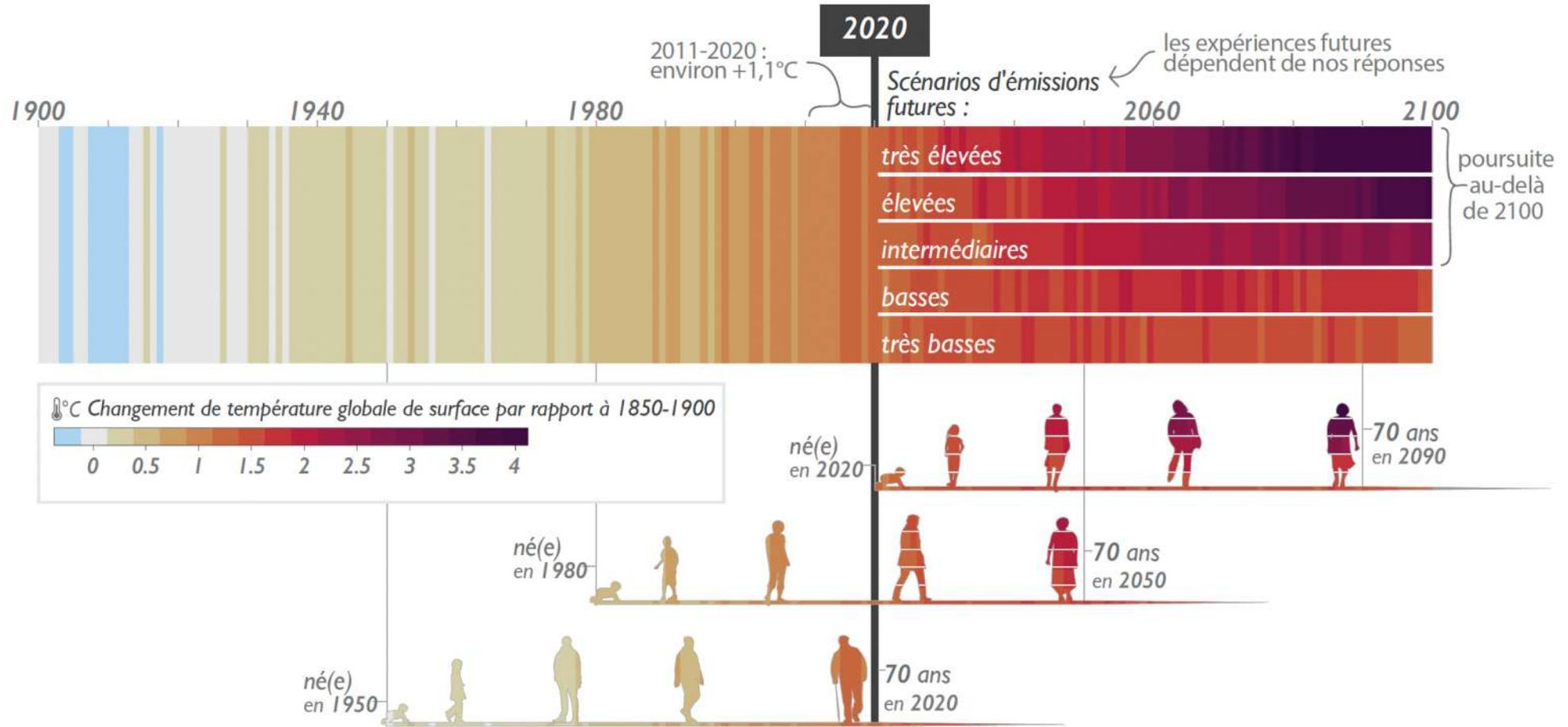


**Valérie
Masson-Delmotte**

Directrice de recherche au CEA, paléoclimatologue
Coprésidente du groupe n°1 du GIEC de 2015 à 2023

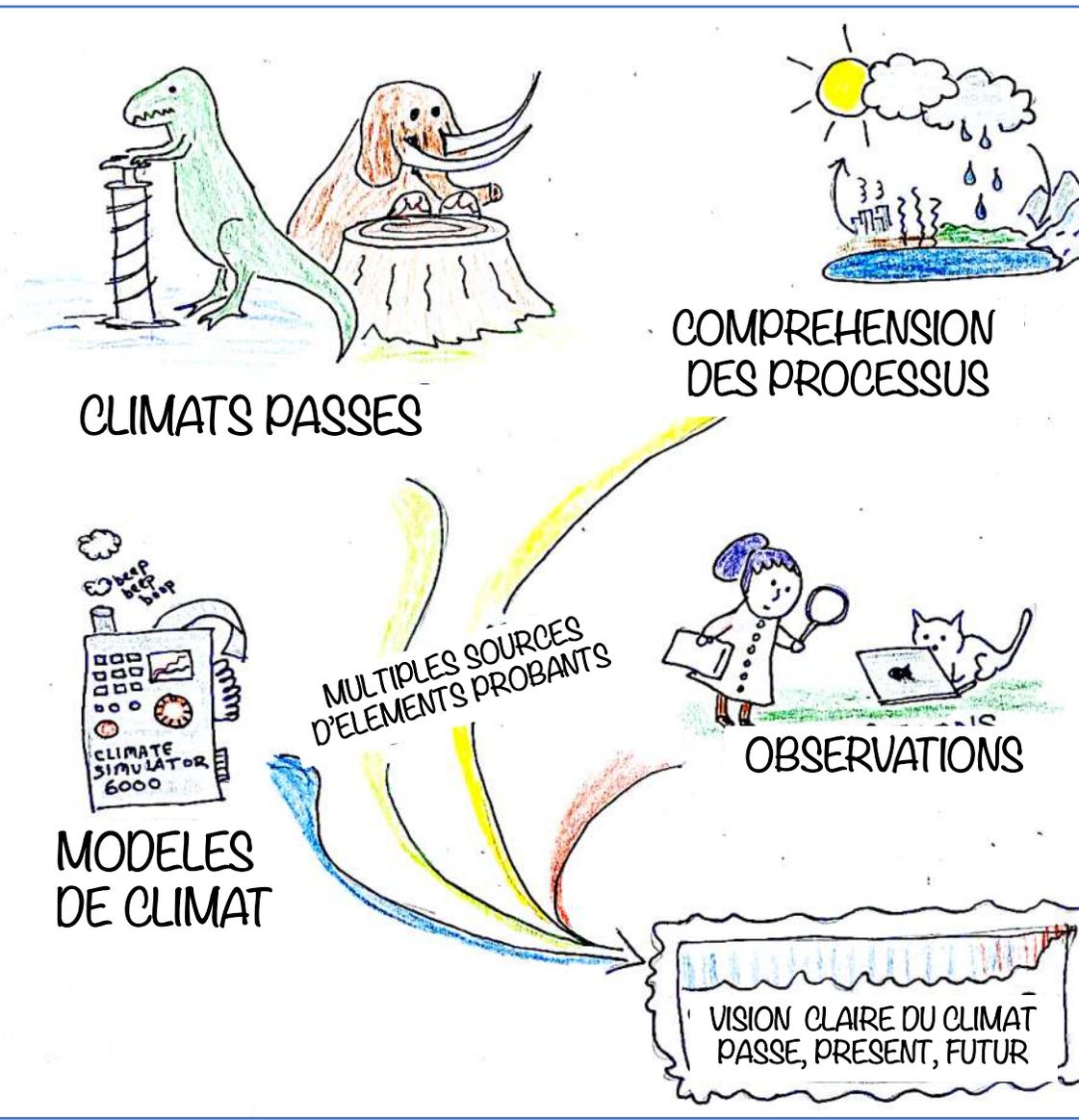
**Géosciences et enjeux
du changement climatique**

Géosciences et enjeux du changement climatique



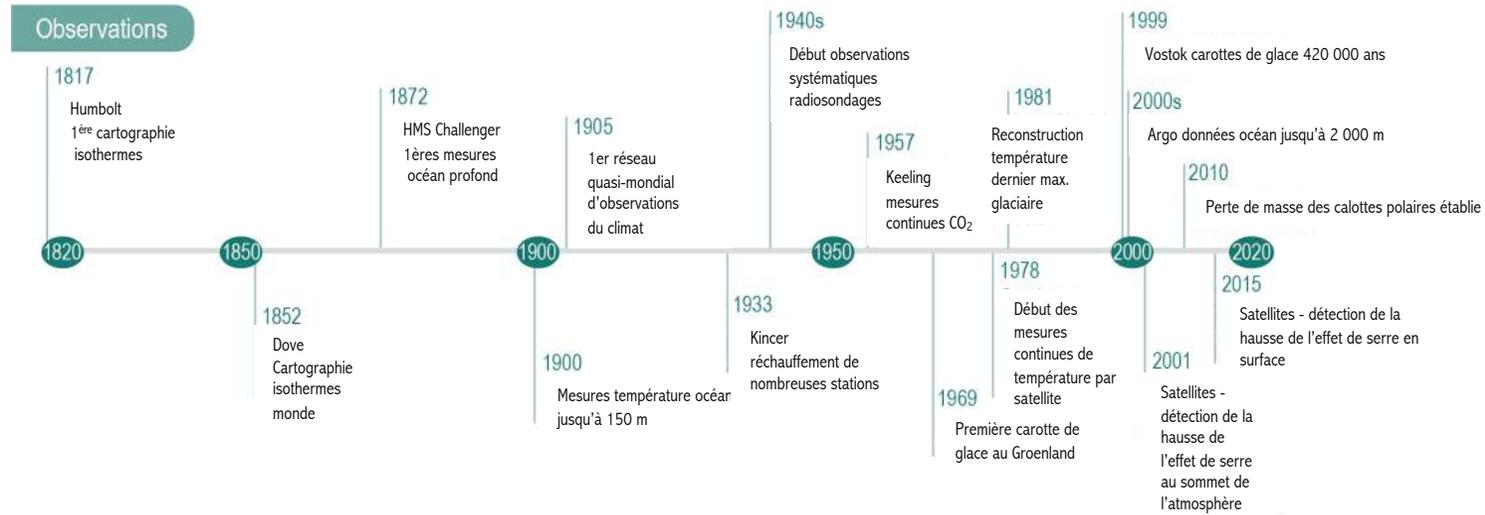
Valérie Masson-Delmotte

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
(CEA-CNRS-UVSQ), Institut Pierre Simon Laplace, Université Paris Saclay

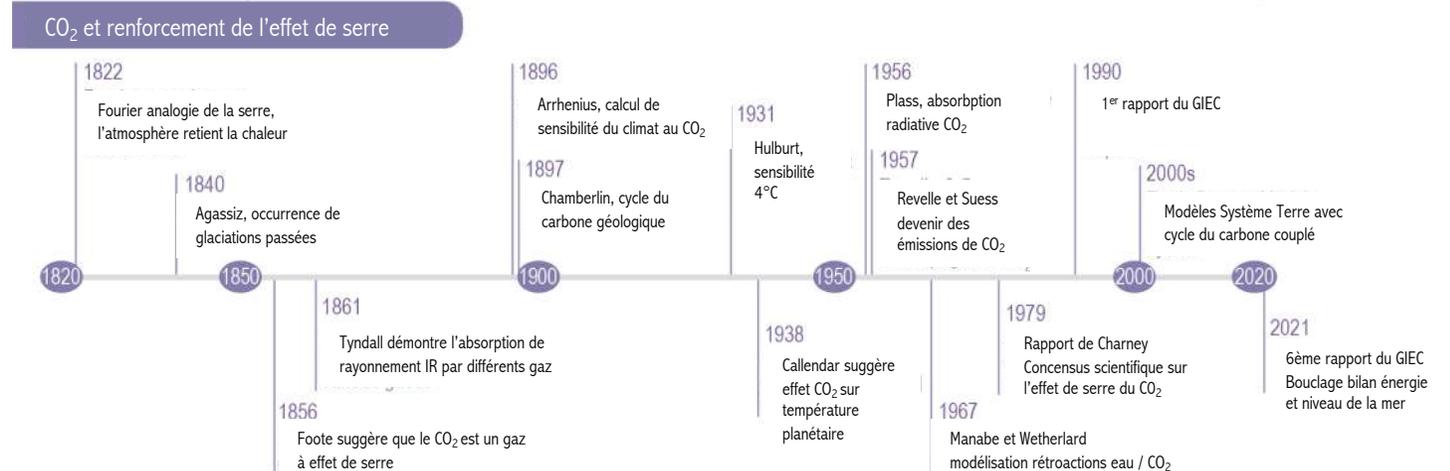
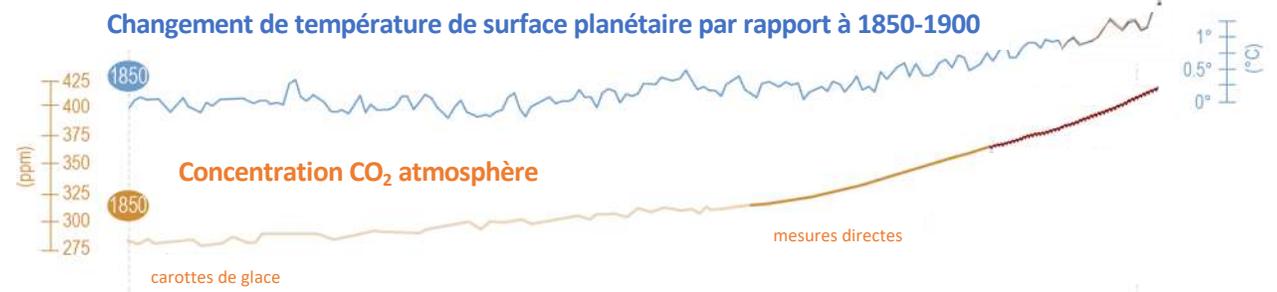




Points de repère : histoire des sciences du climat



Changement de température de surface planétaire par rapport à 1850-1900



Sauf mention spécifique, toutes les figures proviennent des rapports du GIEC de 2021-2022-2023

En France et dans le monde, l'action pour le climat est montée en puissance



Baisse régulière des émissions de gaz à effet de serre dans plus de 18 pays



Les politiques publiques ont permis d'éviter plusieurs milliards de tonnes d'émissions de CO₂-équivalent

Plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre mondiales dans le périmètre de politiques publiques

Energies renouvelables, batteries : baisse des coûts et augmentation des capacités installées

Progrès de la planification de l'adaptation et de sa mise en oeuvre, mais des **réponses fragmentées**, des limites, un décalage croissant par rapport aux besoins, et des maladaptations

Efficacité énergétique, maîtrise de la demande, réduction du gaspillage alimentaire

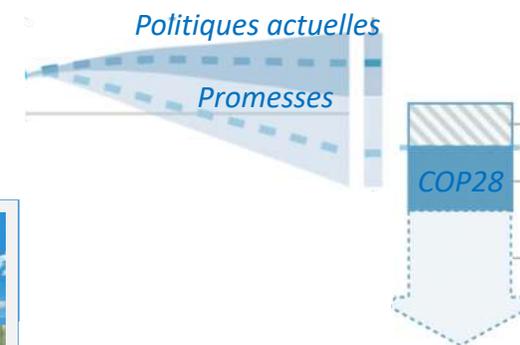
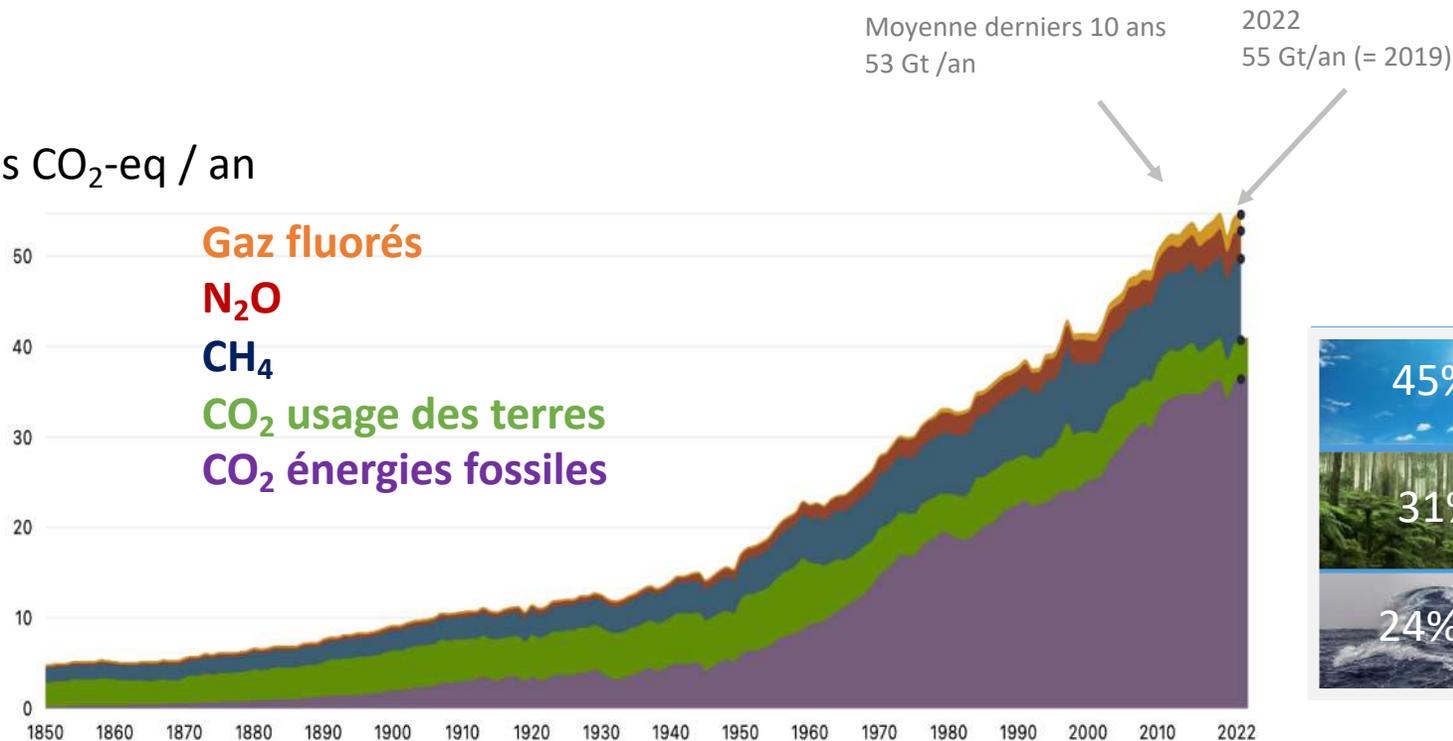
Flux financiers insuffisants

Ralentissement de la déforestation nette

mais le rythme et l'ampleur des actions mises en oeuvre et des engagements actuels sont insuffisants pour limiter les risques liés au changement climatique

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 CO₂-eq / an



décennie critique



2030

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

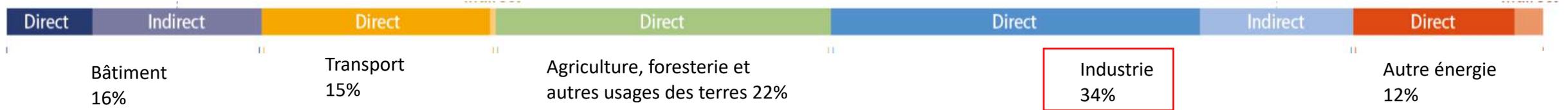
Quelles activités contribuent le plus aux émissions de gaz à effet de serre?

Emissions **directes** par secteur



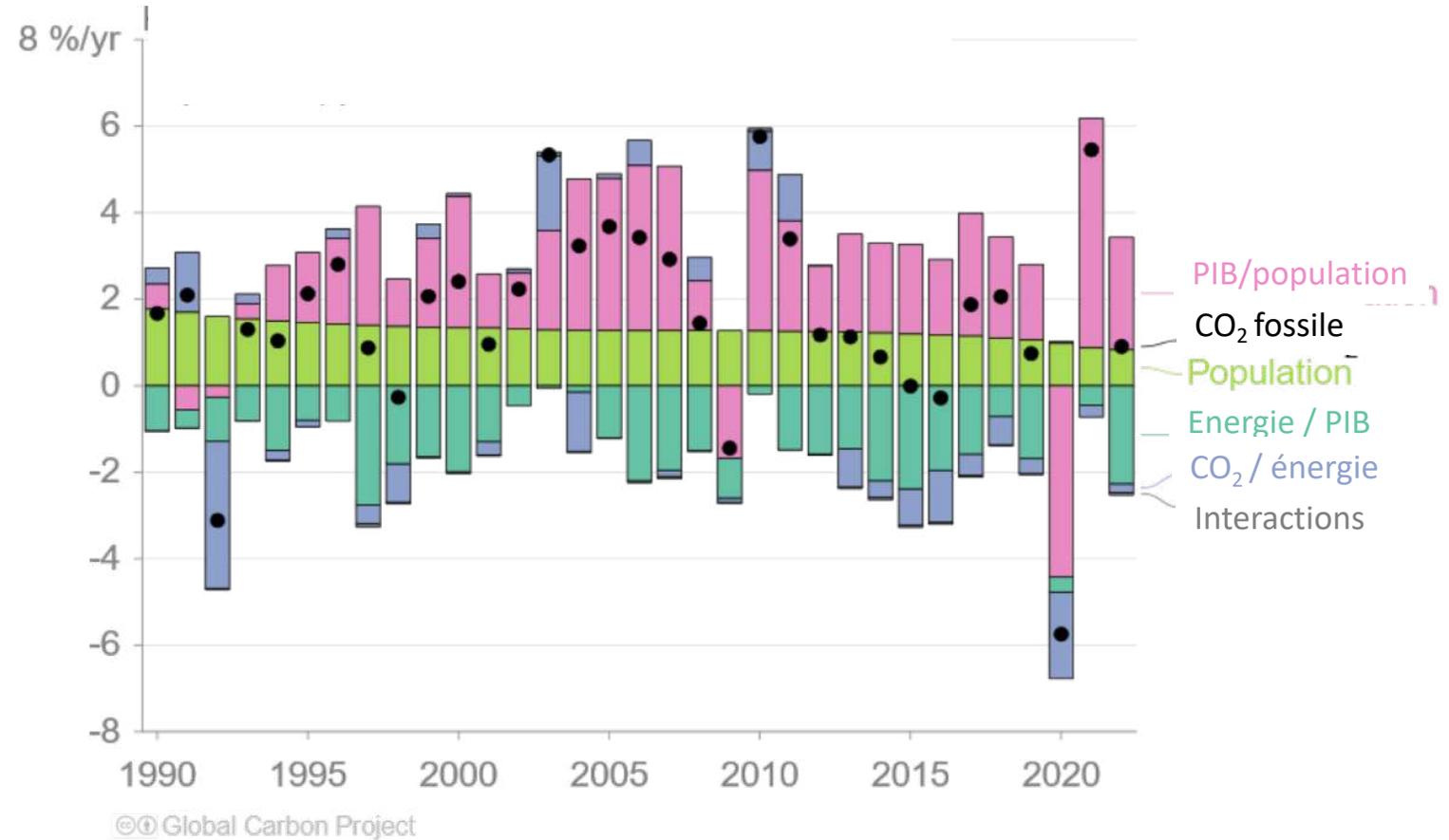
Quelles activités contribuent le plus aux émissions de gaz à effet de serre?

Emissions **directes** et **indirectes** par secteur



Quels sont les facteurs responsables de la hausse ou la baisse des émissions mondiales de CO₂ liées aux énergies fossiles?

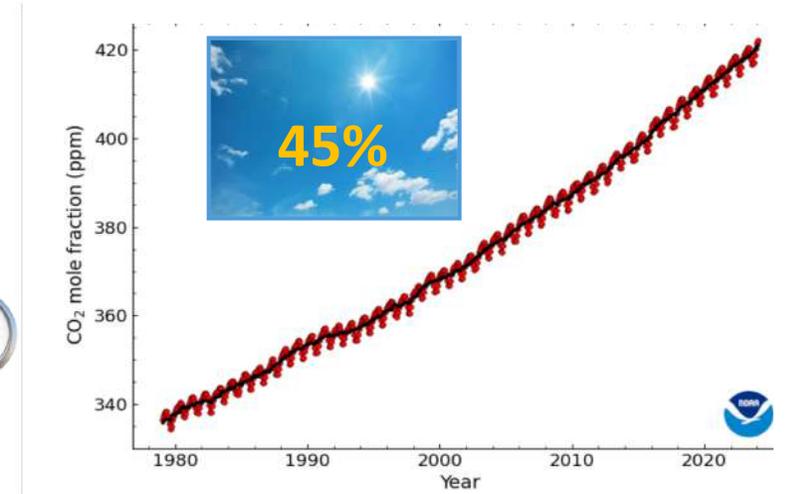
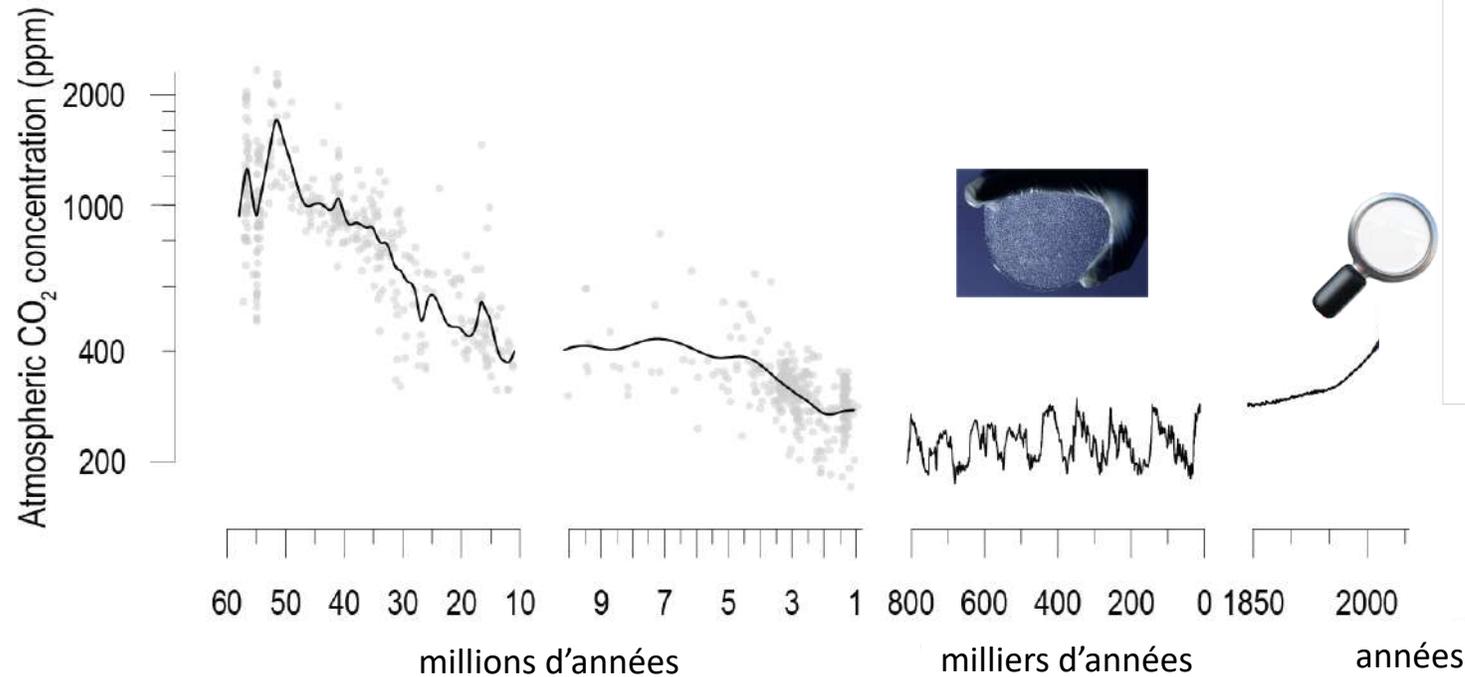
Décomposition de Kaya de la hausse des émissions mondiales (% par an)



Ralentissement de la hausse:

- efficacité énergétique
- décarbonation

La concentration de CO₂ dans l'atmosphère continue à augmenter



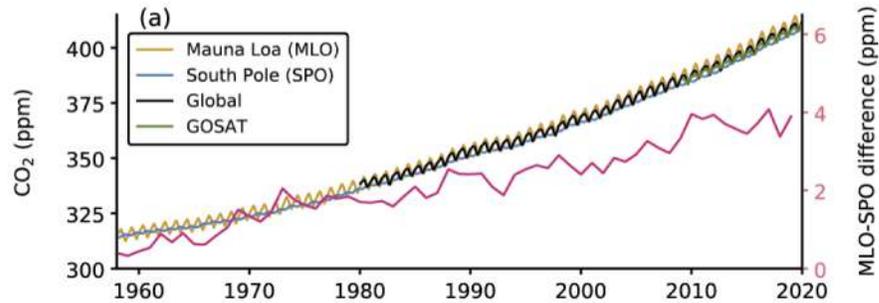
Devenir des émissions de CO₂



Niveau actuel de CO₂ 50% au-dessus du niveau pré-industriel
inédit sur plus de 2 millions d'années
10 x rapide qu'au cours des derniers 800 000 years
4-5x+ + rapide / derniers 56 millions d'années

Cette augmentation est sans équivoque due aux activités humaines

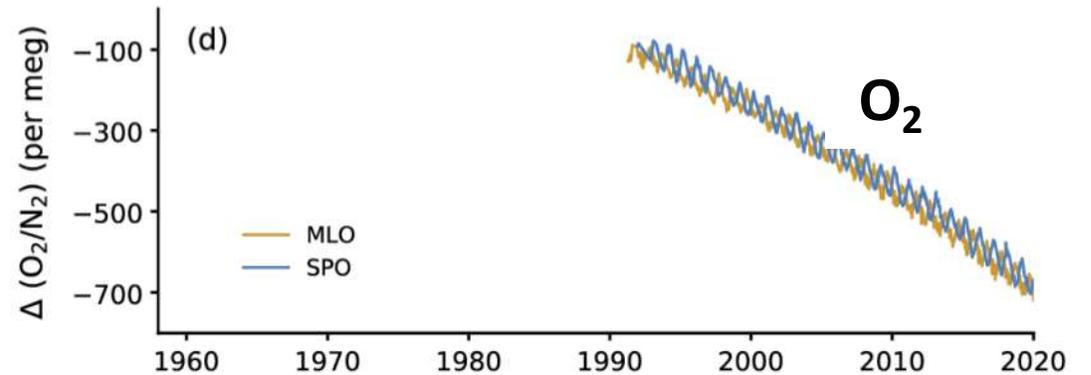
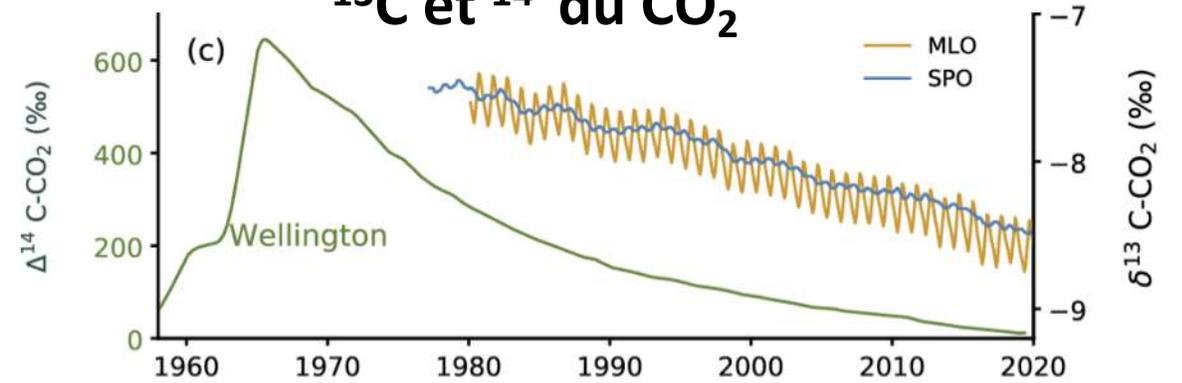
Gradient inter-hémisphérique



CO₂ ajouté dans l'atmosphère

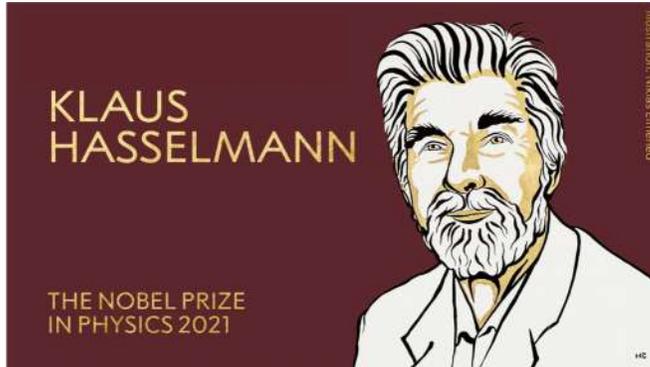
- très ancien
- initialement issu de plantes
- provenant d'un processus de combustion
- principalement émis dans l'hémisphère nord

¹³C et ¹⁴ du CO₂



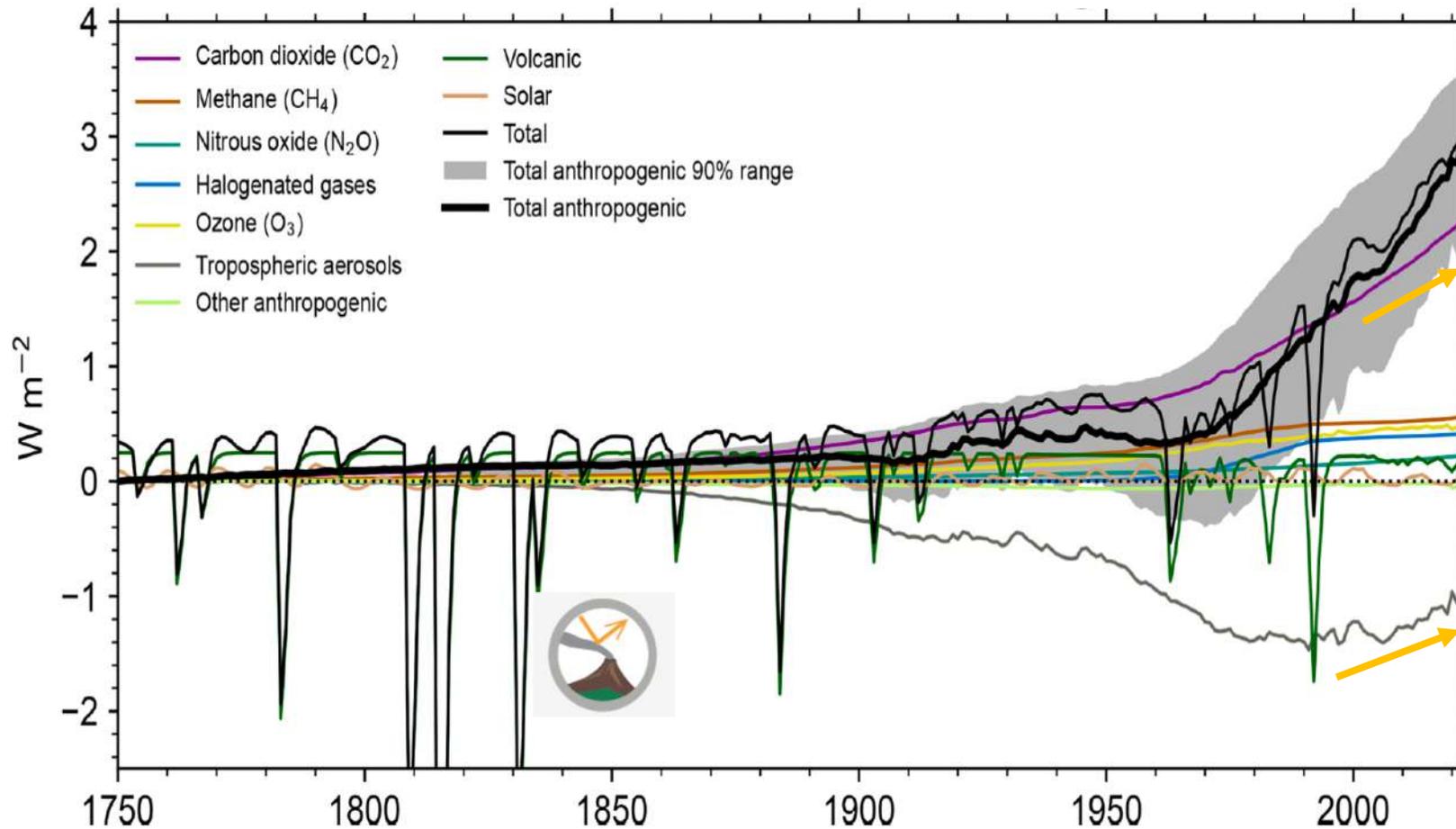
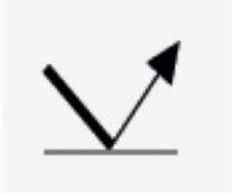


Attribution



Processus d'évaluation des contributions relatives de multiples facteurs causatifs à un changement ou un évènement, avec une évaluation du degré de confiance

La hausse des concentrations de gaz à effet de serre entraîne une accumulation de chaleur



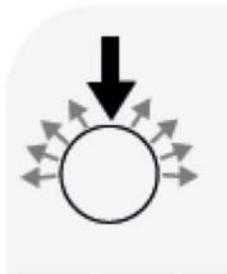
effet de serre supplémentaire



effet « parasol »
des particules
de pollution



Le déséquilibre énergétique de la Terre entraîne des changements rapides et généralisés

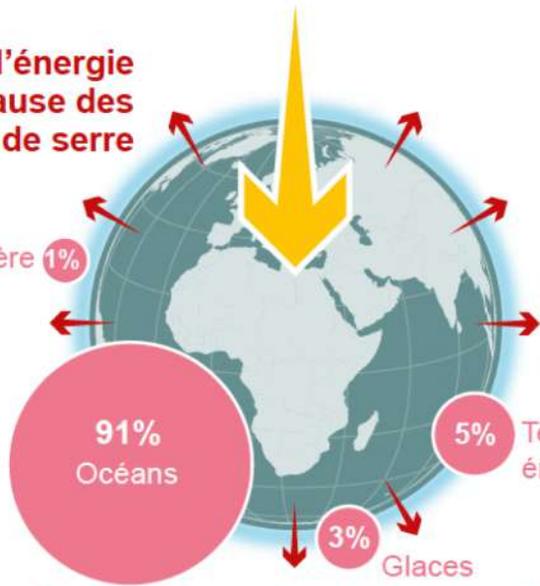


Aujourd'hui : en déséquilibre

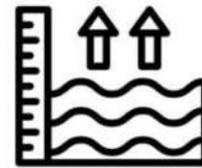
Énergie solaire entrante

Moins d'énergie sortante à cause des gaz à effet de serre

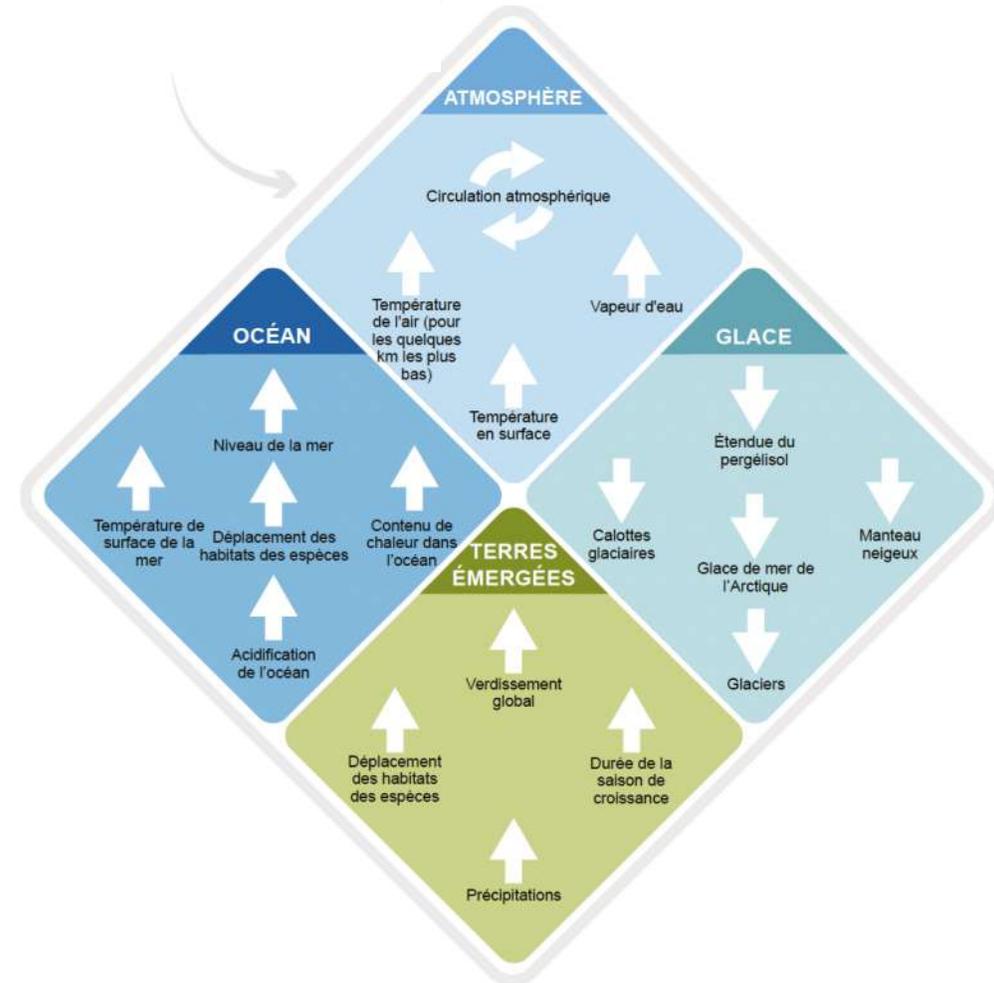
Atmosphère 1%



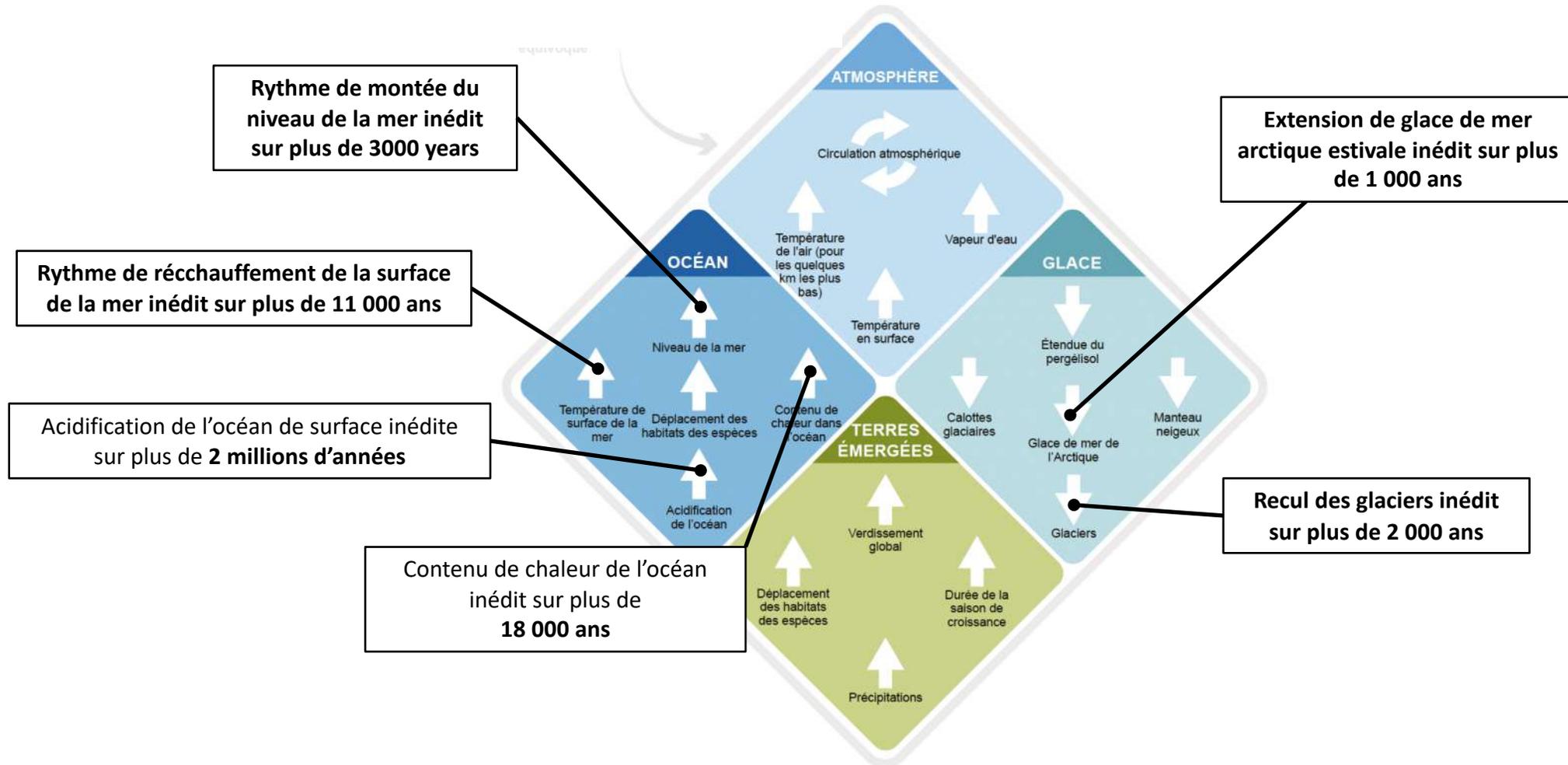
Excès d'énergie qui s'accumule



Accélération de la montée du niveau de la mer

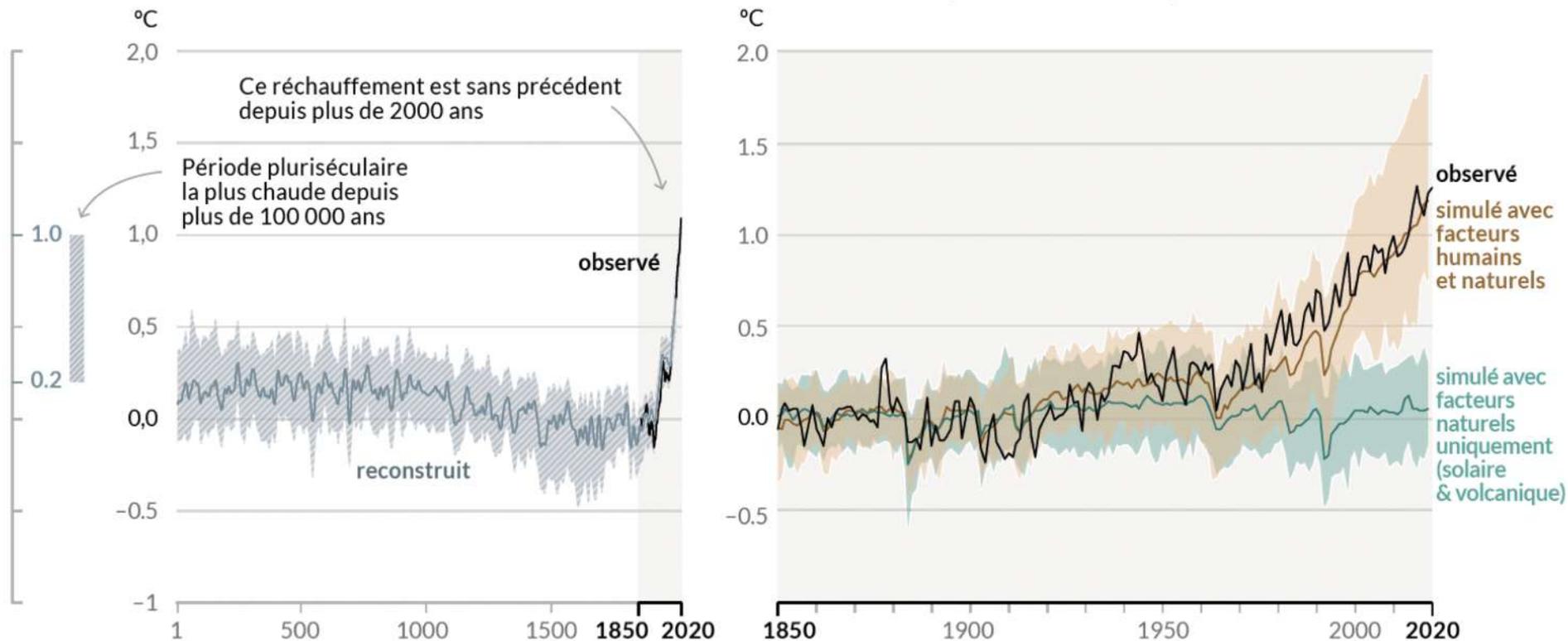


Les changements observés sont inédits par rapport aux derniers millénaires



Les changements observés sont inédits par rapport aux derniers millénaires

Changement de la température à la surface du globe par rapport à la période 1850-1900

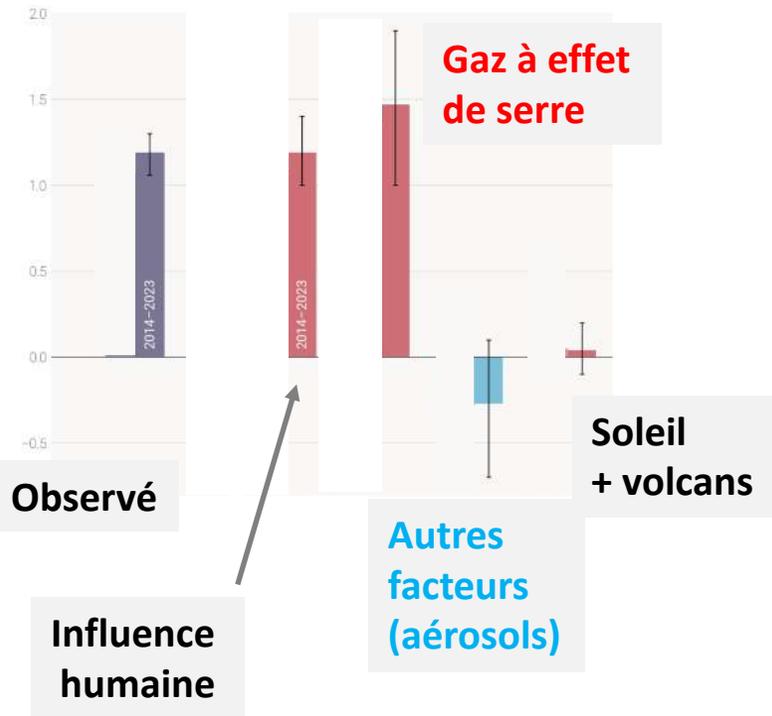


Il est sans équivoque que les activités humaines sont responsables du réchauffement

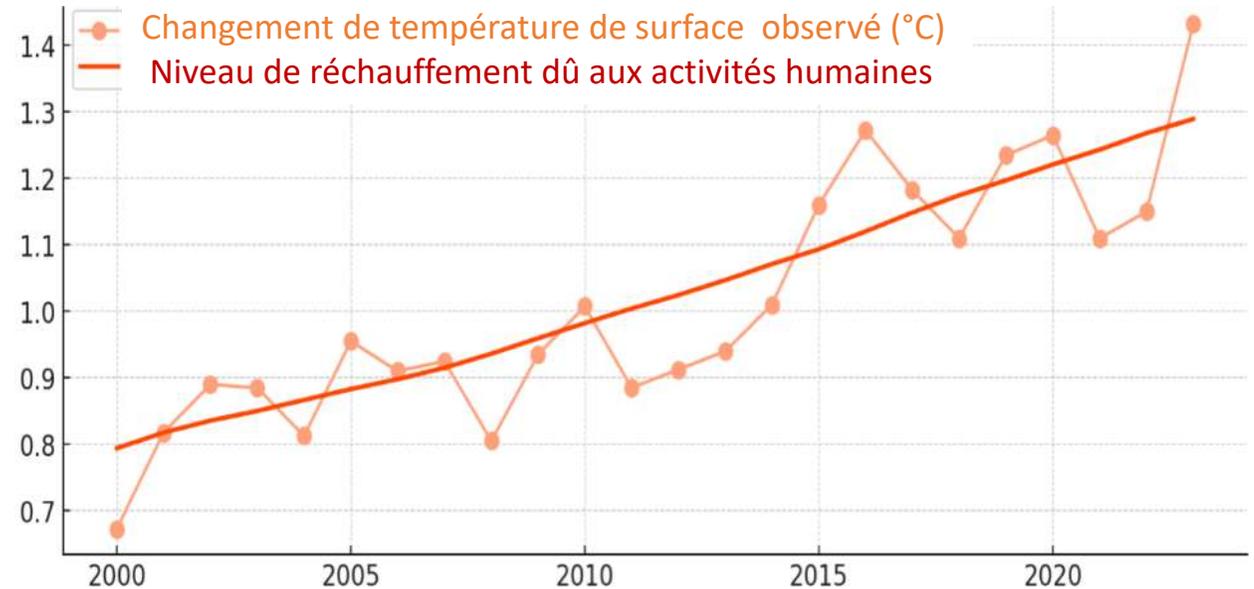


par rapport
à 1850-1900

Attribution (°C)



Modulation d'une année à l'autre par la variabilité naturelle



Fait établi : influence humaine sur l'ensemble du système climatique

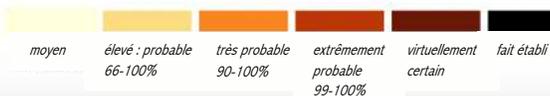
Indicateurs de l'état du climat

Changements observés

Influence humaine

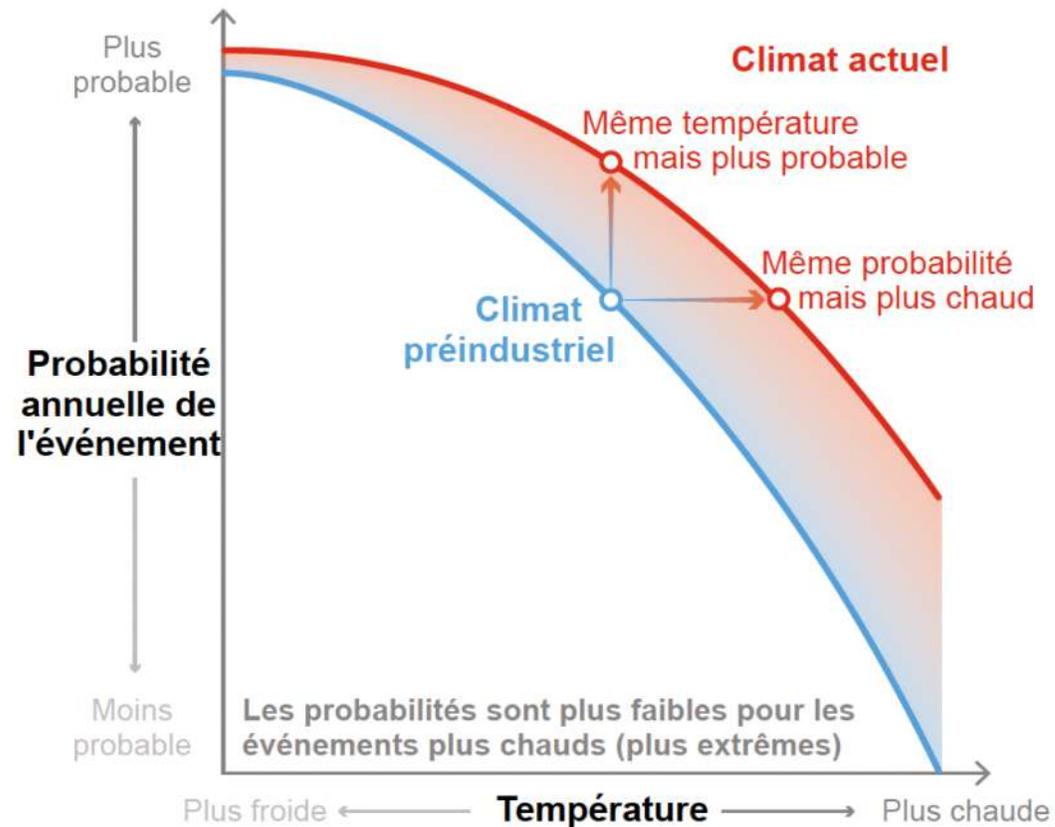
Atmosphère et cycle de l'eau	Réchauffement de surface depuis 1850-1900		La fourchette probable (66%) de la contribution humaine recoupe la fourchette du réchauffement observé
	Réchauffement troposphère depuis 1979		Facteur principal
	Refroidissement bas stratosphère depuis 1950		Facteur principal 1979-1995
	Changements des précipitations et d'humidité de la troposphère depuis 1979		
	Expansion de la cellule de Hadley depuis les années 1980		Hémisphère sud
Océan	Augmentation du contenu de chaleur depuis 1970		Facteur principal
	Changements de salinité depuis 1950		
	Montée du niveau de la mer depuis 1970		Facteur principal
Cryosphère	Recul de la glace de mer arctique depuis 1979		Facteur principal
	Recul du manteau neigeux de printemps de l'hémisphère nord depuis 1950		
	Perte de masse de la calotte du Groenland depuis 1990		
	Perte de masse de la calotte antarctique depuis 1990		Éléments probants limités, degré de cohérence moyen
	Recul des glaciers		Facteur principal
Cycle du carbone	Augmentation de l'amplitude du cycle saisonnier du CO ₂ atmosphérique depuis 1960		Facteur principal
	Acidification de l'océan de surface		Facteur principal
Surfaces continentales	Réchauffement amplifié		Facteur principal
Synthèse : réchauffement du système climatique depuis la période pré-industrielle			

Degré de confiance



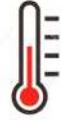
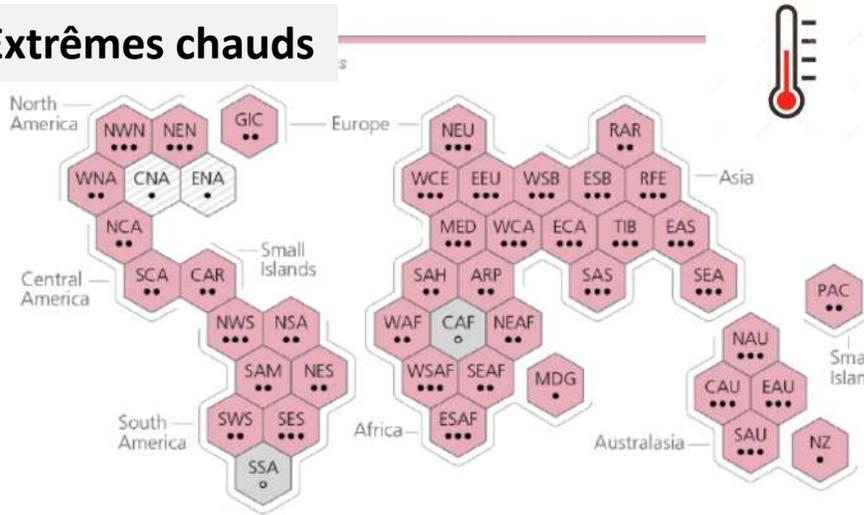
Le réchauffement dû aux activités humaines entraîne des évènements extrêmes plus fréquents et plus intenses

Le changement climatique affecte la probabilité d'occurrence et l'intensité d'évènements extrêmes chauds

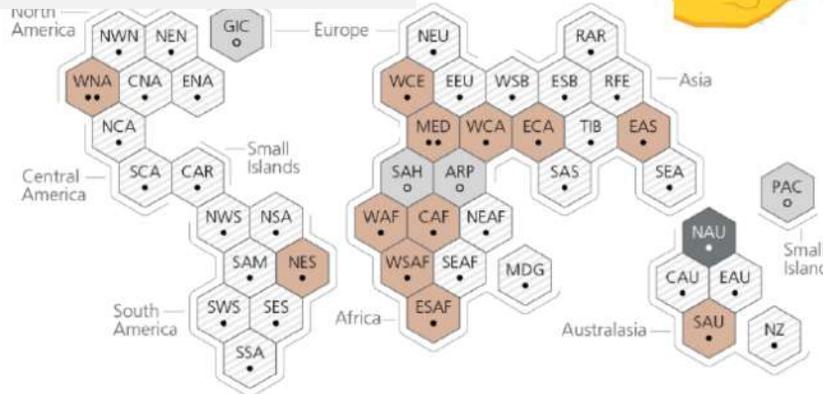


Le réchauffement dû aux activités humaines entraîne des évènements extrêmes plus fréquents et plus intenses

Extrêmes chauds



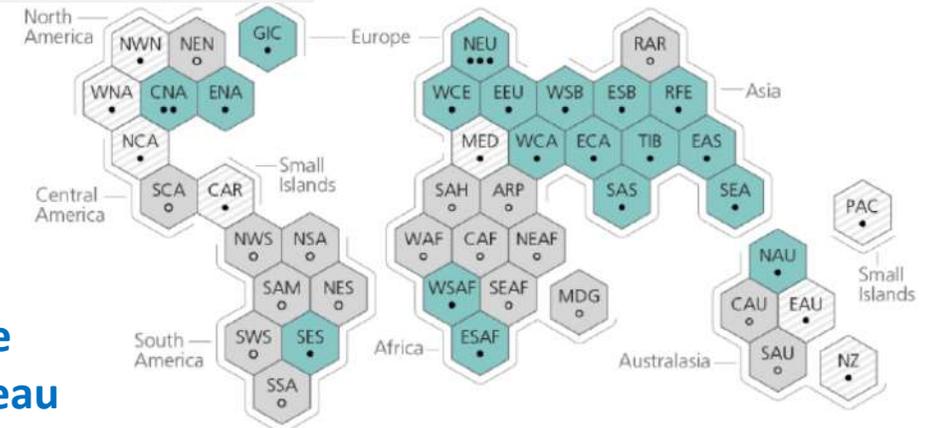
Sécheresses agricoles



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



Pluies extrêmes



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 culture
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

Villes et infrastructures



Inondations
Inondations zone côtières
Dommages infrastructures
Dommages économiques

Biodiversité et écosystèmes



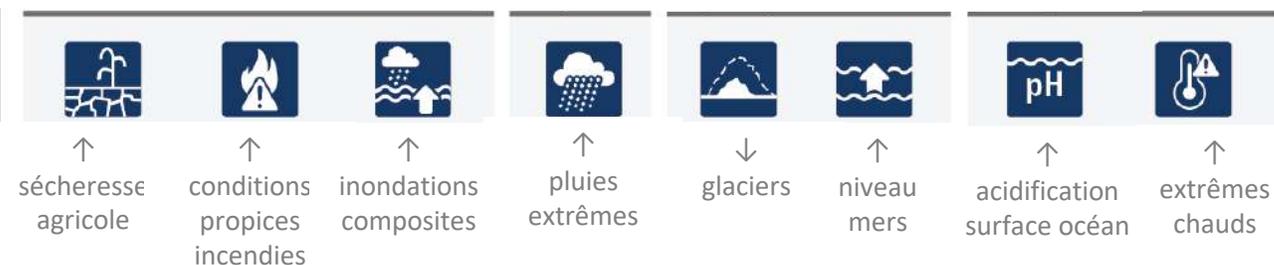
Ecosystèmes terrestres
Ecosystèmes d'eau douce
Ecosystèmes océaniques

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

En France, diminution du puits de carbone des forêts gérée

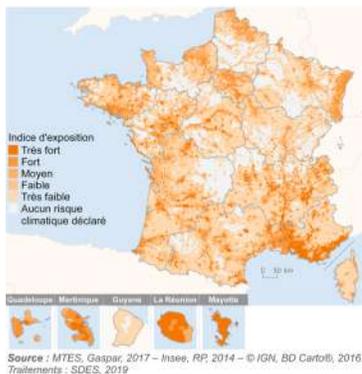


Les facteurs climatiques générateurs d'impacts vont s'accroître avec chaque incrément de réchauffement



La France est particulièrement exposée, le changement climatique touche durement les Français

62% de la population est exposée de manière forte ou très forte aux risques climatiques



2022 coût pour les assureurs : **10 Mrd€**

- Restrictions dans 93 départements, 16 en crise
- 2000 communes proches rupture d'approvisionnement en eau potable
- Niveaux très bas de nombreux lacs artificiels, 1261 cours d'eau à sec
- Baisse de la production hydroélectrique de 20%
- Rendements de certaines filières agricoles -10 à -30%

2023 coût pour les assureurs : **6,5 Mrd€**

- 2023 2^{ème} année la + chaude quasiment au niveau de 2022
- Vague de chaleur exceptionnelle 17-24 août 2023 en métropole
- Automne 2023 le + chaud enregistré
- Record précipitations automne et inondations graves Pas-de-Calais
- Sécheresse historiques (Pyrénées-Orientales, Guyane, Mayotte) – crise de l'eau à Mayotte

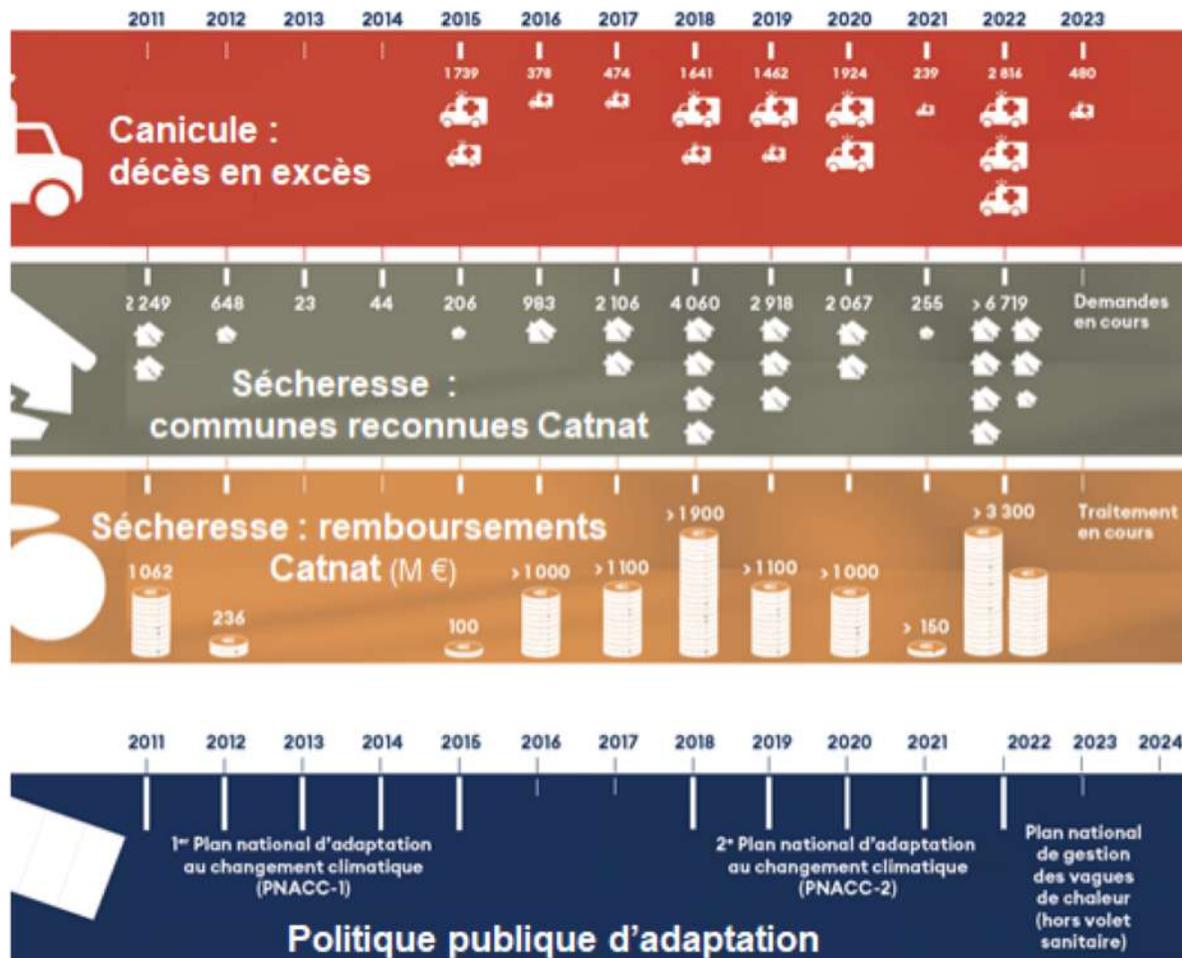


Conséquences de la montée du niveau de la mer

Vulnérabilités importantes
Limites aux capacités de réponses

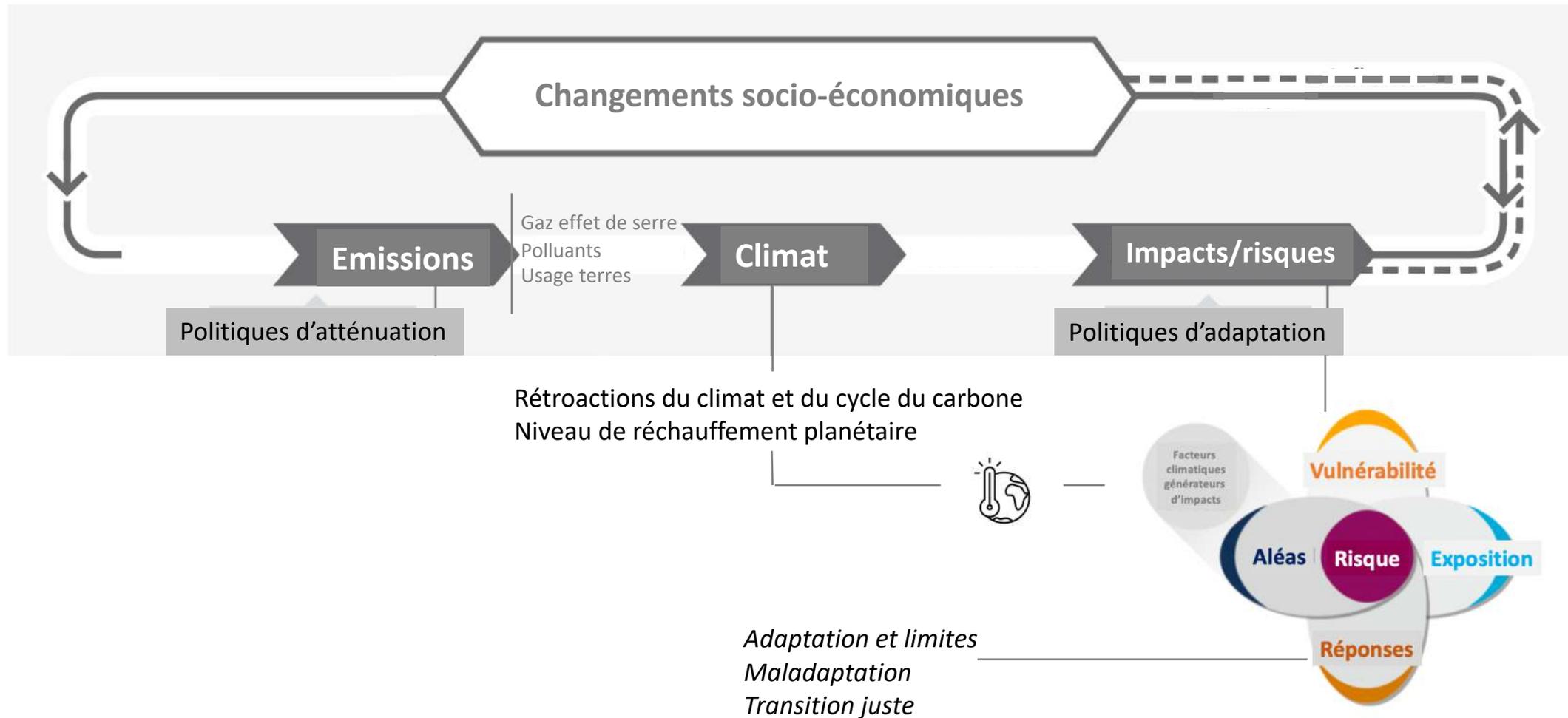


Agir sur les causes et les conséquences du changement climatique pour protéger la population et les entreprises face à l'aggravation des impacts



- Santé
- Production agricole
- Vulnérabilités spécifiques
- Limites de capacités
- Habitabilité de certains territoires
- Coûts
- Limites à l'assurabilité

Chaînes de causalité : émissions, niveau de réchauffement planétaire, risques



SYUKURO
MANABE

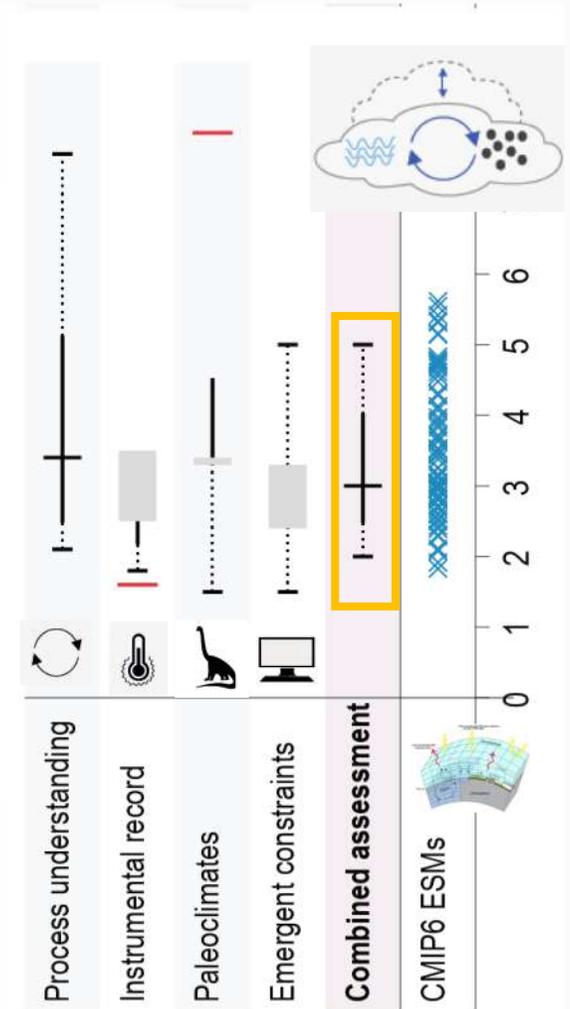
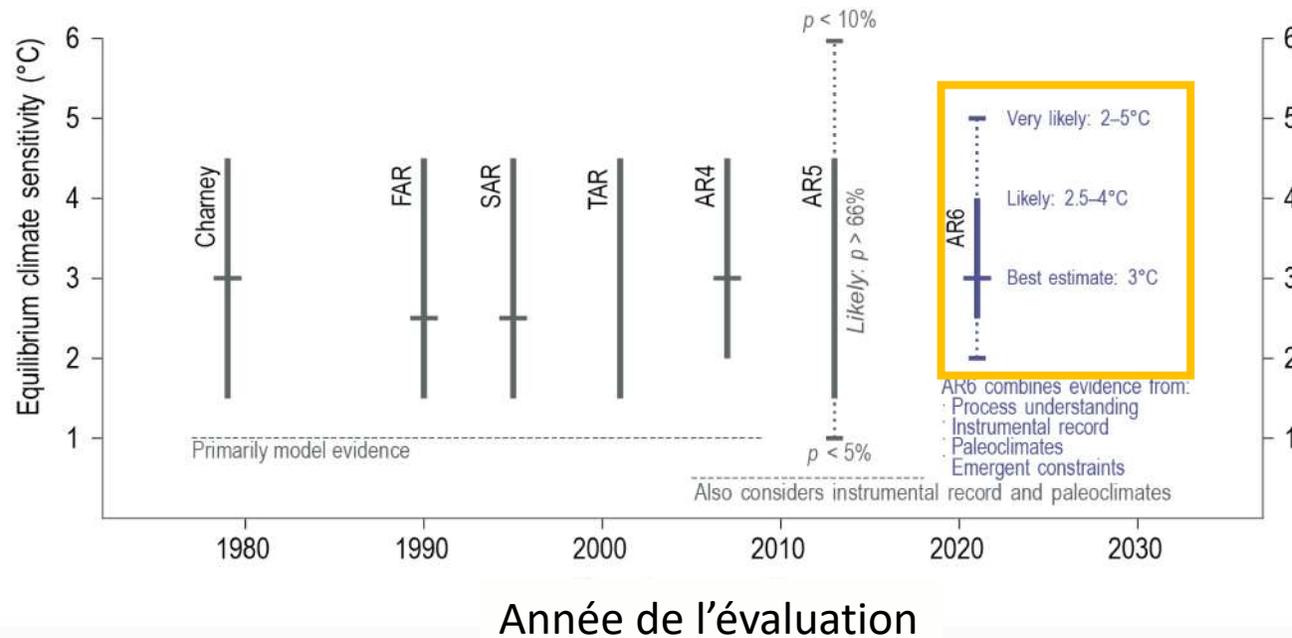


THE NOBEL PRIZE
IN PHYSICS 2021

Sensibilité du climat à l'équilibre

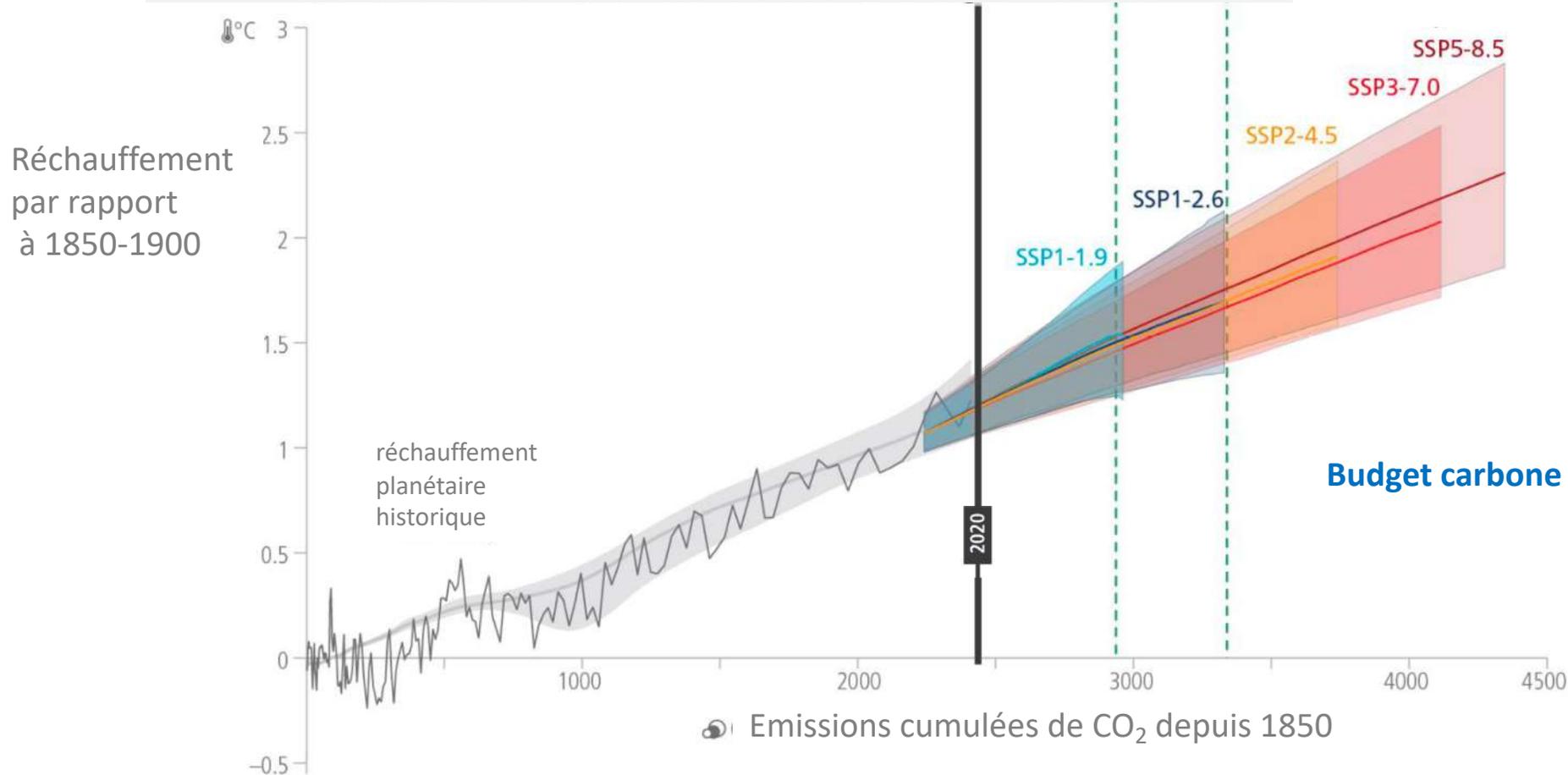
Réponse de la température de surface planétaire, à l'équilibre, après un doublement de la concentration en CO₂ atmosphérique.

Evolution de l'évaluation de la sensibilité du climat (°C) depuis le rapport Charney



Chaque tonne de CO₂ émise ajoute un réchauffement supplémentaire

Emissions cumulées de CO₂ et réchauffement d'ici 2050



Si émissions de CO₂ à zéro net :
pas de réchauffement supplémentaire

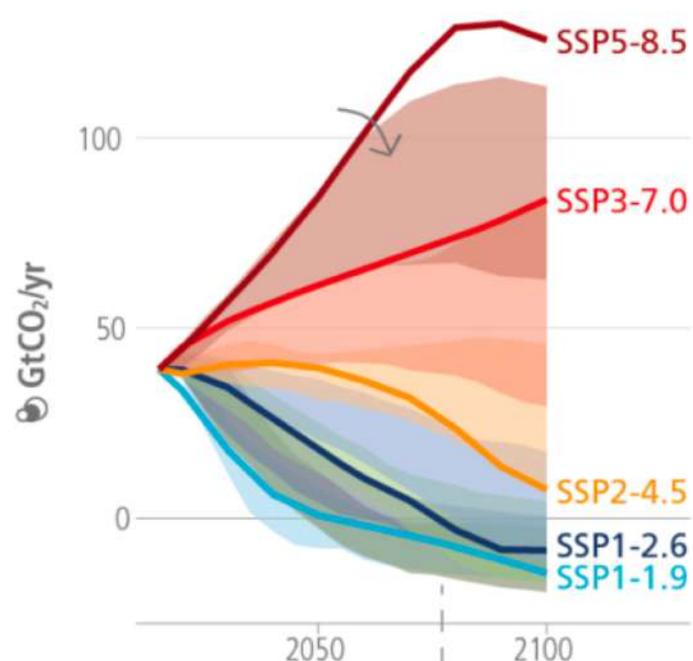
Au-delà de 2050 (+2°C) :
perte d'efficacité de la
réponse naturelle des
puits de carbone

Budget carbone résiduel pour 1,5°C : 200 GtCO₂



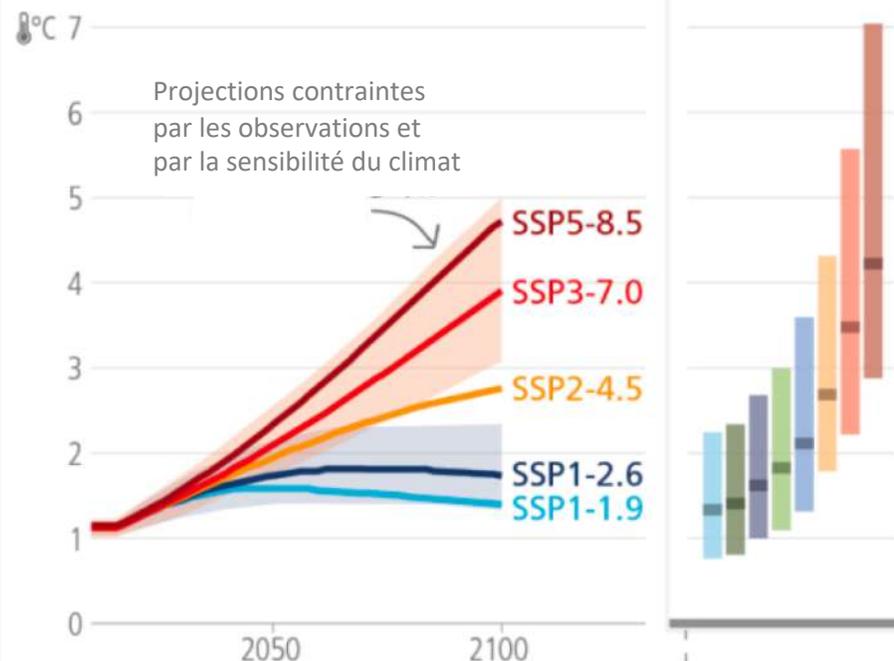
Le réchauffement à venir dépend des émissions à venir

Emissions scénarios et trajectoires



+ composés à courte durée de vie
(notamment effet net méthane - particules)

Changement de température de surface planétaire



+ modulations
par la variabilité naturelle

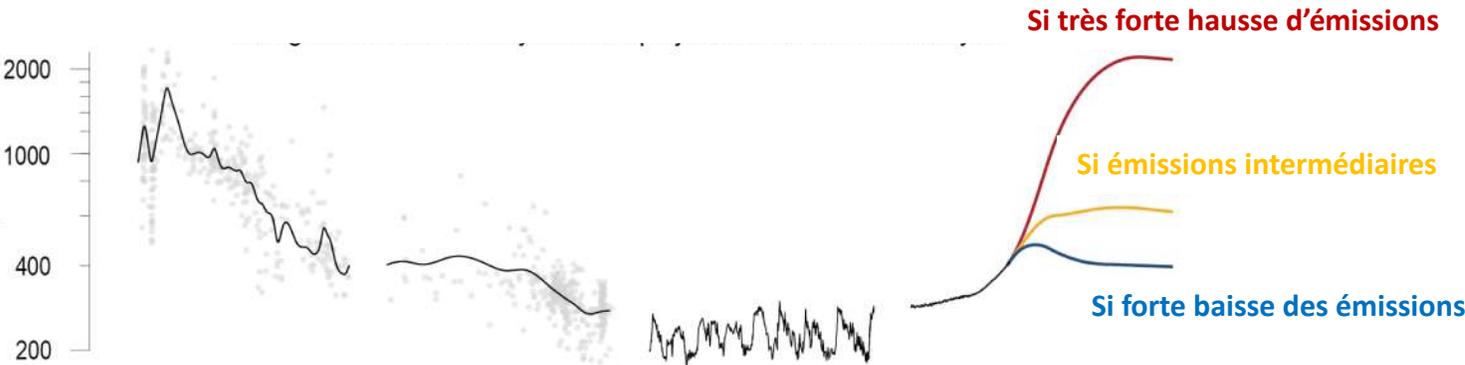
en cas de forte baisse
des émissions,
des effets discernables
d'ici environ 20 ans
sur la température
planétaire



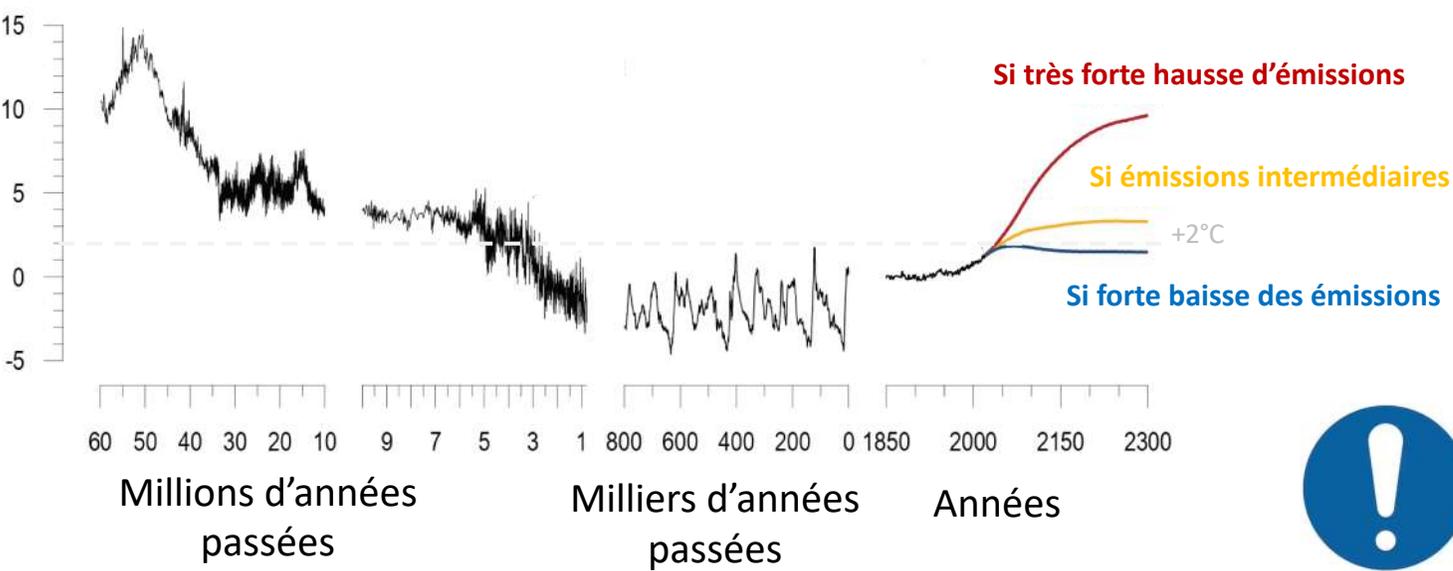
**Adaptation
transformatrice**

Ruptures par rapport aux variations passées

Concentration atmosphérique CO₂ (ppm)

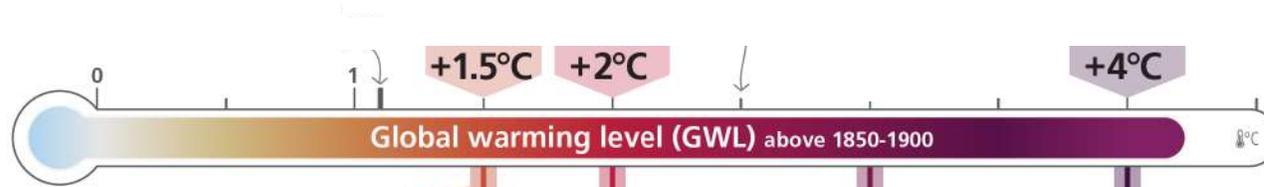


Changement de la température de surface par rapport à 1850-1900 (°C)

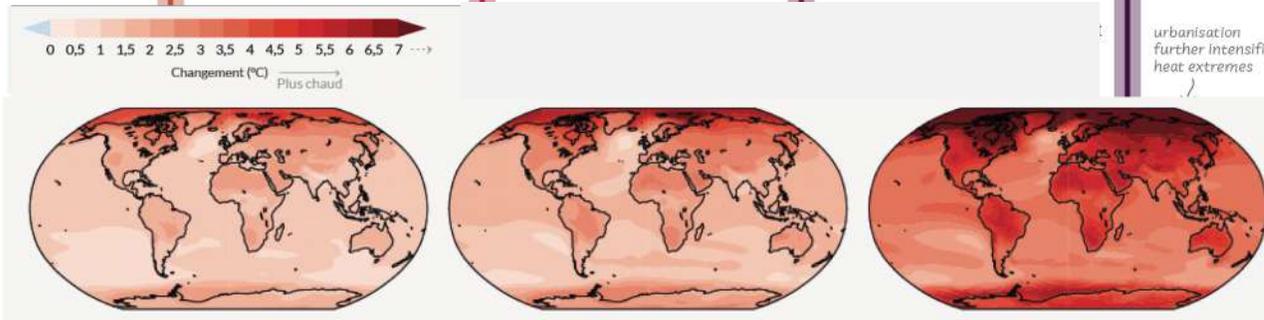


Chaque incrément de réchauffement supplémentaire entraîne des changements régionaux + généralisés et + prononcés

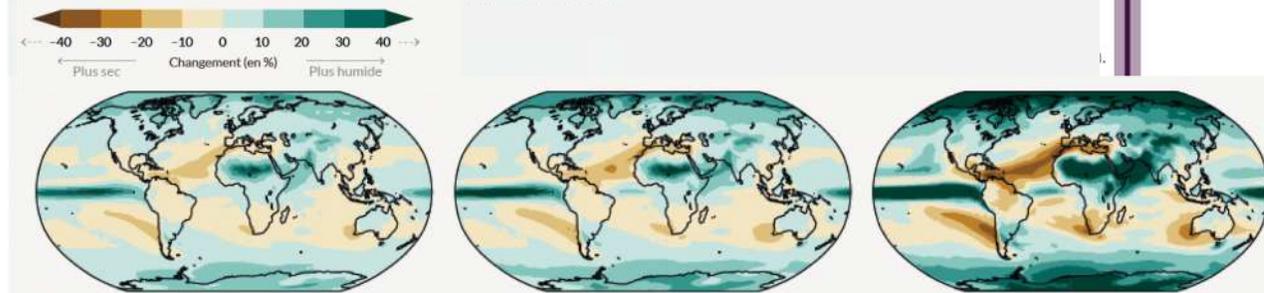
Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900



Changement de la température moyenne annuelle

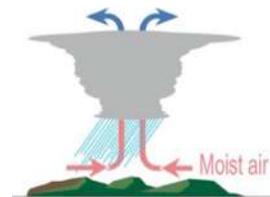


Changement de précipitations moyennes annuelles



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

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>



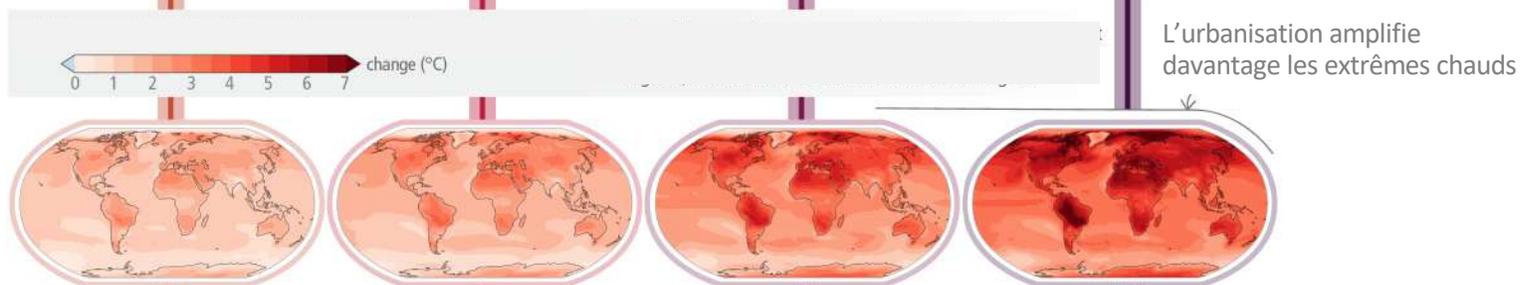
Intensification du cycle de l'eau et de sa variabilité

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

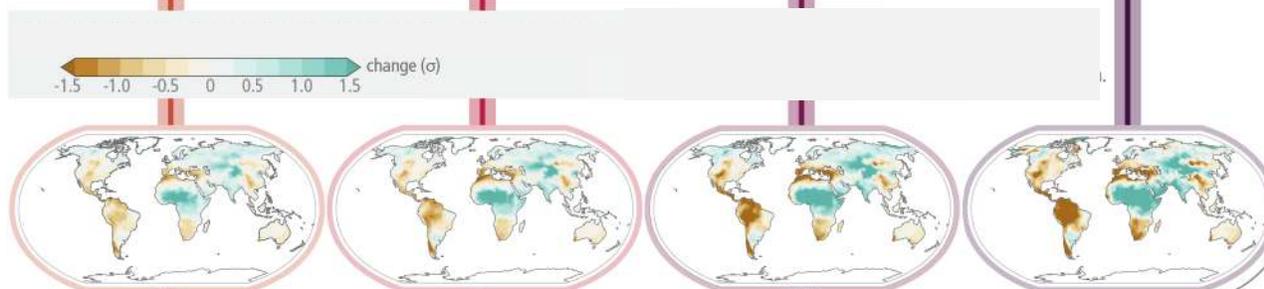
Niveau de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900



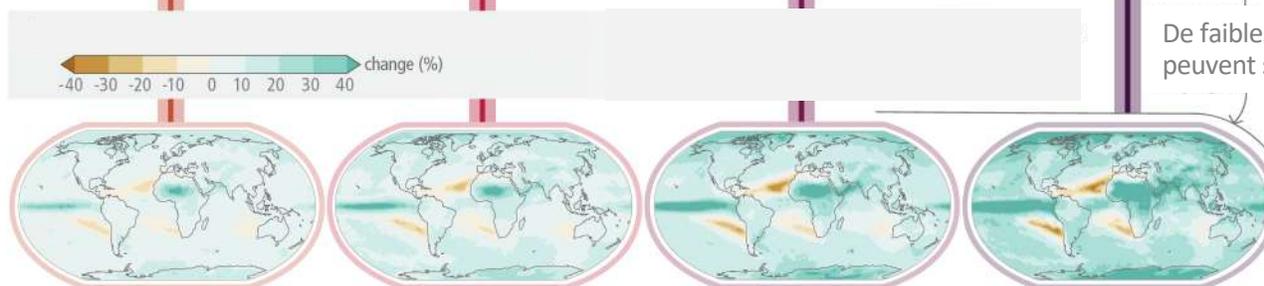
Changement de la température du jour le plus chaud



Changement de l'humidité des sols (moyenne annuelle)



Changement de précipitations pour le jour le plus pluvieux

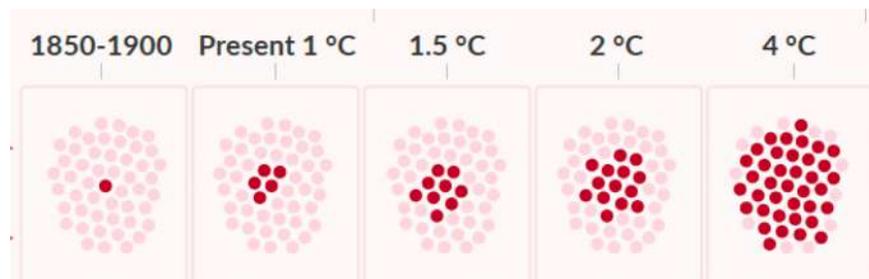
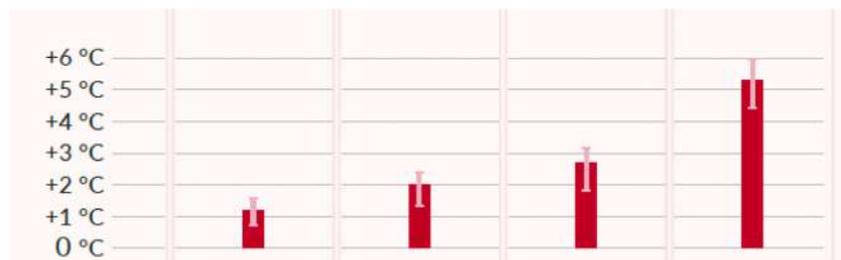


Les changements de multiples facteurs climatiques générateurs d'impacts vont s'accroître avec chaque incrément de réchauffement planétaire

Chaleur extrême

+ intense

+ fréquente



2015

2035

2050?

?

Anticiper 50°C à Paris



Un réchauffement plus prononcé en France que la moyenne planétaire

Monde <i>ref 1850-1900</i>	1.5°C	2°C	3°C
Fr-Met <i>ref 1900-1930</i>	2°C	2.7°C	4°C

Climat moyen =
niveau records température 2022 et 2023 en France

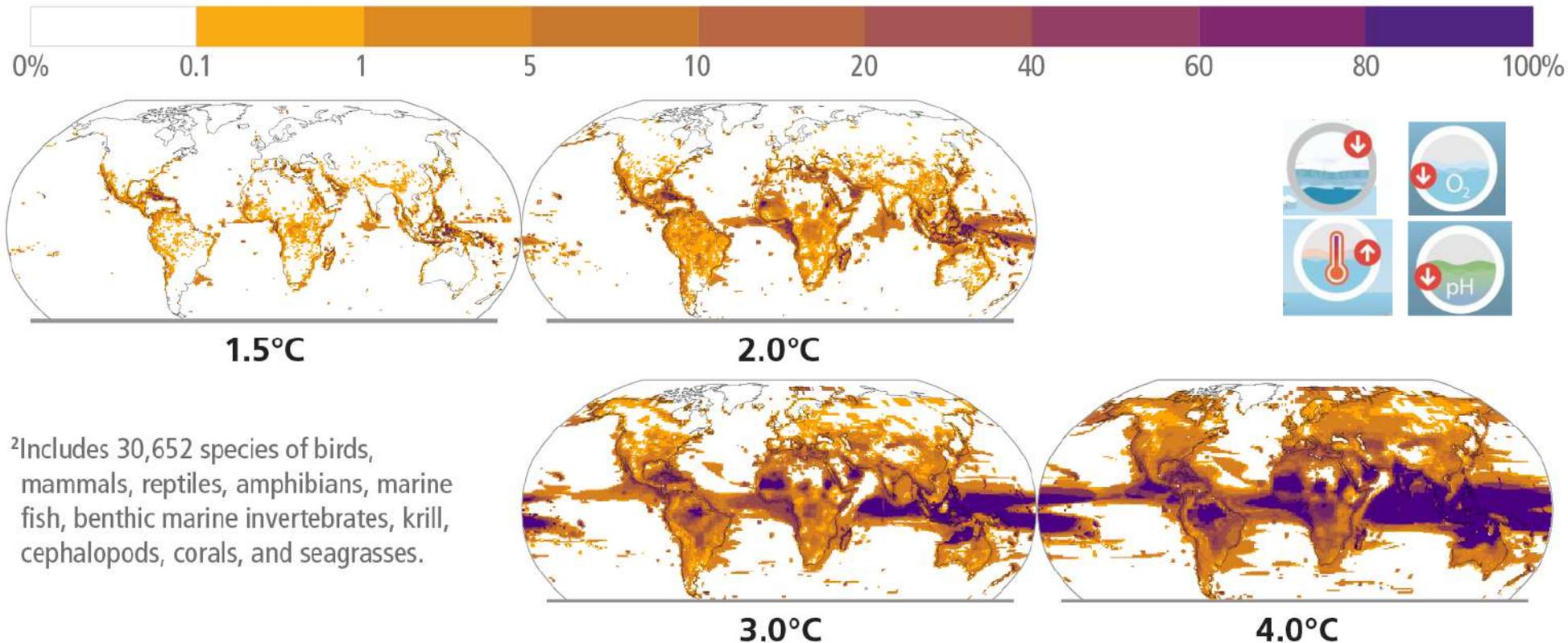
Changer d'échelle pour l'adaptation

Trajectoire de référence

Référentiels obsolètes, ex : confort thermique, prévention risques inondations

Risques clés : écosystèmes et biodiversité

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

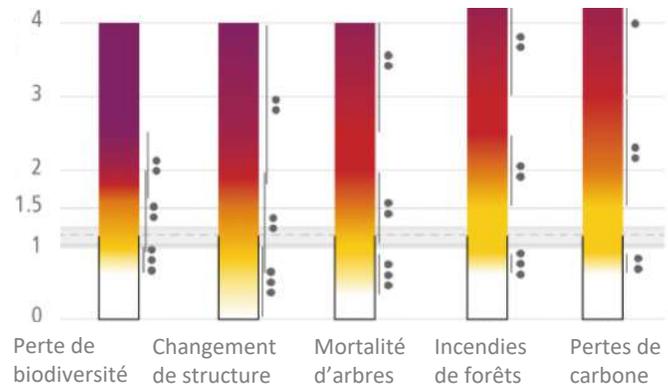


Protéger les écosystèmes, réduire les autres pressions

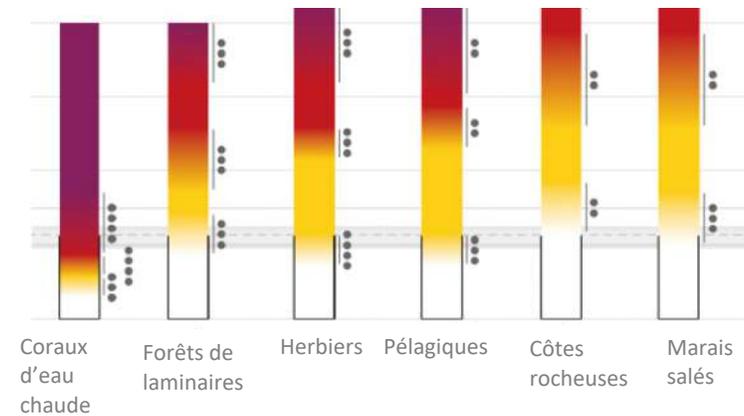
Risques clés : écosystèmes

Impacts et risques pour les écosystèmes terrestres et aquatiques

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



Impacts et risques pour les écosystèmes marins

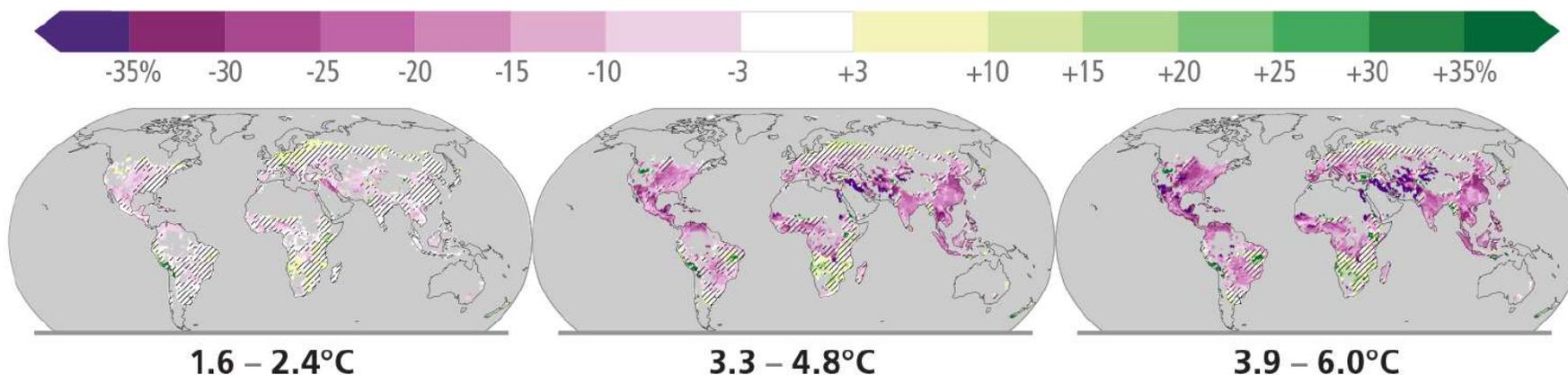


Limites : eau, biomasse, solutions fondées sur la nature

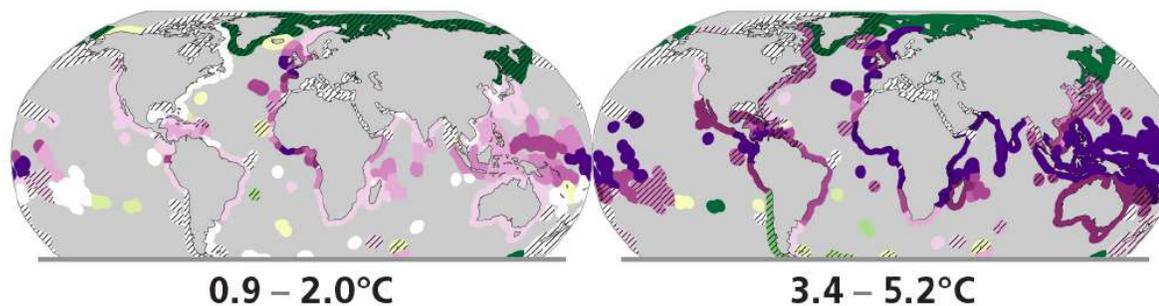
Risques clés : production agricole, pêches



Rendement maïs (%)



Potentiel de prises de pêches (%)



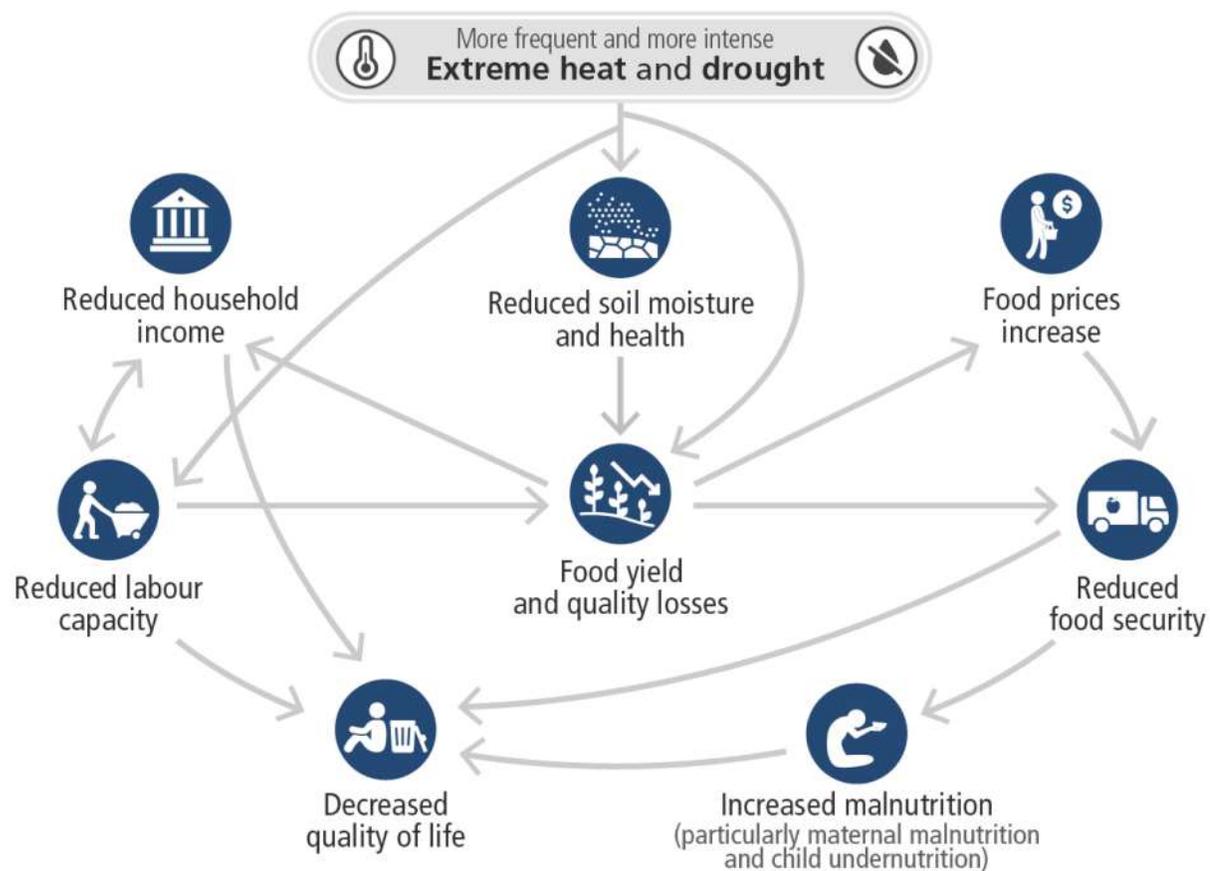
-  Zones de faible production ou absence d'évaluation
-  Zones de désaccord entre les modèles

sans adaptation supplémentaire

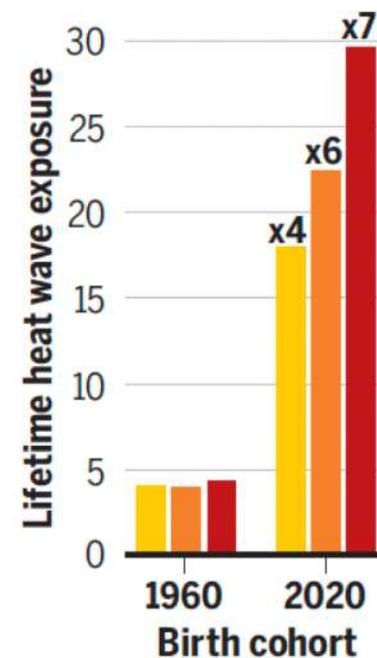


Risques de + en + complexes et difficiles à gérer

Risques de plus en plus complexes



L'exposition aux extrêmes chauds sera multipliée par 4 à 7 pour les jeunes générations

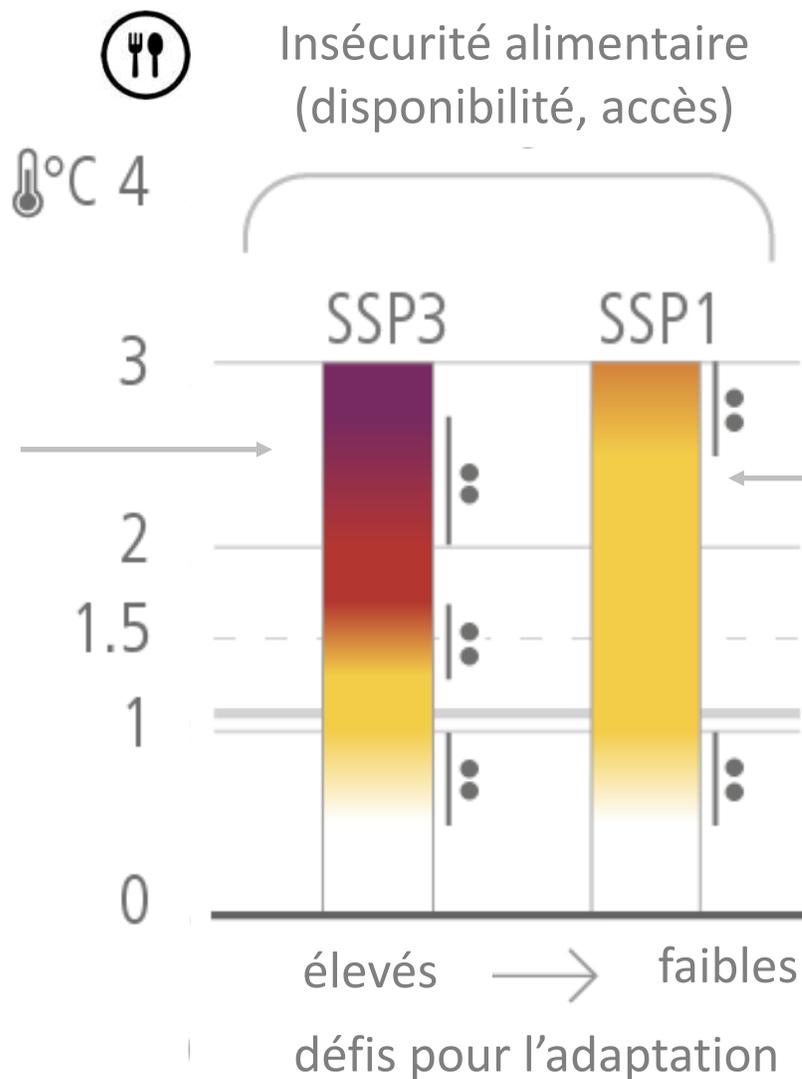


● Current pledges ● 2.0°C ● 1.5°C

Thiery et al, Science, 2021

<https://myclimatefuture.info>

Risques clés : insécurité alimentaire



hausse de la population,
hausse de la demande,
pressions multiples sur les terres,
inégalités croissantes,
faible capacité d'adaptation

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

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

Risque / impact



Transformations des systèmes alimentaires

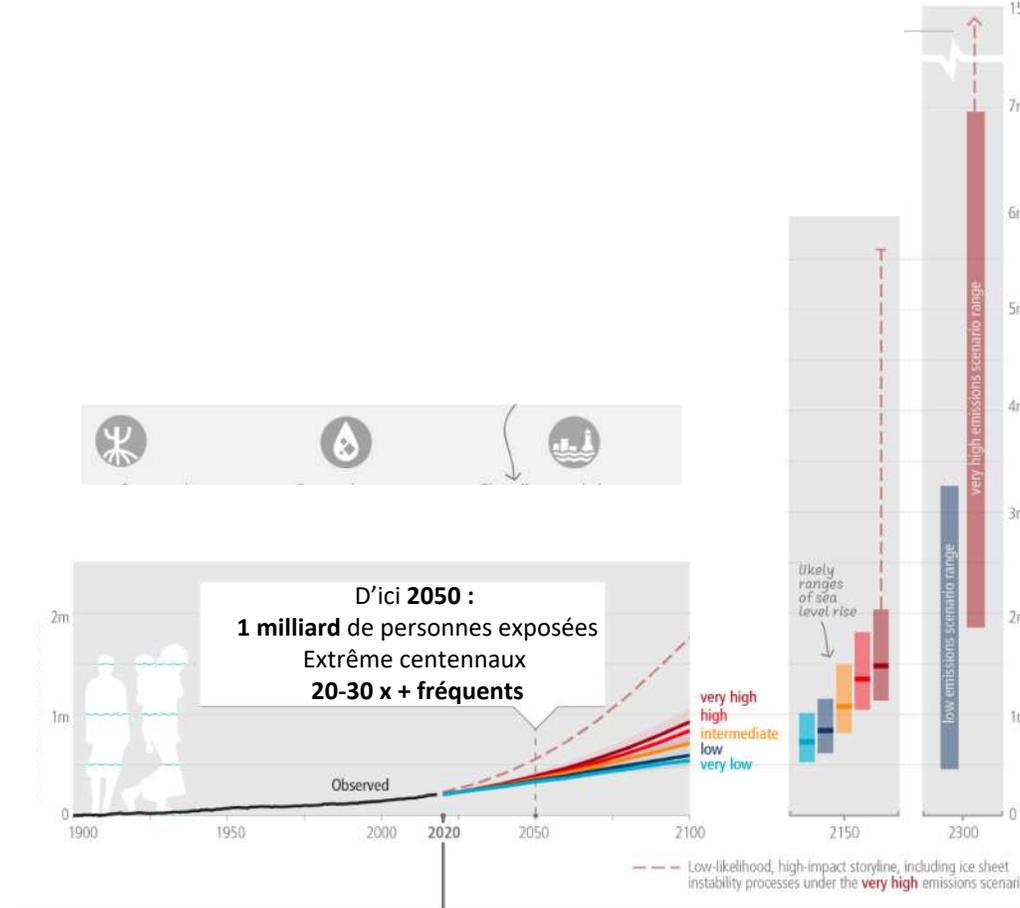
Risques clés : habitabilité

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

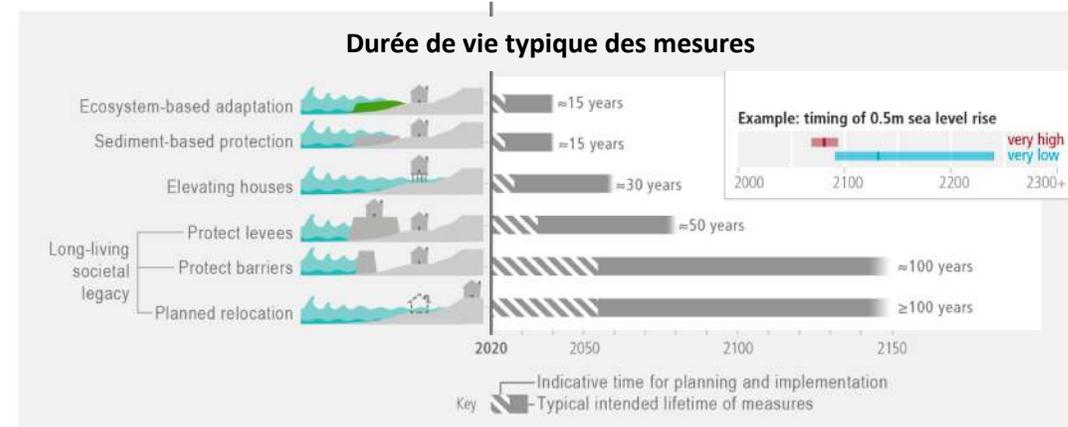
Le rythme et l'ampleur dépendent des émissions à venir et de la réponse des calottes polaires (incertitude profonde)

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

Mètres par rapport à 1900

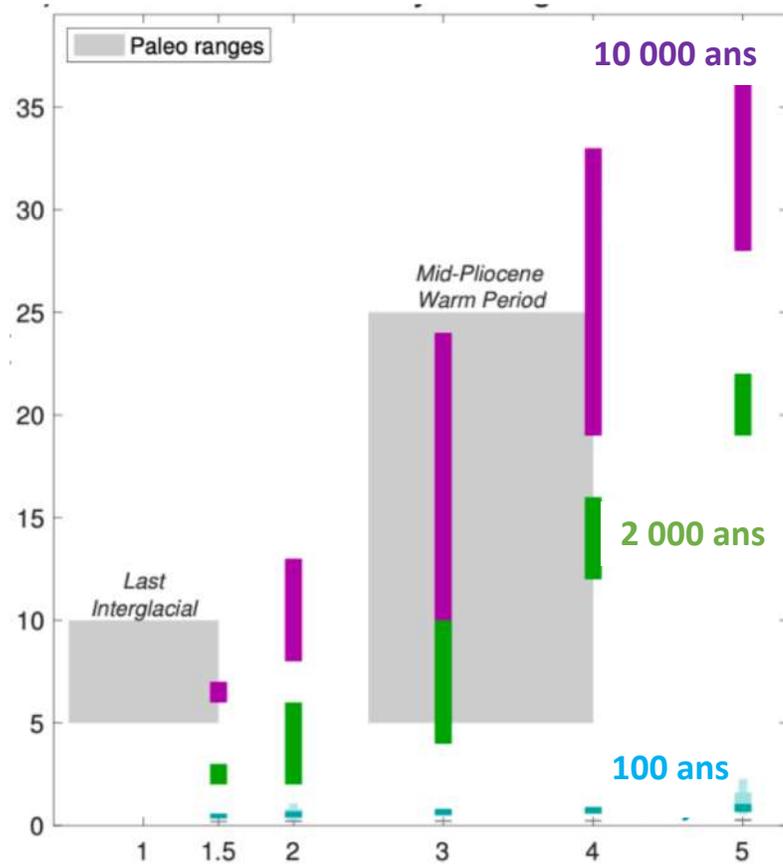


Les mesures pour faire face à la montée du niveau de la mer demandent une planification à long terme



Irreversibilité

Montée du niveau moyen de la mer (m)



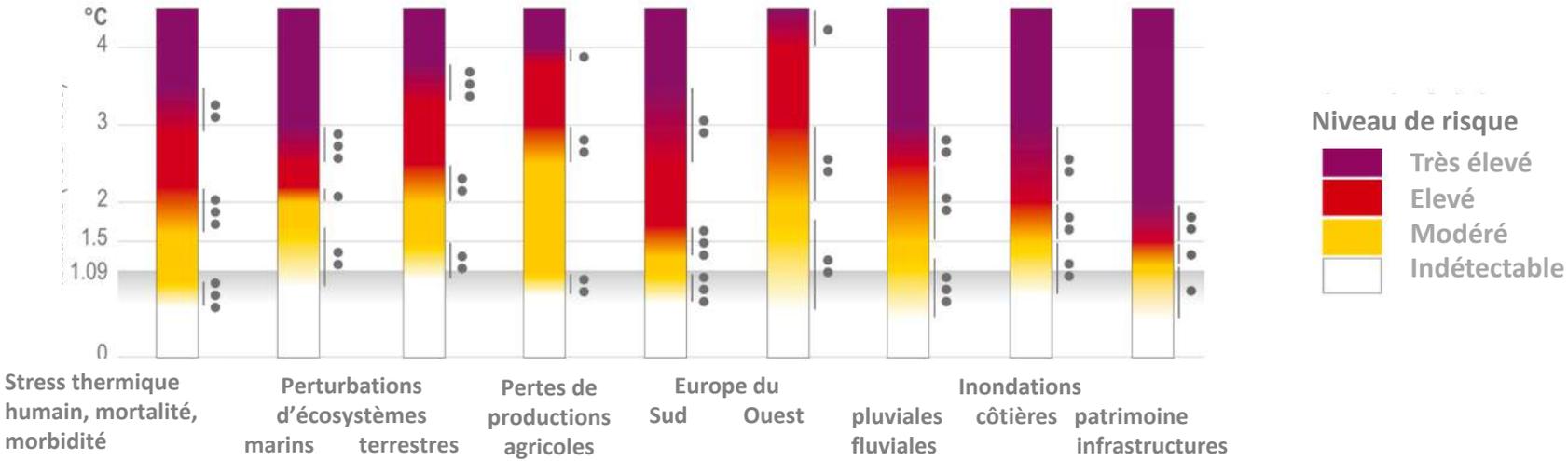
Pic de réchauffement planétaire (°C)

Les projections multimillénaires de montée du niveau de la mer sont cohérentes avec les reconstructions issues des périodes chaudes passées

Risques clés : Europe et petites îles

Risques clés en Europe pour une adaptation basse à moyenne

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



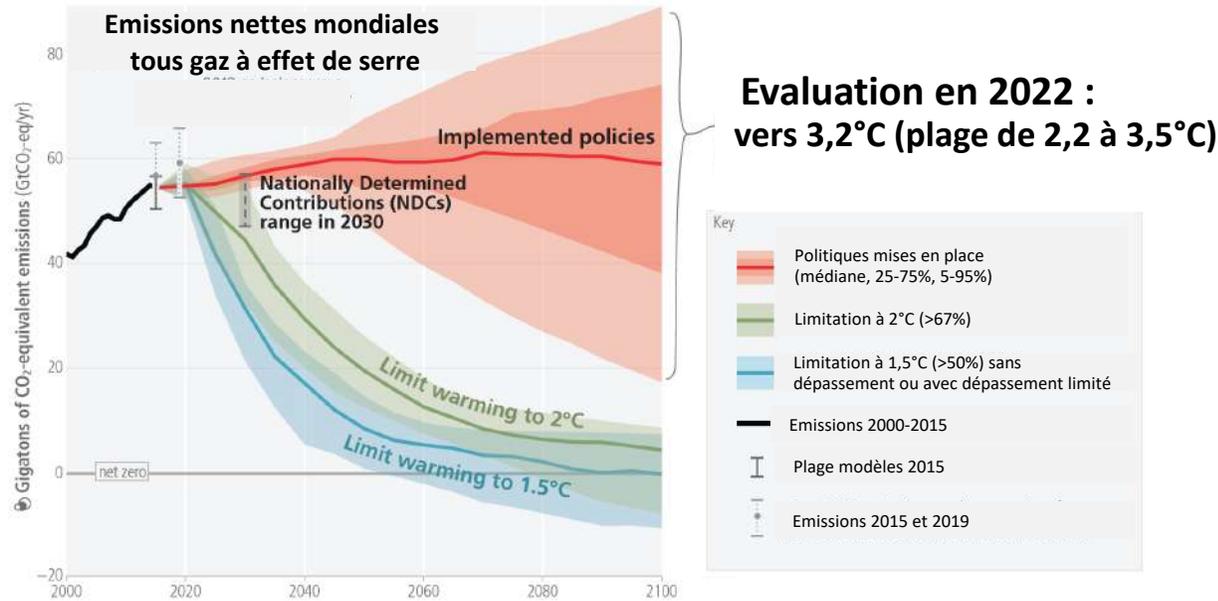
Extrêmes chauds
 Agriculture
 Pénurie d'eau
 Inondations

! Limiter le réchauffement pour limiter les risques

Petites îles :

Dégradation écosystèmes et ressources
 Récifs coralliens
 Stress hydrique
 Insécurité alimentaire
 Inondations (santé, culture)
 Habitabilité
 Pertes et dommages

Limiter le réchauffement sous 2°C et proche de 1,5°C demande des réductions immédiates, rapides et profondes des émissions de gaz à effet de serre



Si respect engagements 2030 :
vers 2,5°C (2,0-3,0°C) en 2100

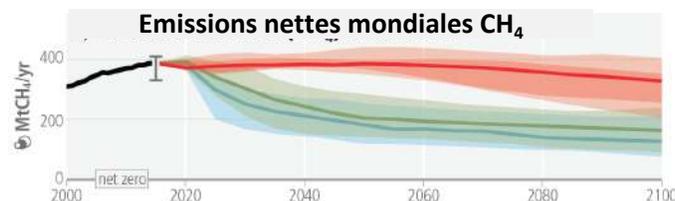
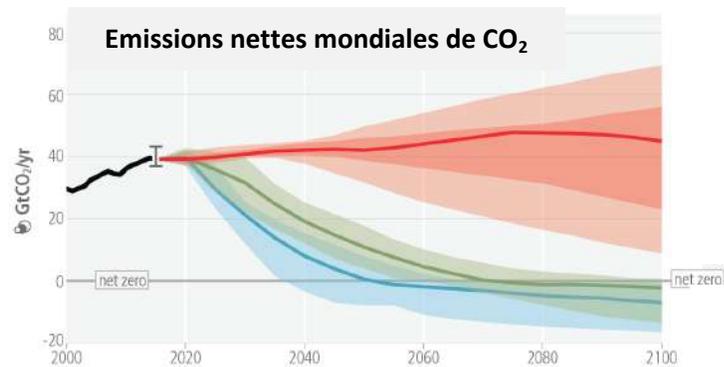
Potentiel technique pour diviser par 2 les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2030

Innovation technologique,
maîtrise de la demande,
solutions fondées sur la nature

Enjeu de mise en œuvre opérationnelle
et réorientation des financements

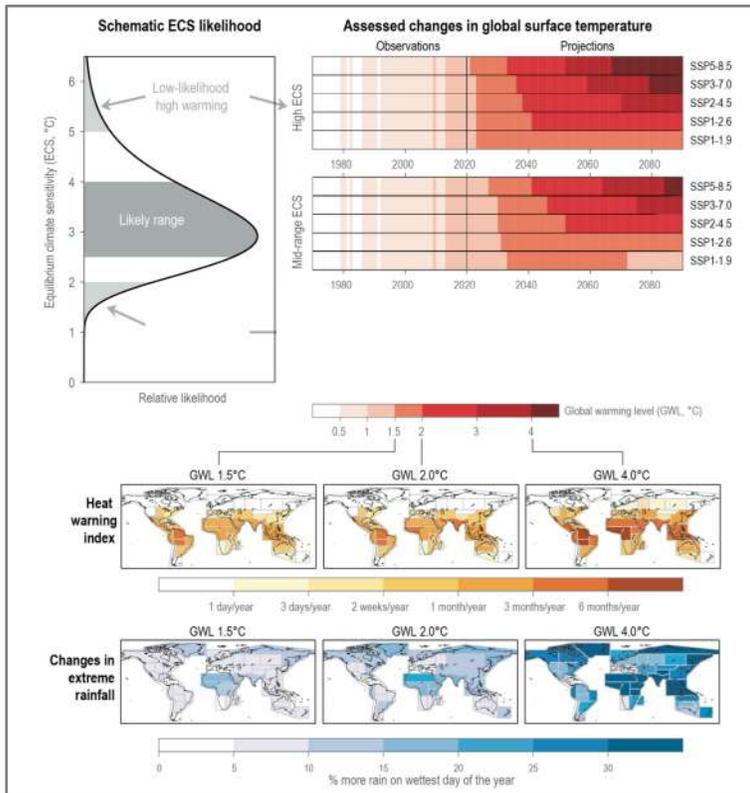


Transformations justes, intégrant
adaptation, atténuation et soutenabilité

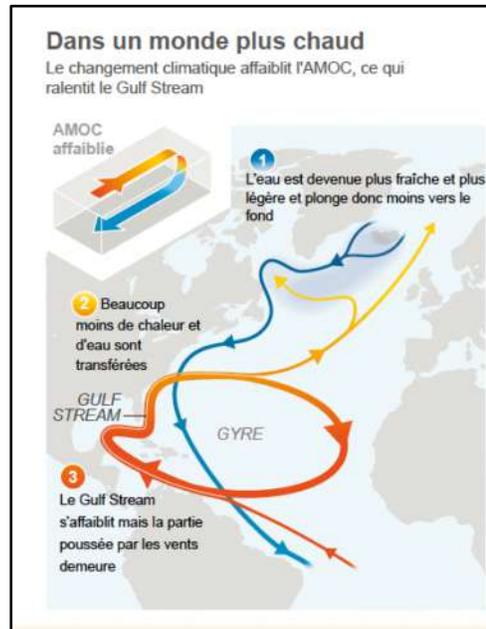


Eventualités de probabilité d'occurrence faible ou inconnue, mais impacts potentiels majeurs

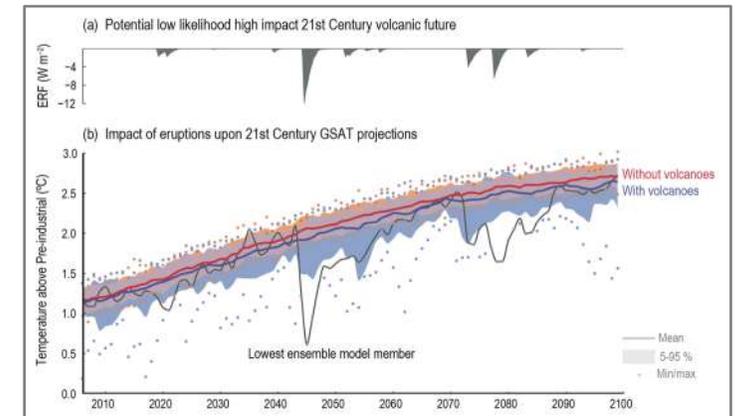
Très forte réponse du système Terre?



Points de bascule?



Eruptions volcaniques explosives



Evaluation complète des risques

Leviers d'actions pour engager les transformations : potentiel au niveau mondial

Options d'adaptation

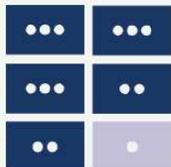
Options d'atténuation

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

GtCO₂-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 CH₄ et N₂O agricoles
↓ pertes & gaspillage alimentaire



Alimentation - santé

Faisabilité et synergies
 High Medium Low
 Insufficient evidence

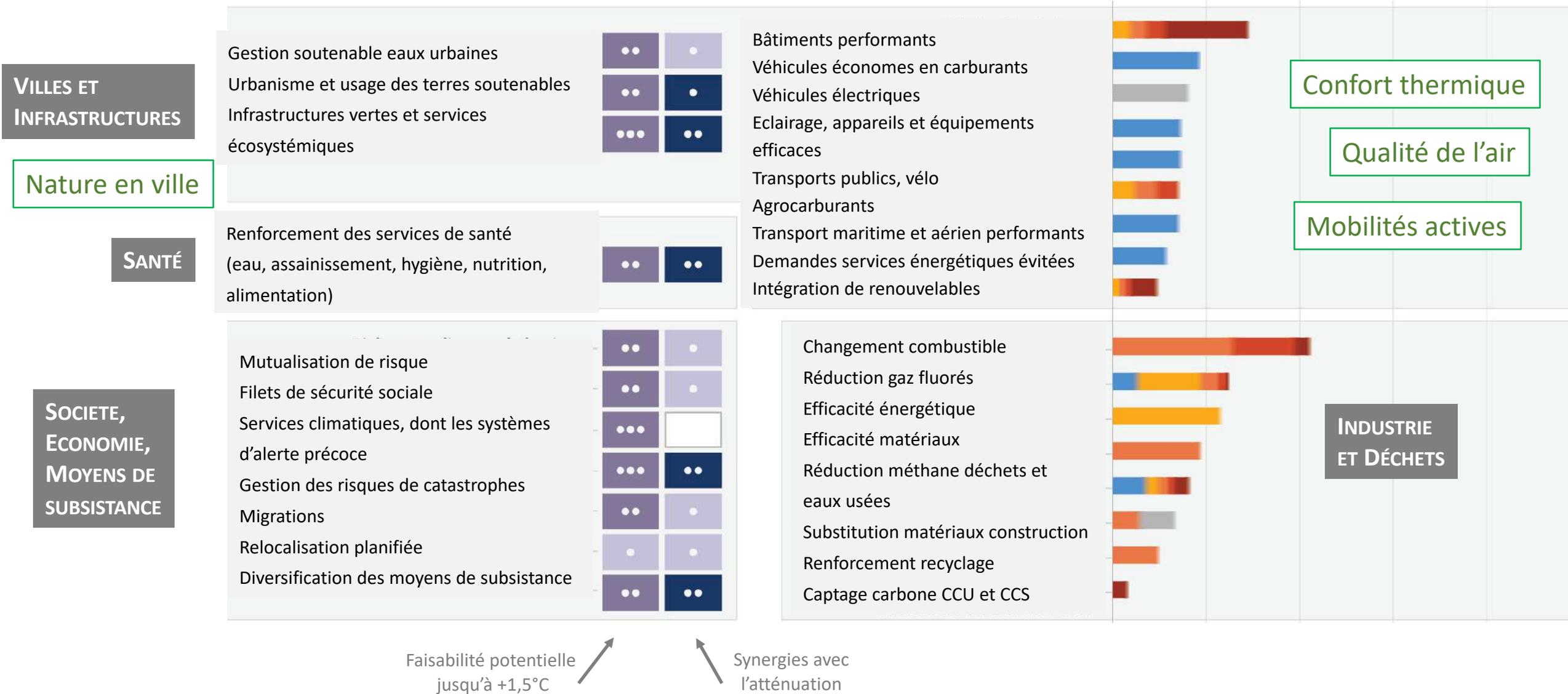
Faisabilité potentielle jusqu'à +1,5°C

Synergies avec l'atténuation

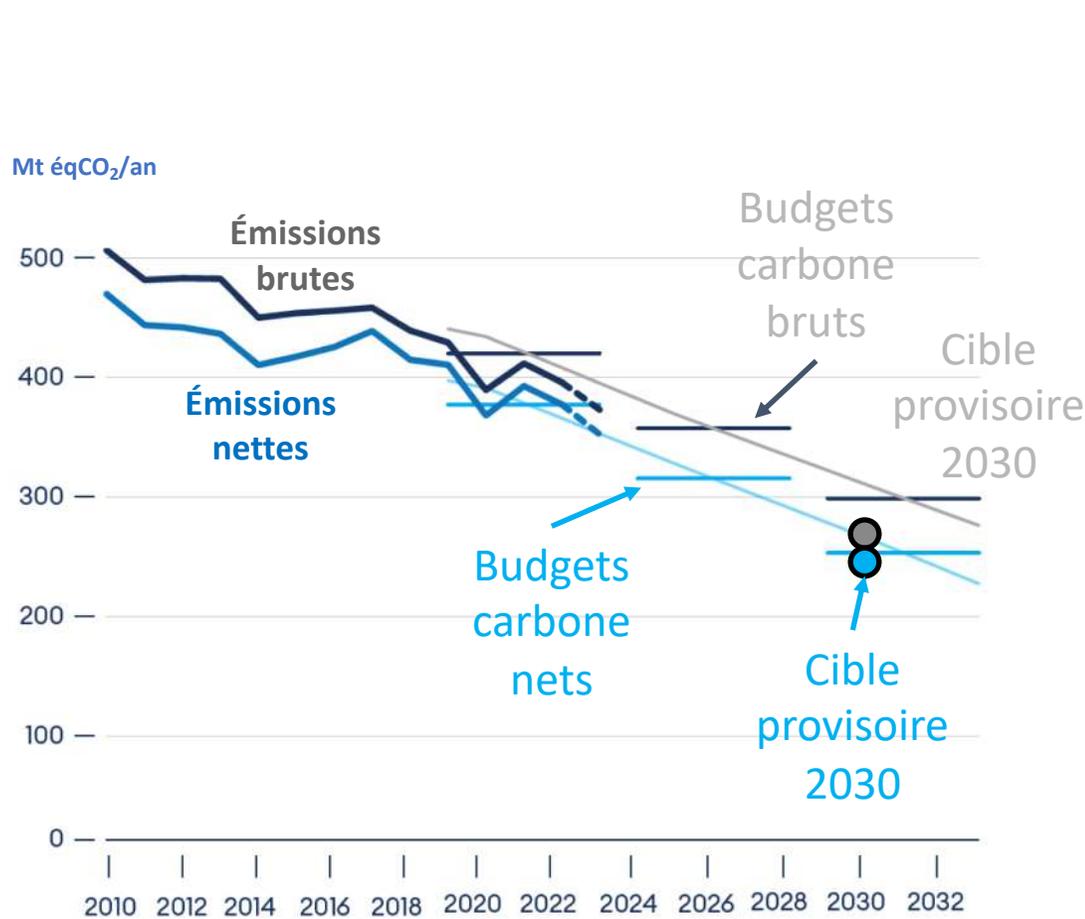
Coût net sur la durée de vie

Blue	Costs are lower than the reference	Red	50–100 (USD per tCO ₂ -eq)
Yellow	0–20 (USD per tCO ₂ -eq)	Dark Red	100–200 (USD per tCO ₂ -eq)
Orange	20–50 (USD per tCO ₂ -eq)	Grey	Cost not allocated due to high variability or lack of data

Leviers d'actions pour engager les transformations : potentiel au niveau mondial



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 vers la neutralité carbone en 2050

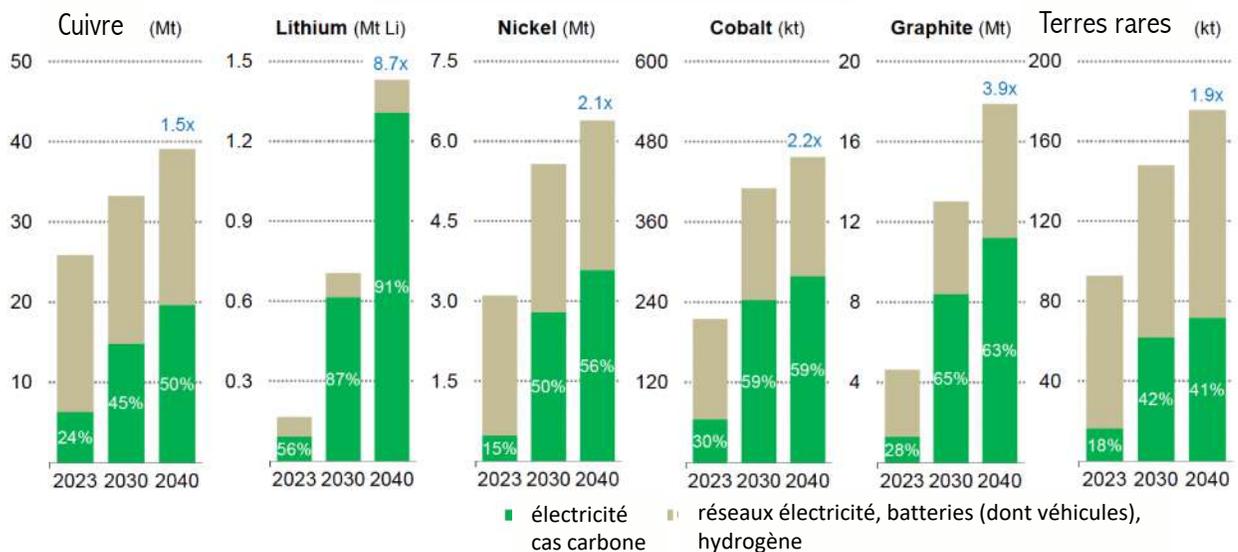


Pour tenir les objectifs, rythme x1,3

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

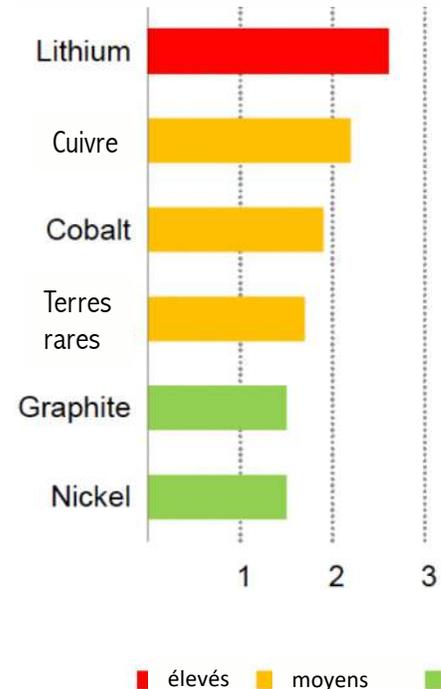
Ressources minérales critiques pour les nouvelles technologies bas carbone

Demande en minéraux critiques dans le scénario net zéro 2050

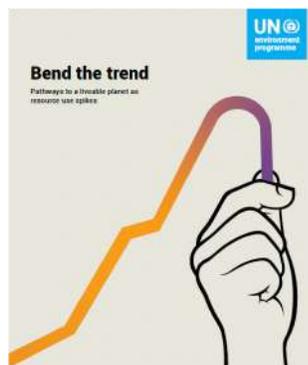
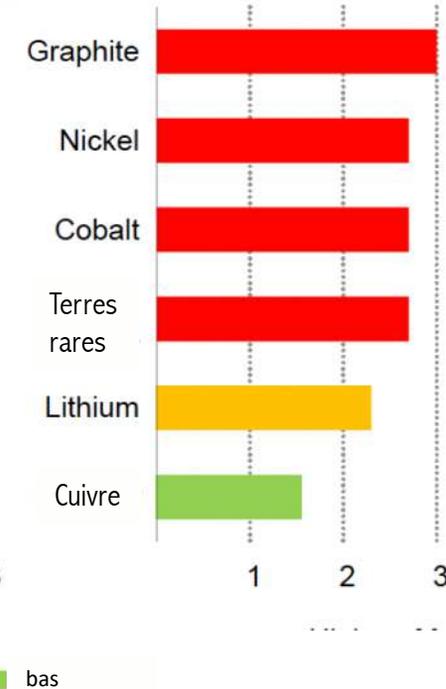


Enjeux :
sobriété, efficacité (matériaux, processus industriels), recyclage

Risques pour l'approvisionnement

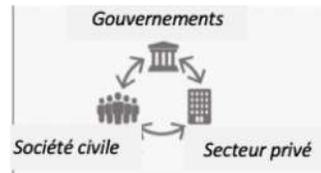


Risques géopolitiques

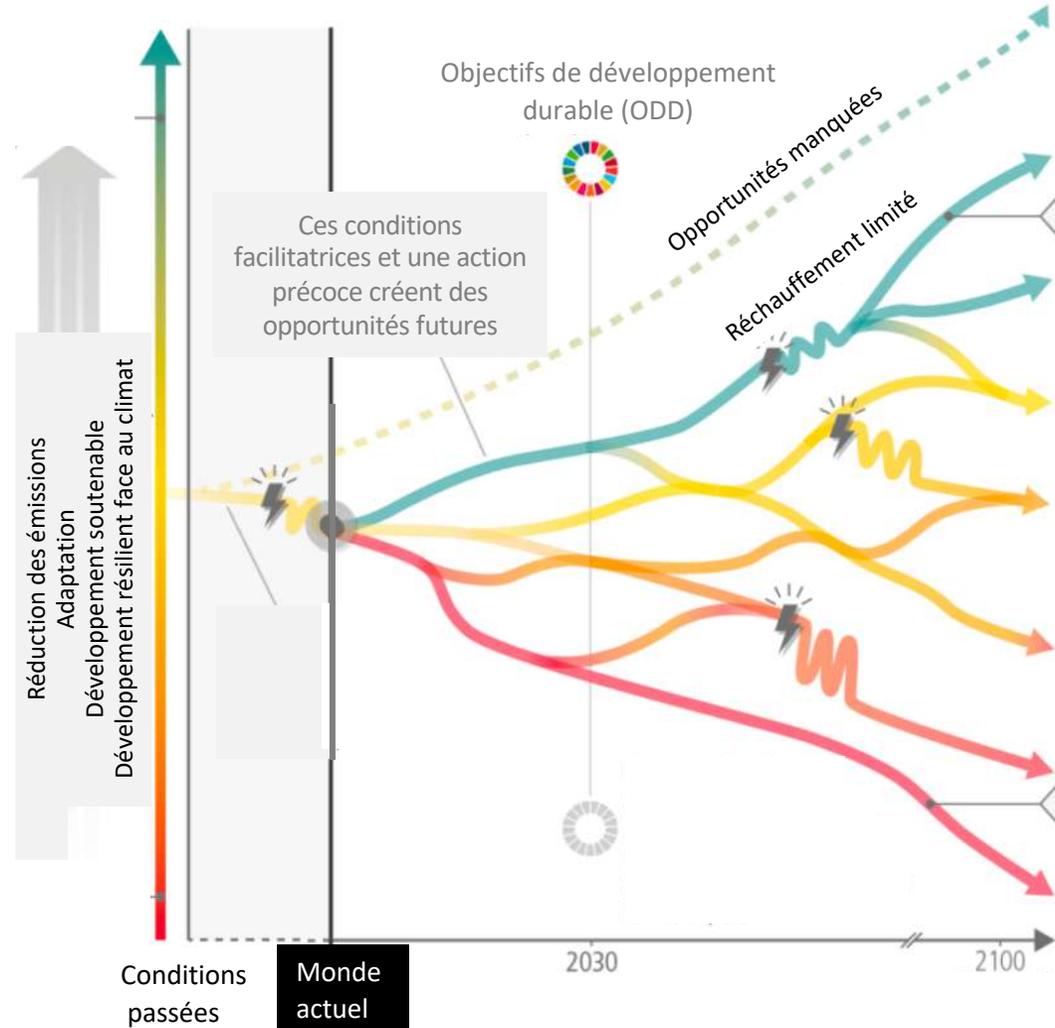




Etroite fenêtre pour construire un développement résilient face au climat, sobre en carbone

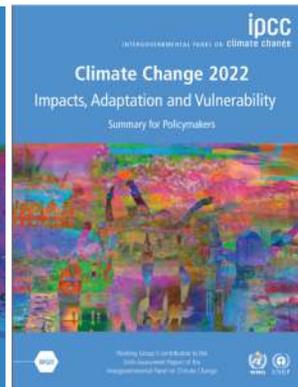
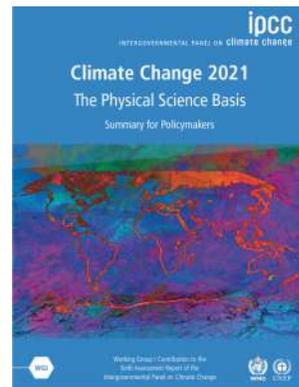
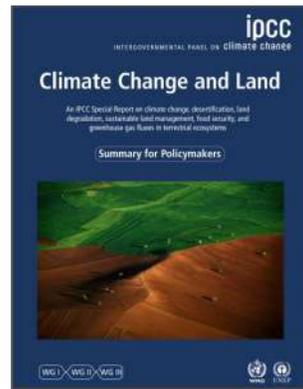
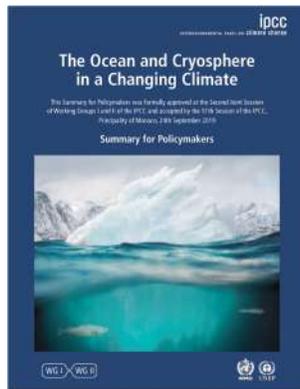
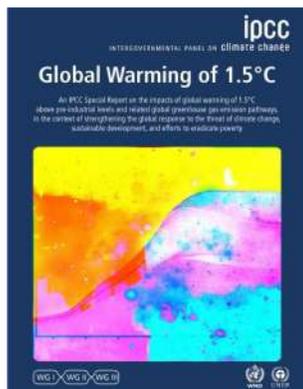


Enjeux de politiques publiques intégrées



Emissions basses
Transitions de systèmes
Transformations
Risques climatiques bas
Équité et justice
Atteinte des ODD

Emissions élevées
Systèmes enracinés
Limites de l'adaptation
↑ risques climatiques
↓ possibilités de développement
Dégradation des écosystèmes



<https://www.ipcc.ch>

1000 auteurs principaux, des milliers de contributeurs et relecteurs
85 000 publications scientifiques
300 000 commentaires de relecture



<https://www.oce.global/fr>

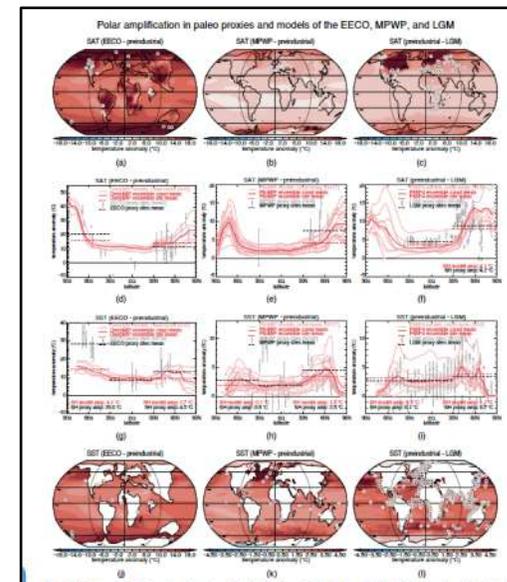
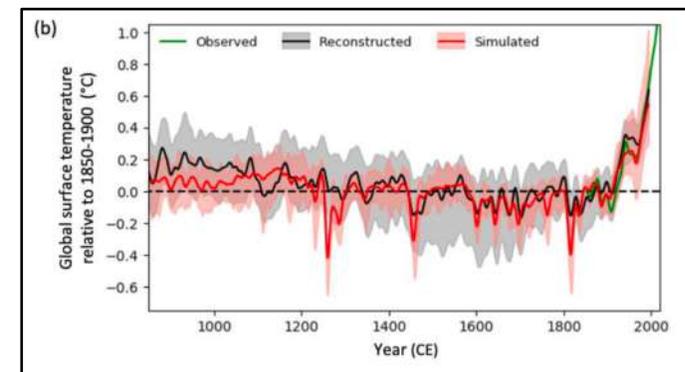
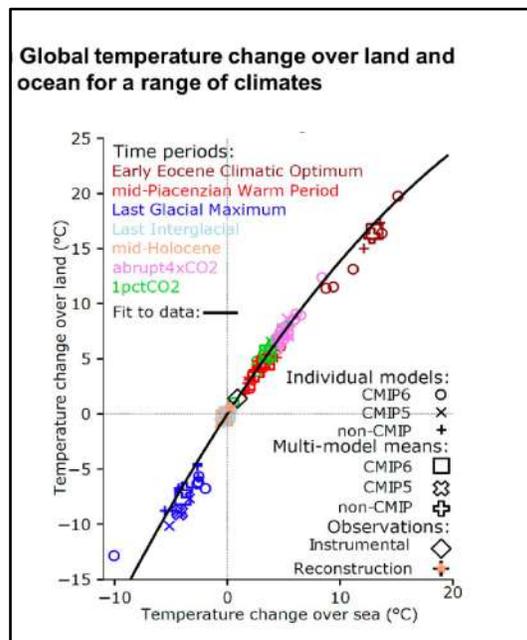
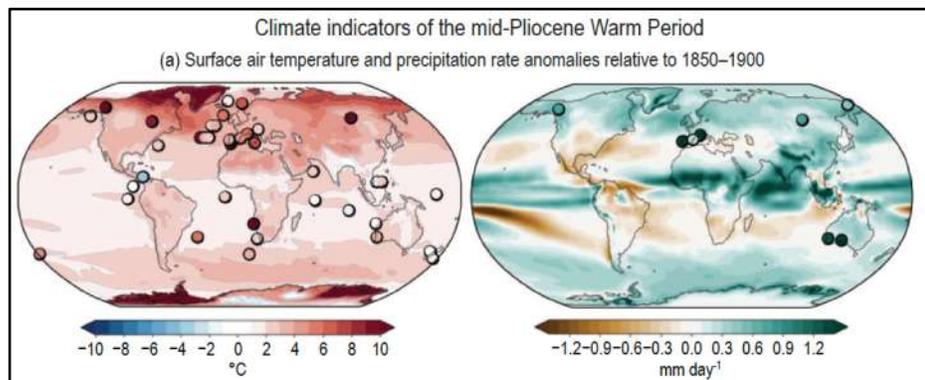
TENIR LE CAP
DE LA DÉCARBONATION,
■ **PROTÉGER LA POPULATION**

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

<https://www.hautconseilclimat.fr>

Intégration des informations issues des climats passés

3. Evaluation des modèles de climat



- Accord multi-modèle PMIP- reconstructions de température (LGM-Eocene)
- Des améliorations CMIP6 pour les changements régionaux (MH, amplification polaire)
- Tendance à sous-estimer certains changements
- Pour certains désaccords modèles-données, pas d'amélioration CMIP6

ANNÉE 2024 - 2025
DES GÉOSCIENCES

