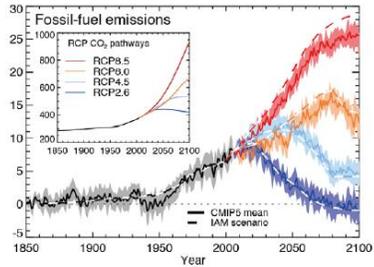
Surface de glace de mer en Arctique (km<sup>2</sup>)



Changement de température de surface planétaire (°C)

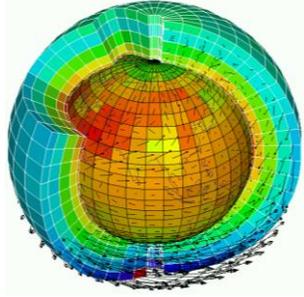
# Comment vont changer les ressources disponibles localement ?

## Scénarios d'émissions

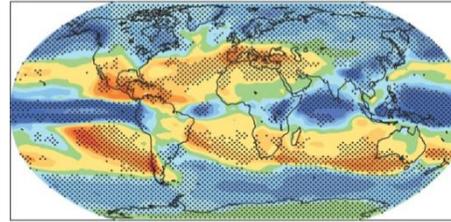


+ scénarios d'occupation des sols

Modèles climatique globaux

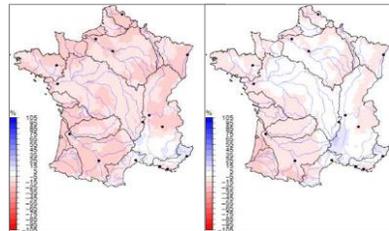


Projections climatiques de grande échelle



Atlas interactif du GIEC

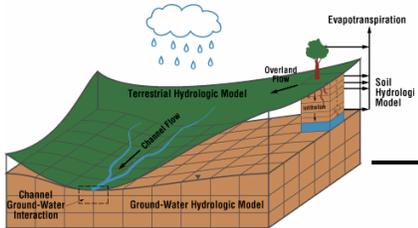
Projections climatiques régionalisées



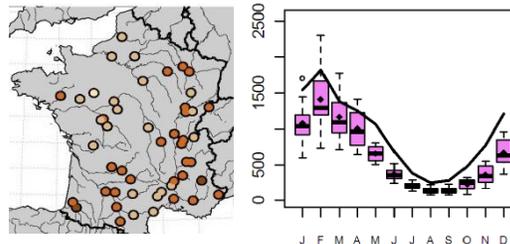
Site DRIAS

Descente d'échelle + correction de biais

Projections hydrologiques régionalisées



Modèles d'impact



Site DRIAS-Eau

Prise en compte des incertitudes à tous les niveaux

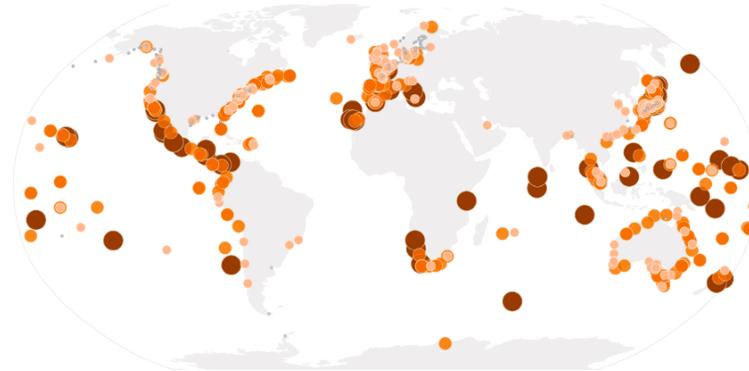
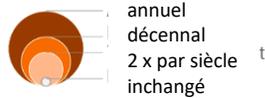
scénarios  
variabilité interne  
réponse des modèles

Défis pour l'adaptation

# Anticiper les risques liés aux évènements de niveau marin extrême - horizon 2040

## Augmentation de la fréquence d'évènements de niveau marin extrêmes d'ici 2040

Fréquence d'évènements qui se produisent actuellement une fois par 100 ans



Exposure to a coastal flooding event that currently occurs on average once every 100 years

