

Le changement climatique

Valérie Masson-Delmotte



valmasdel

- **Le climat de la France et du monde change, avec des effets visibles partout**
- **C'est dû aux rejets mondiaux de gaz à effet de serre**
- **Une partie des changements futurs sont inéluctables (horizon 2050) et il faut s'y préparer pour limiter les conséquences**
- **L'évolution à long terme (après 2050) va fortement dépendre des émissions mondiales de gaz à effet de serre à venir**
- **Il y a de nombreuses options pour agir**

La formidable aventure scientifique des sciences du climat

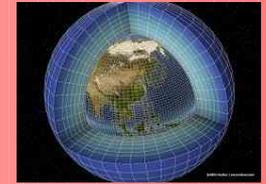
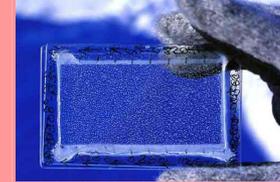
Physique de l'océan
et de l'atmosphère

17ème siècle
Instruments
météo

19ème siècle
Réseaux
Glaciations
Effet de serre

Climats passés
Super calculateurs
Satellites

20ème siècle
Modélisation du climat
Changement climatique



Observer, comprendre les mécanismes, modéliser, explorer les futurs plausibles

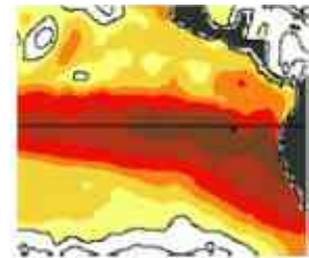
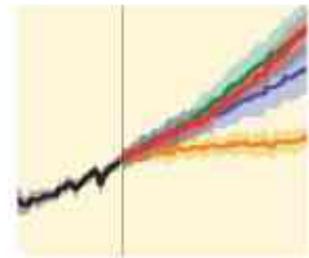
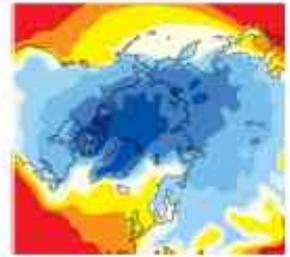
Démarche pour évaluer les modèles de climat

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z}$$



Principes physiques

Climat moyen

Tendances

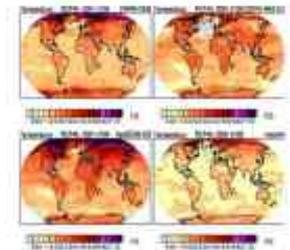
Processus



Prévisions (météo)



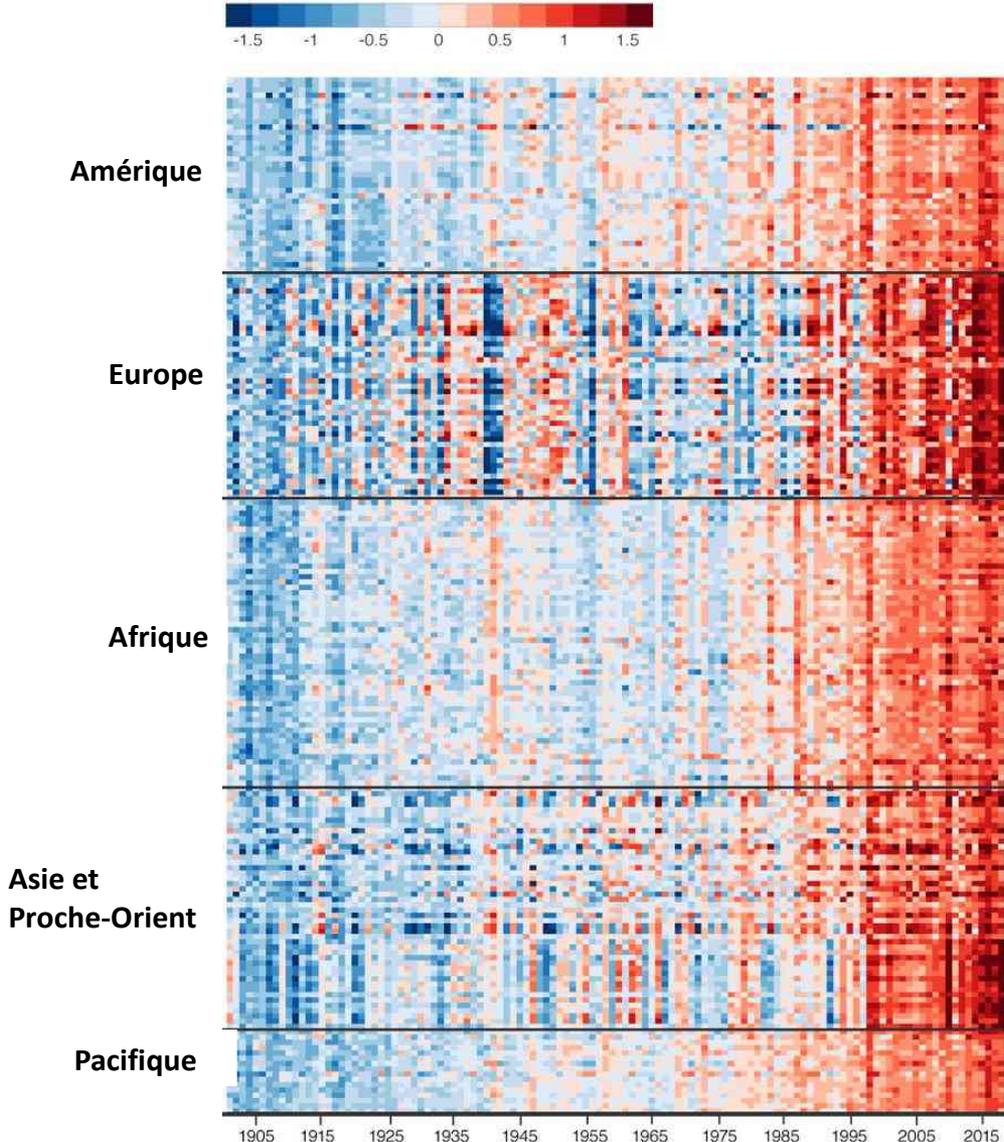
Climats passés



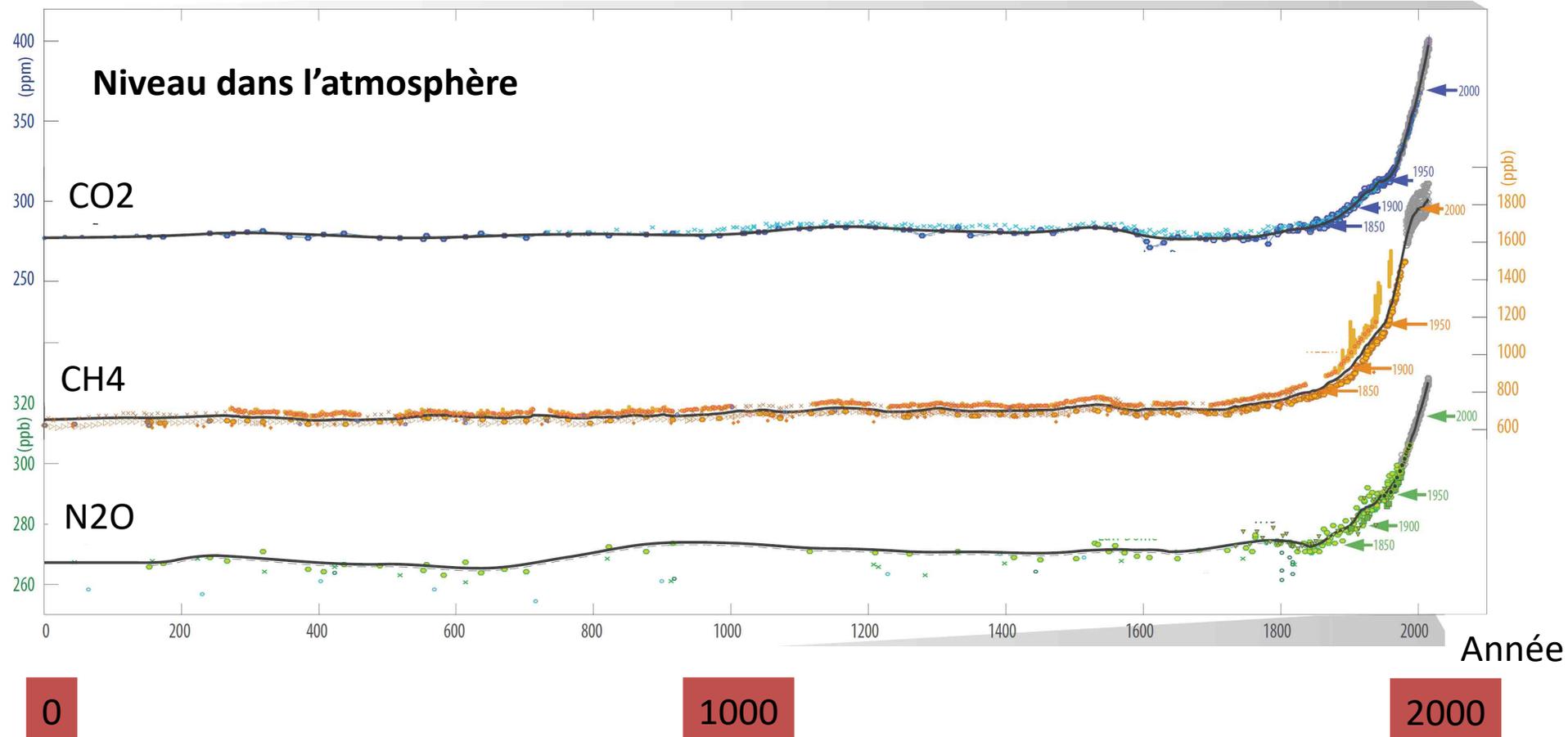
Robustesse

Changements de température pour chaque pays du monde (1901-2018)

Différence pour chaque année par rapport à la moyenne 1901-2018 pour chaque pays (°C)

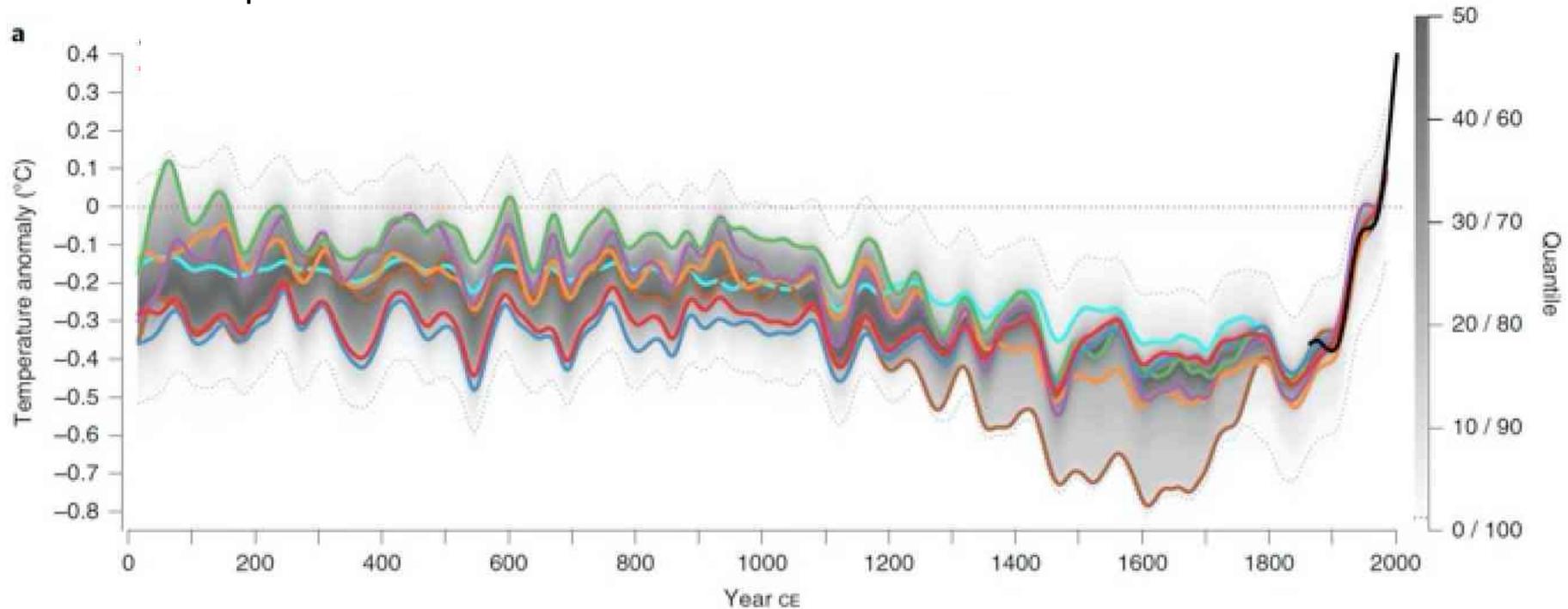


Bienvenue dans l'Anthropocène



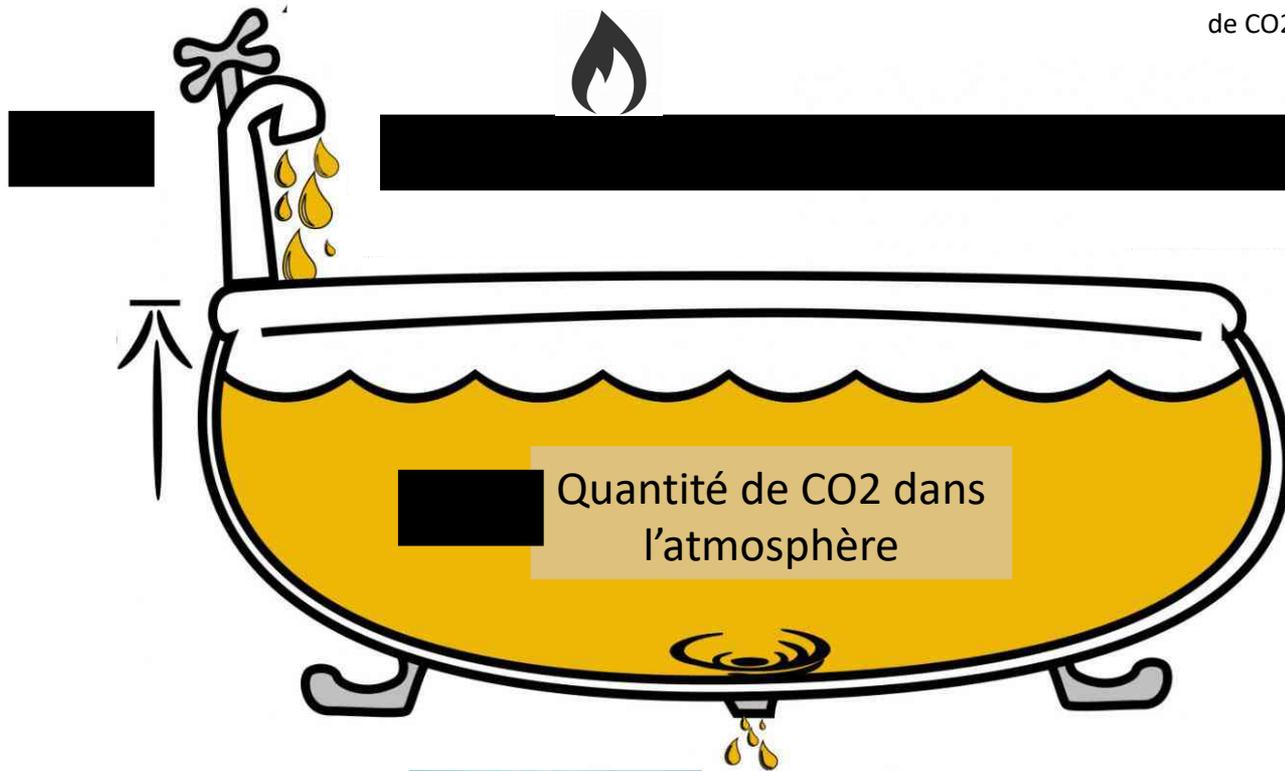
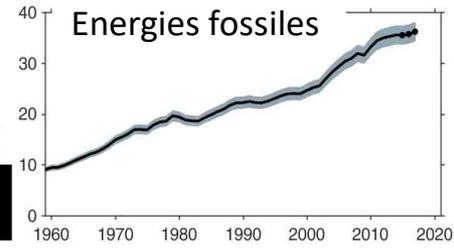
Bienvenue dans l'Anthropocène

Variation de température à la surface de la Terre



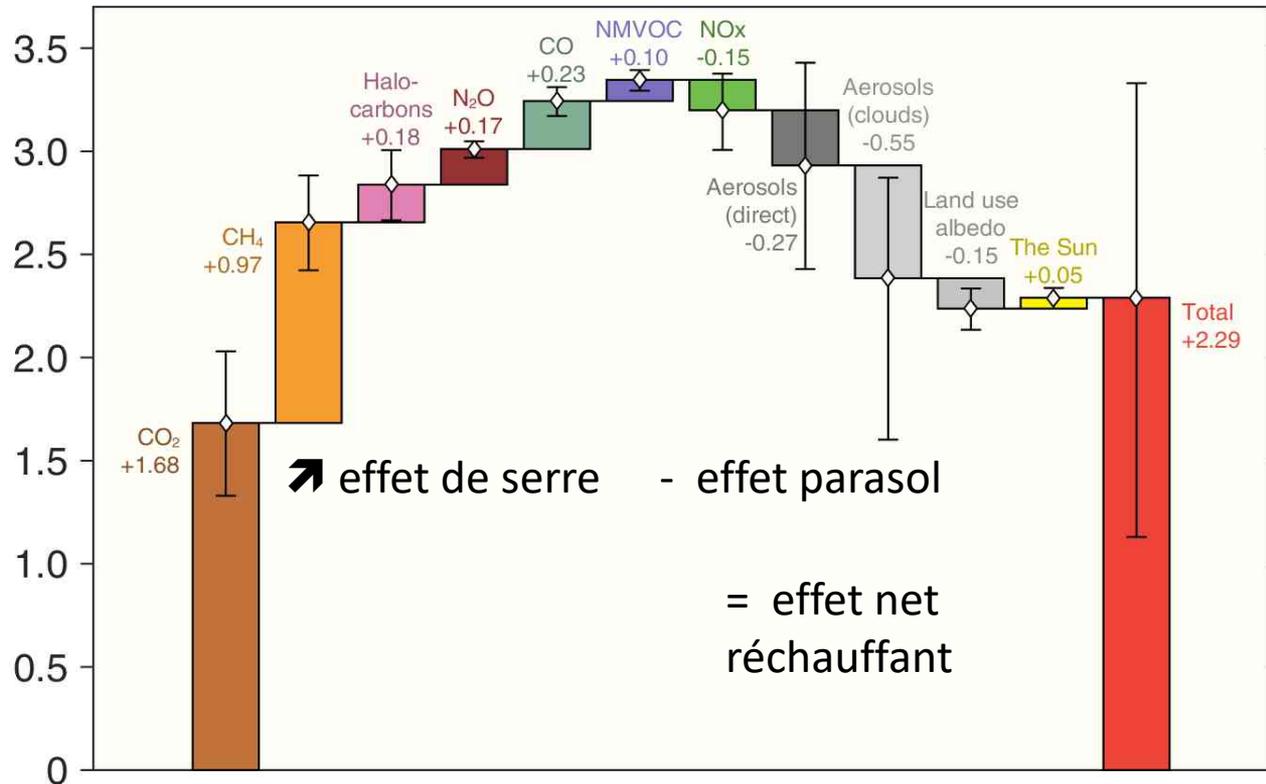
La composition de l'atmosphère terrestre est profondément modifiée par les activités humaines

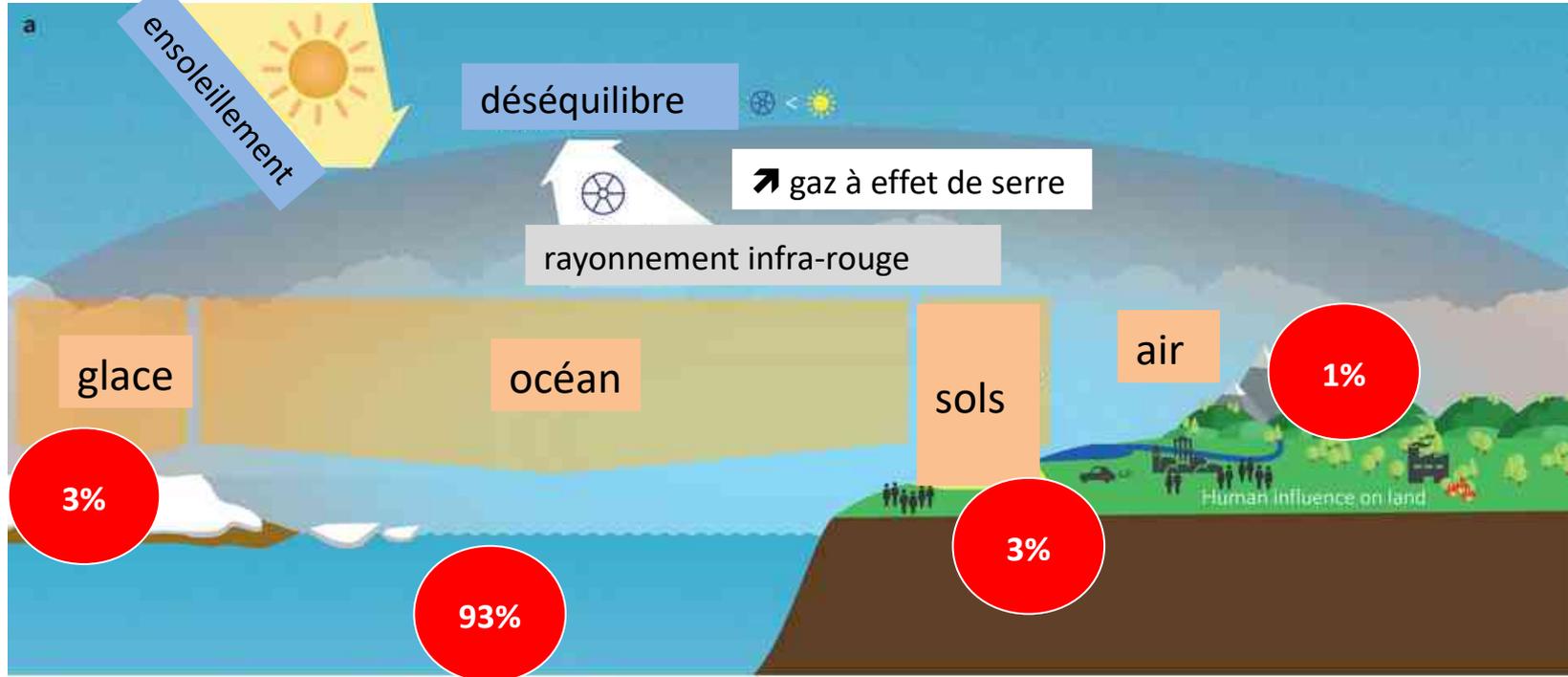
Milliards de tonnes de CO2



Nos activités émettent des gaz à effet de serre et des particules qui déséquilibrent le bilan d'énergie de la Terre

Depuis 1750
en watts par
mètre carré



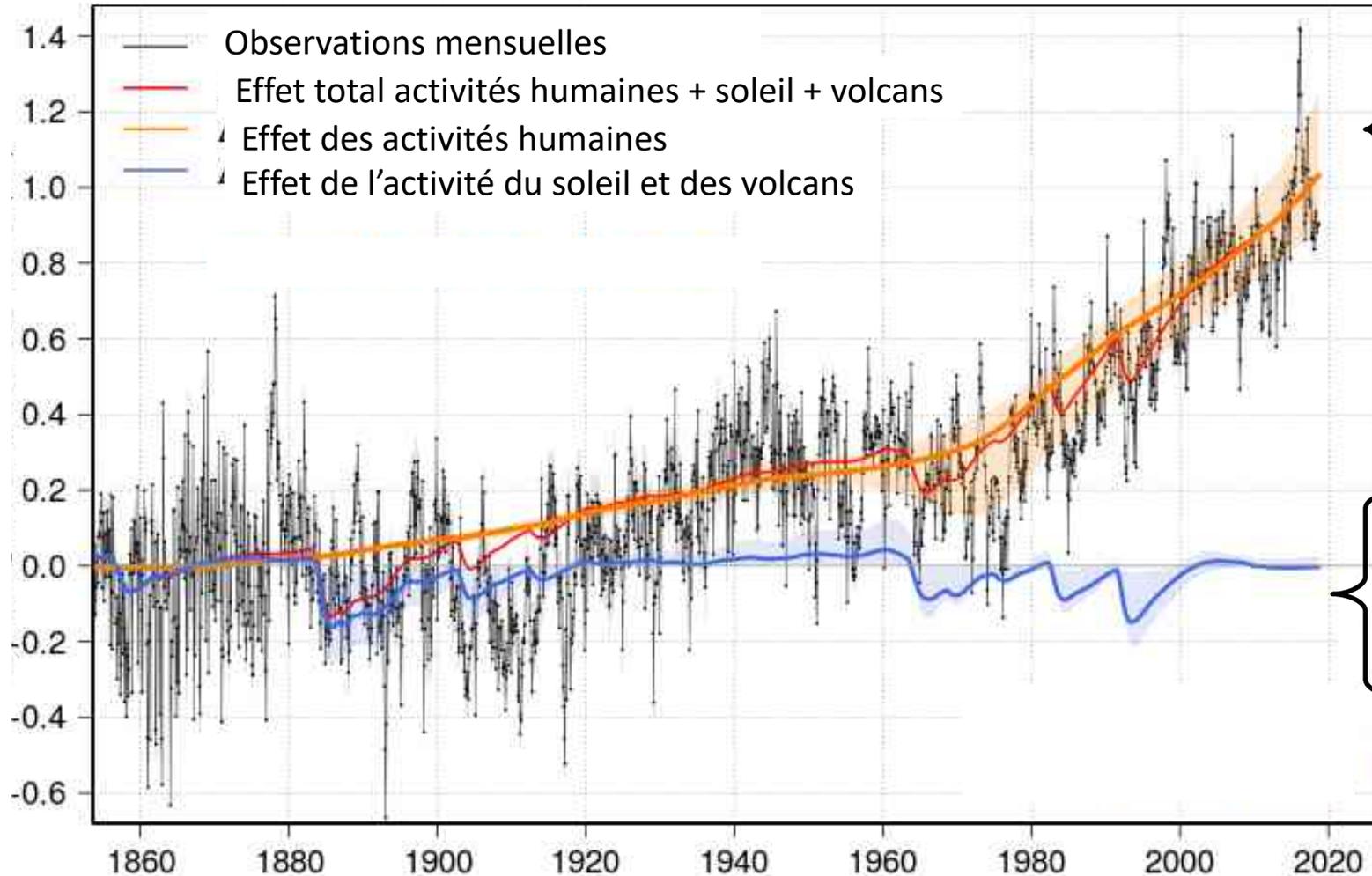


Le climat change à cause du déséquilibre du bilan d'énergie de la Terre

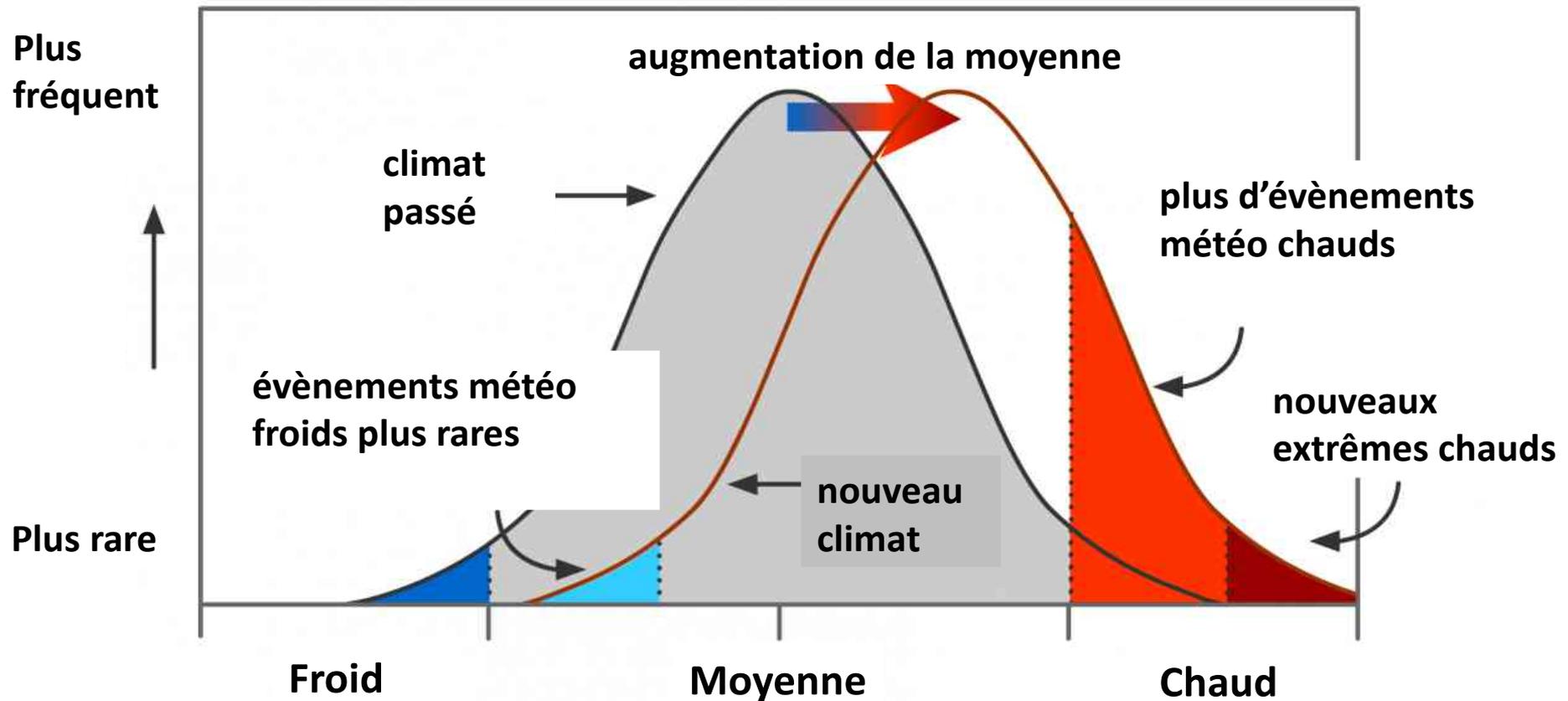


D'où vient le réchauffement climatique

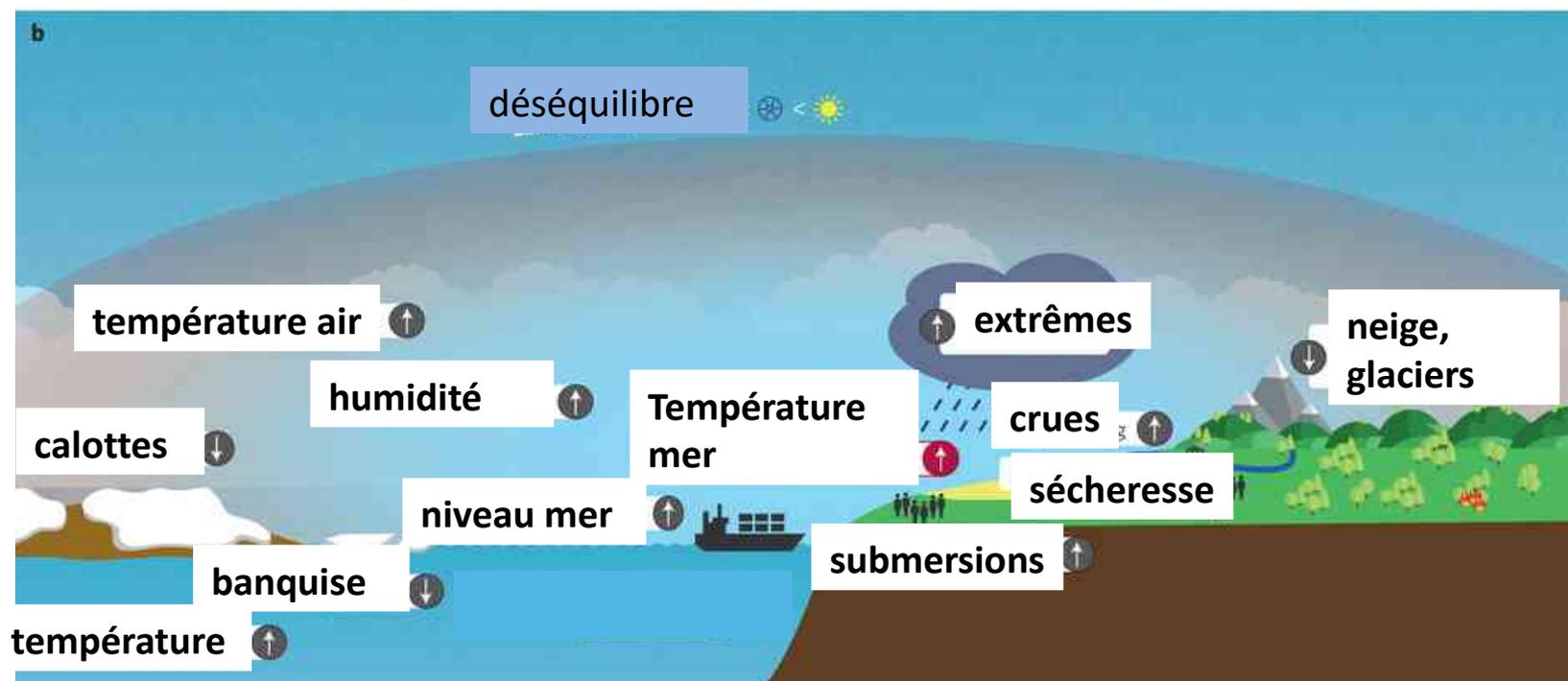
Réchauffement global par rapport à 1850-1879 (°C)



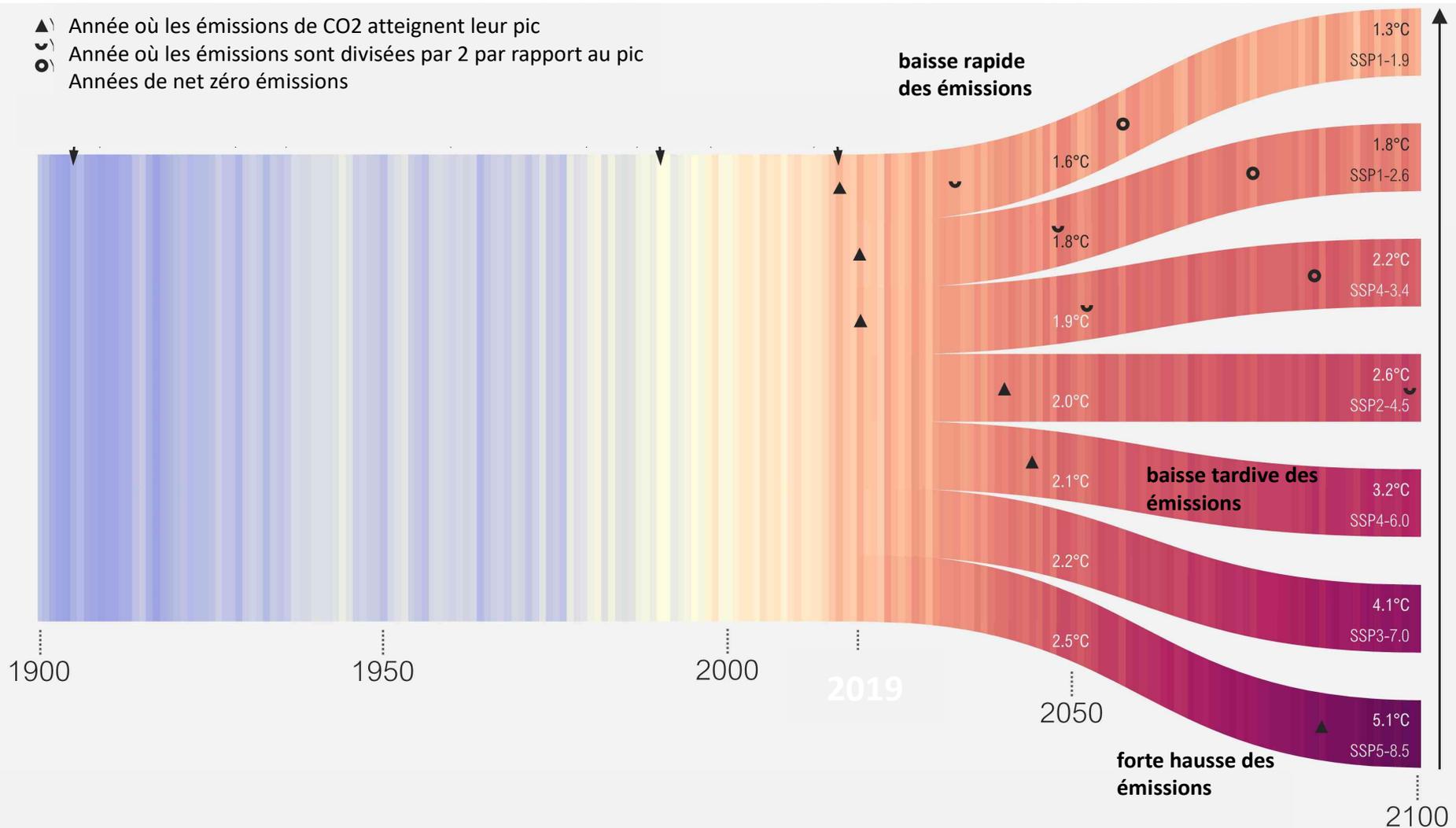
Quand le climat change, la météo change



Le climat change à cause du déséquilibre du bilan d'énergie de la Terre



Les choix d'aujourd'hui déterminent le climat de demain



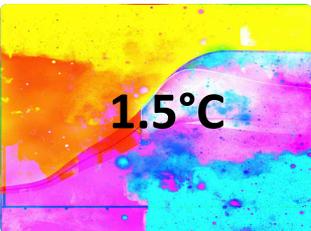
Le 6ème cycle d'évaluation du GIEC

Mai 2019

Inventaires
d'émissions



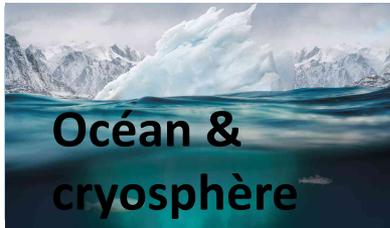
Oct. 2018



1.5°C

Dialogue
de Talanoa
COP24

Sept. 2019



Océan &
cryosphère

Août 2019



Terres

Avril 2021

Bases physiques

Octobre 2021

Impacts,
adaptation et
vulnérabilités

Atténuation

Juillet 2021

Avril 2022

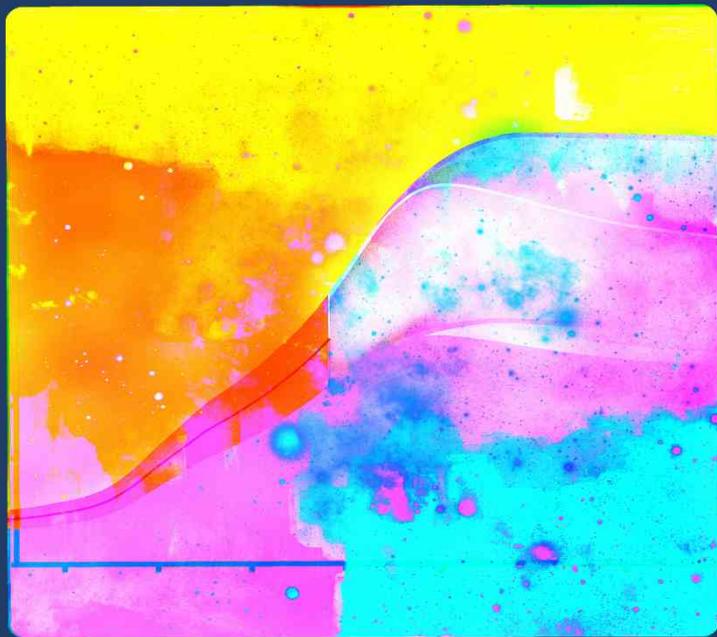
Rapport de
synthèse

Inventaire global
2023
de l'Accord de Paris

www.ipcc.ch
[@IPCC_CH](https://twitter.com/IPCC_CH)

Global Warming of 1.5°C

An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.



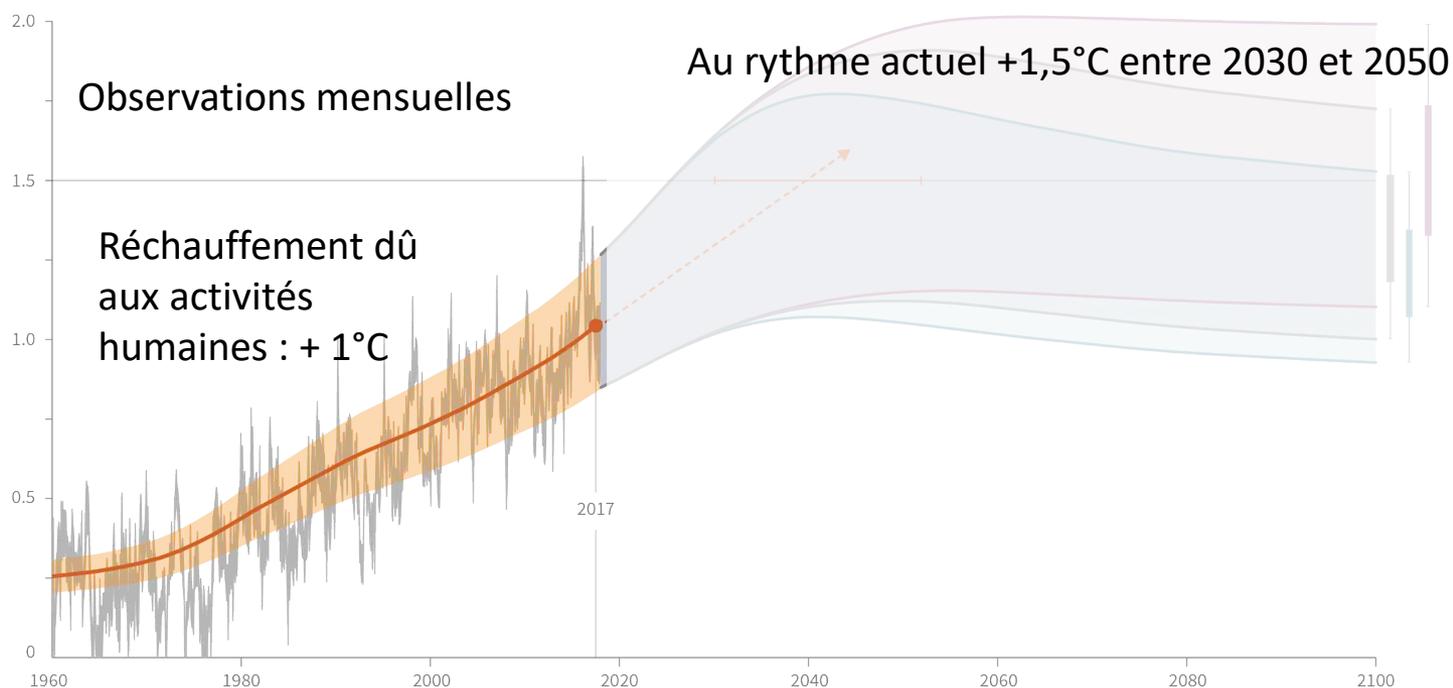
- **Chaque demi-degré compte**
- **Chaque année compte**
- **Chaque choix compte**

www.ipcc.ch/report/sr15

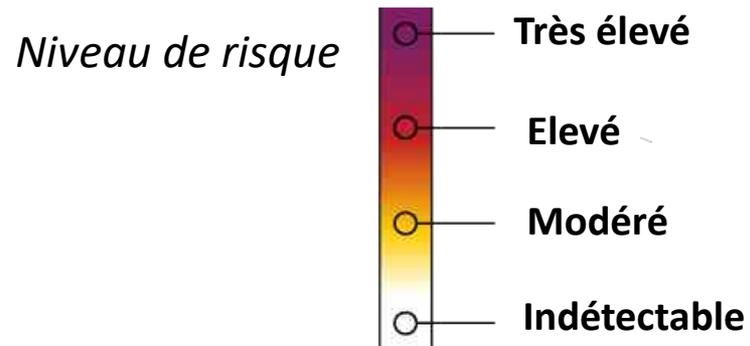
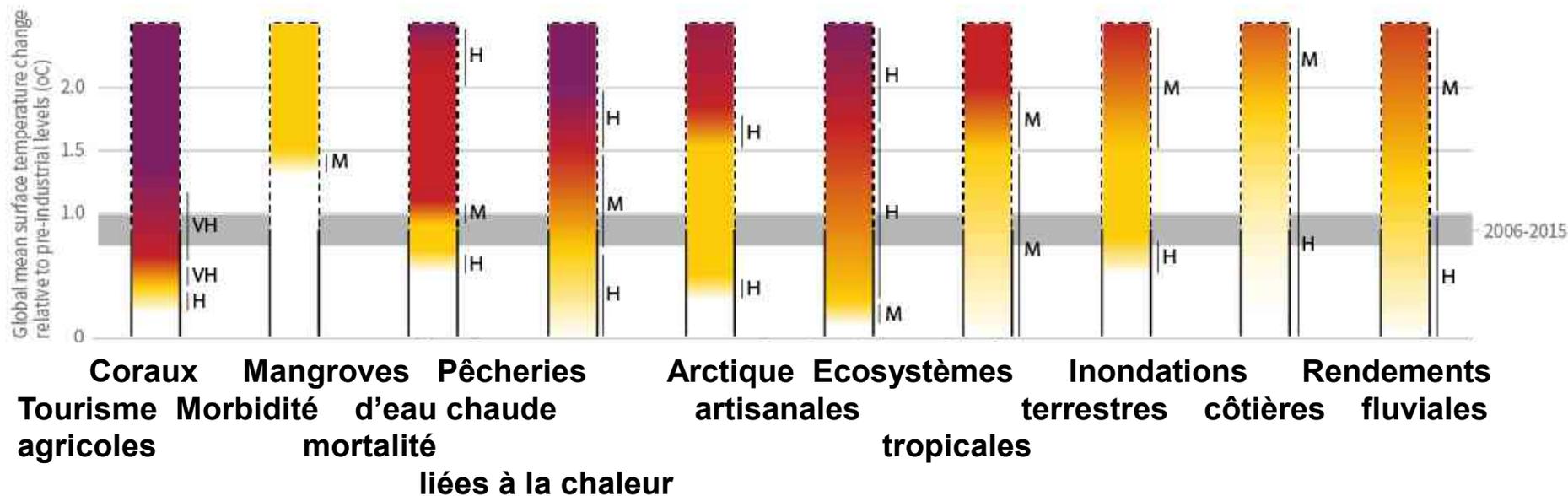
fr.wikisource.org/wiki/Rapport_du_GIEC:_R%C3%A9chauffement_climatique_de_1,5%C2%B0C

Le cumul des émissions de CO₂ et l'effet net des autres émissions déterminent la probabilité de limiter le réchauffement

Réchauffement planétaire (°C)
par rapport à 1850-1900



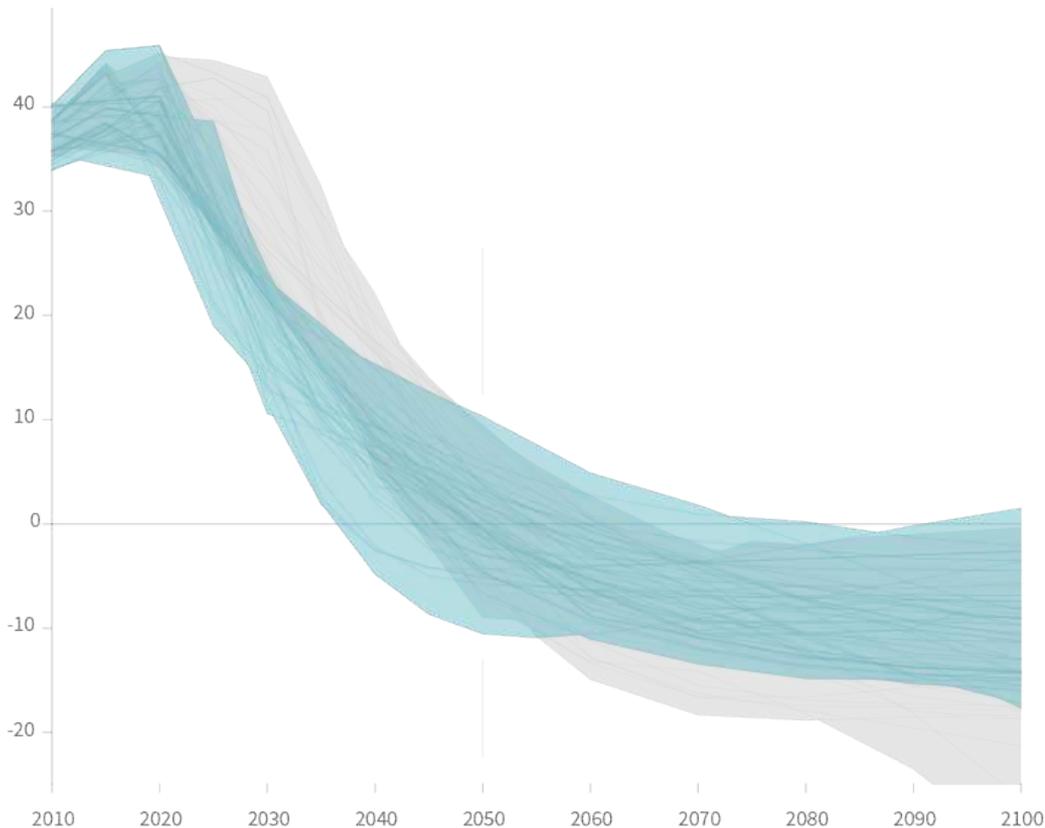
Impacts et risques pour des exemples de systèmes naturels, gérés et humains entre maintenant (1°C) et un monde 1,5°C et 2°C plus chaud



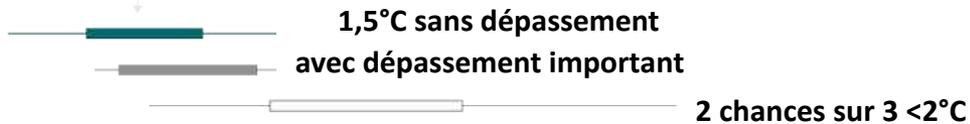
Niveau de confiance : M, moyen; H, élevé; VH; très élevé

Milliards de tonnes CO2 / an

Trajectoires d'émissions de CO2

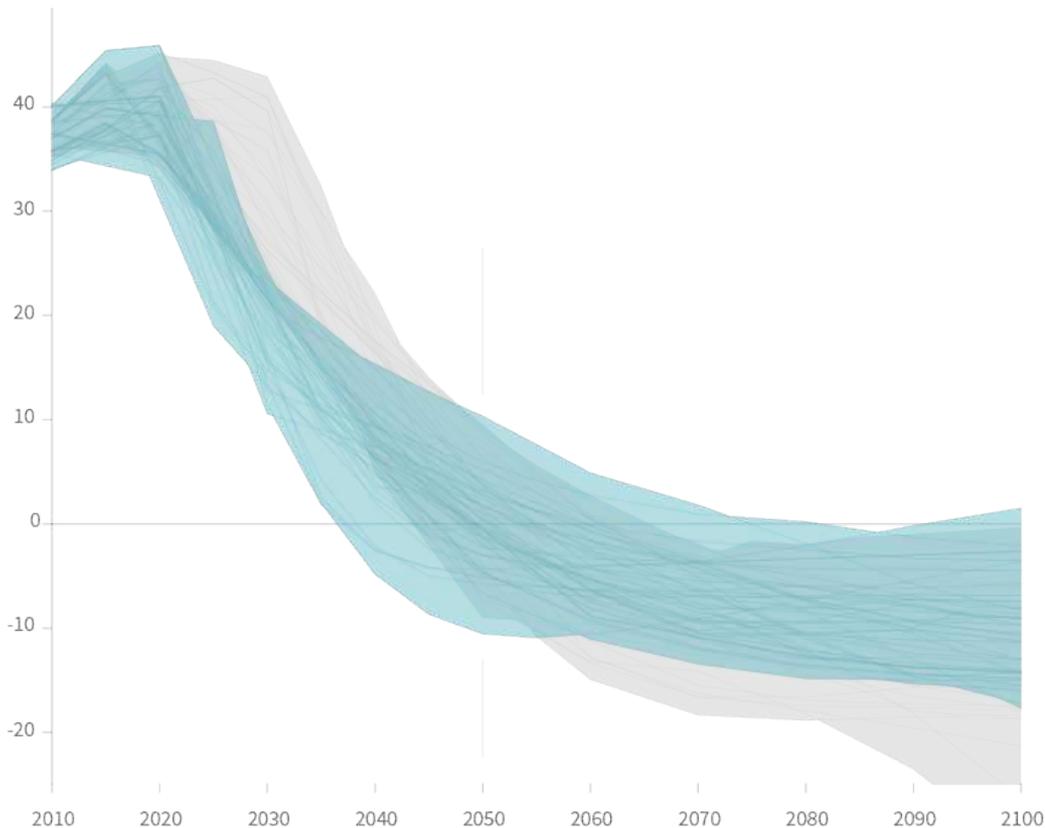


Net zéro CO2



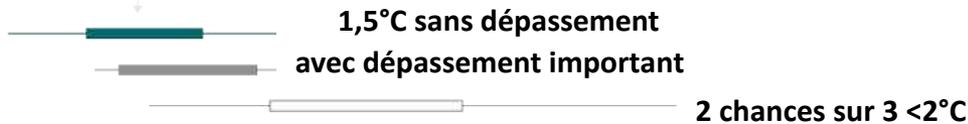
Milliards de tonnes CO2 / an

Trajectoires d'émissions de CO2

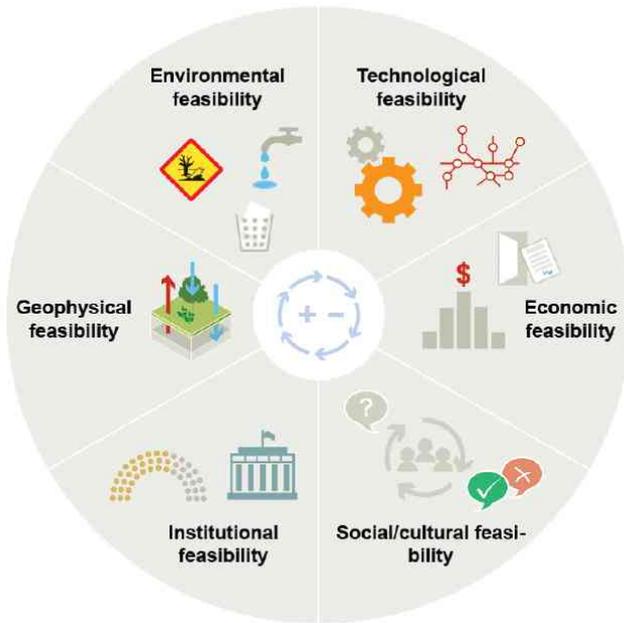


Emissions négatives : éliminer le CO2 de l'atmosphère et le stocker de manière durable

Net zéro CO2

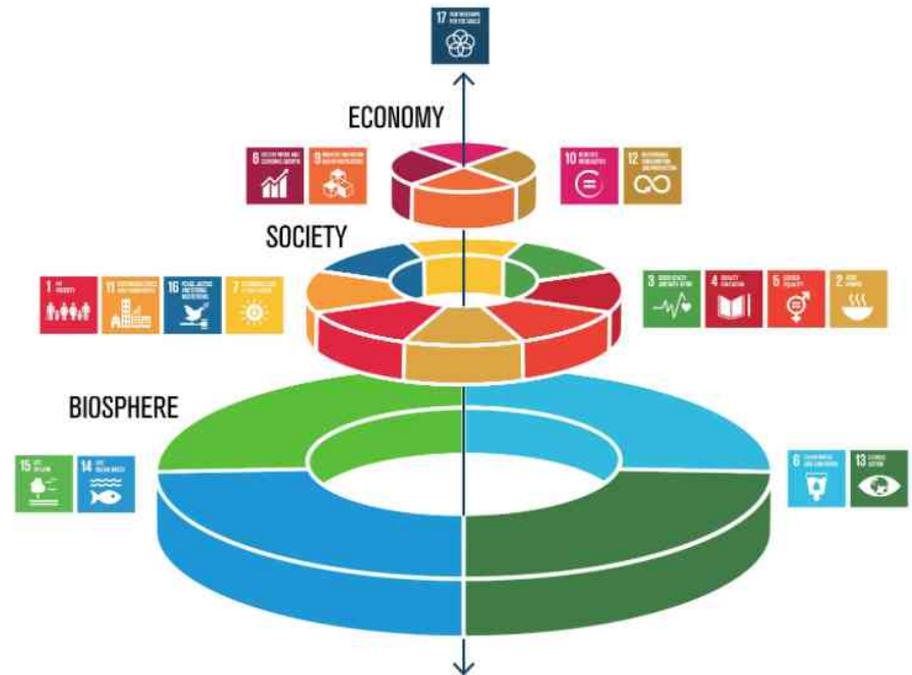


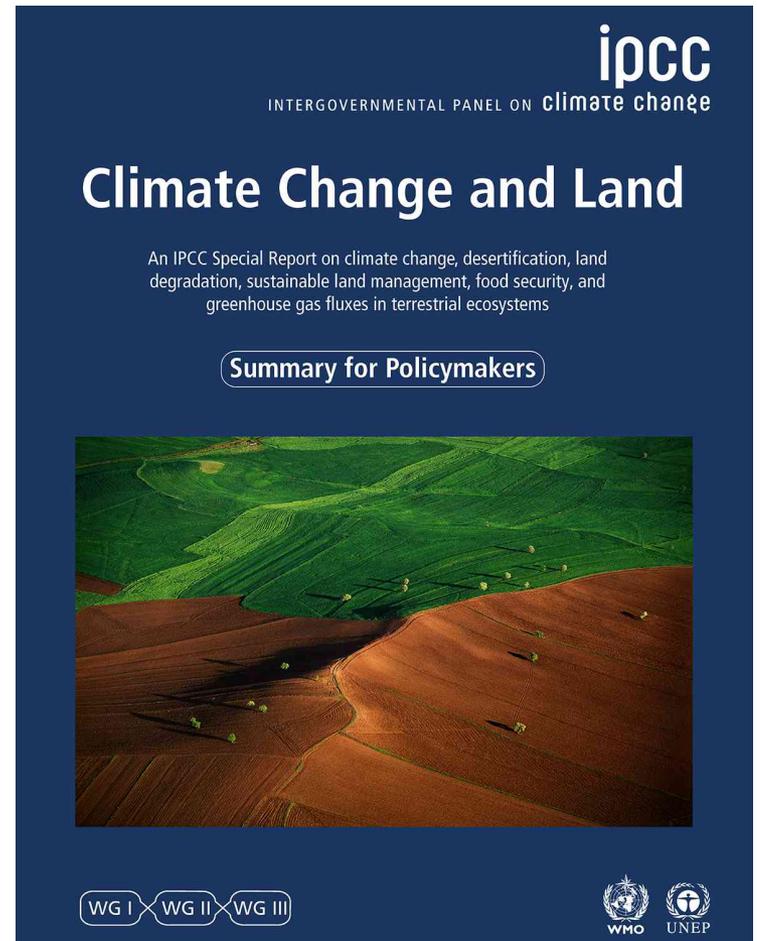
Solutions, transitions et transformations éthiques et justes



Conditions de faisabilité

Trajectoires de développement résilientes, vers la neutralité carbone





https://fr.wikisource.org/wiki/Rapport_spécial_du_GIEC_sur_le_changement_climatique_et_les_terres_émergées

www.ipcc.ch/report/SRCCL

Les terres sont des ressources critiques



- **Une pression humaine croissante sur les terres émergées**

- 70% des terres*

- ¼ dégradées*

- 500 millions de personnes / désertification*

- Dégradation des écosystèmes, perte de biodiversité*

- **Un système alimentaire non soutenable**

- 820 millions de personnes souffrent de la faim*

- 2 milliards de personnes en surpoids ou obèses*

- 1/3 des émissions mondiales de gaz à effet de serre*

- Vulnérabilité / changement climatique*

- **De nombreuses solutions**

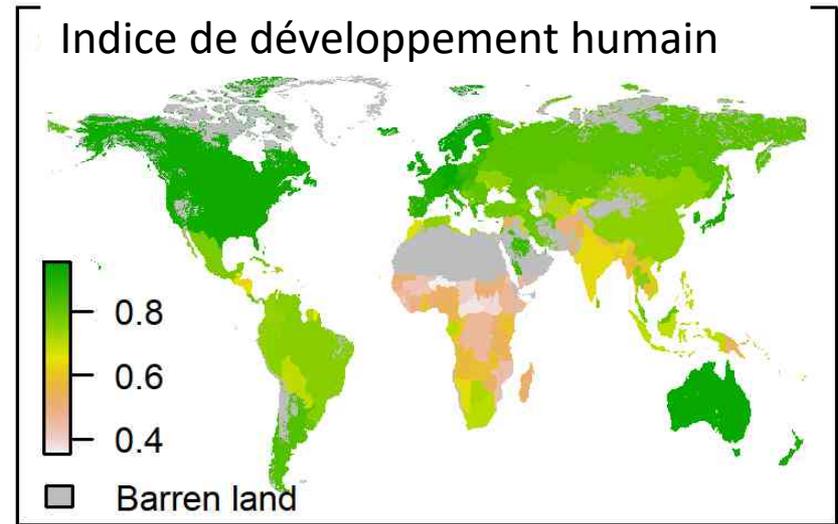
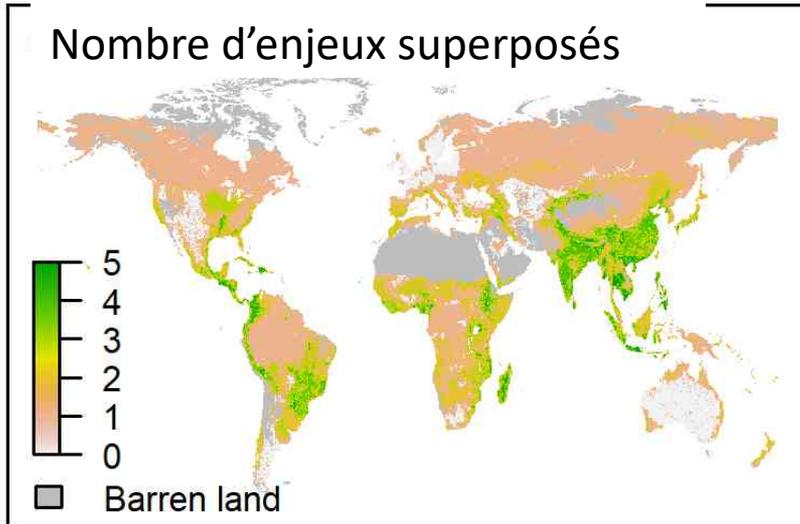
- Éliminer pertes et gaspillages alimentaires*

- Gestion durable des terres*

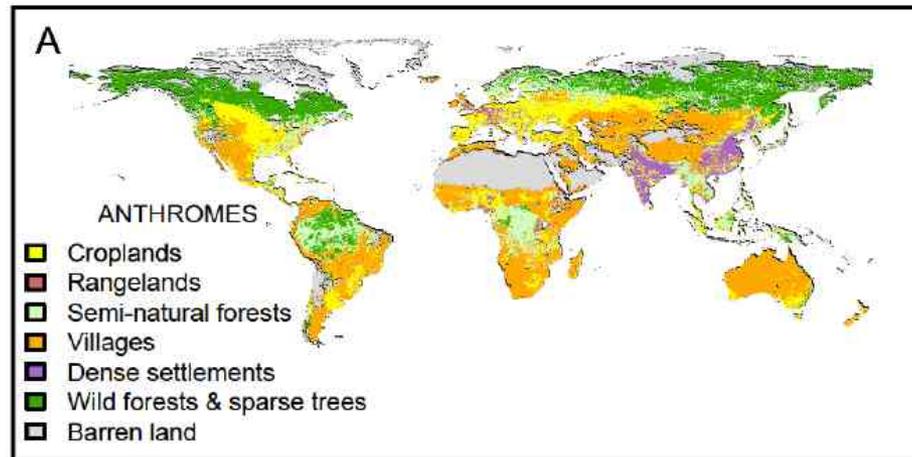
- Renforcement des puits de carbone (mais limite au potentiel)*

- Alimentation saine et respectueuse de l'environnement*

Enjeux : adaptation, désertification, dégradation, insécurité alimentaire, menaces pour la biodiversité, stress sur les aquifères, qualité de l'eau

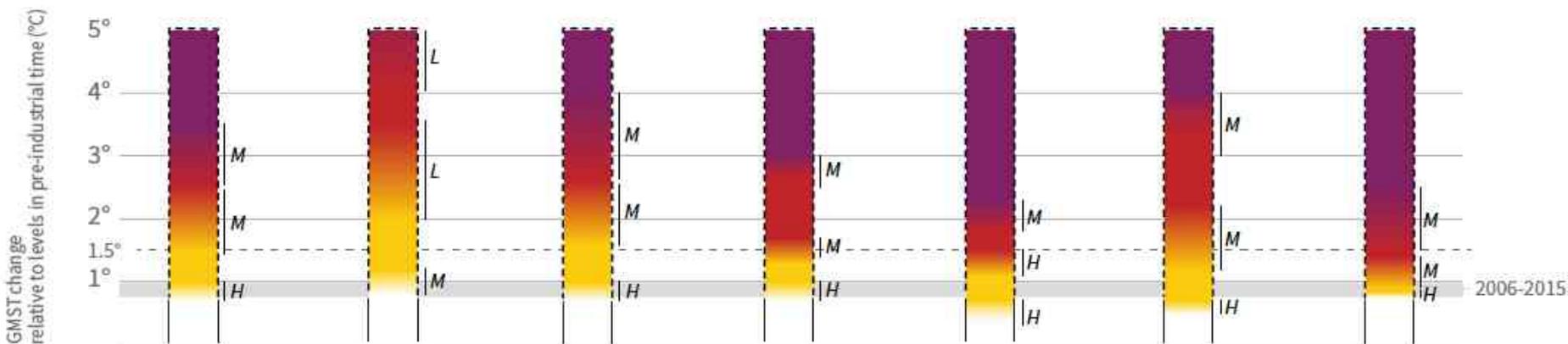


Anthromes : biosphère terrestre modifiée par l'homme





Risques pour les sociétés humaines et pour les écosystèmes liés aux processus de changements des terres induits par le changement climatique



Pénurie d'eau
Instabilité
dans les régions
approvisionnement
arides

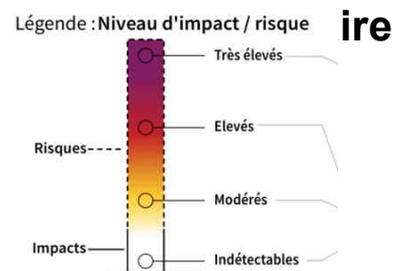
Erosion

Perte de
végétation

Feux de
forêts

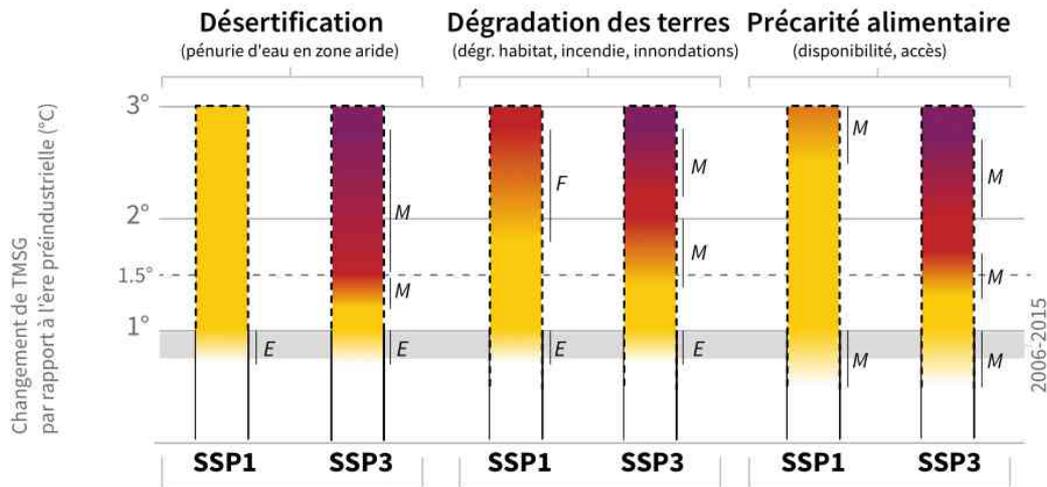
Dégradation
des sols gelés

Rendements
tropicaux



Niveau de confiance : M, moyen; H, élevé; VH; très élevé

Pour un même niveau de réchauffement planétaire, le risque dépend de nos choix de développement



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

Choix de la soutenabilité : croissance démographique faible, inégalités réduites, systèmes de production à faibles émissions, réglementation de l'usage des terres, capacité d'adaptation élevée



Options de réponses intégrées

Options de réponses basées sur la gestion des terres		Atténuation	Adaptation	Désertification	Dégradation des sols	Sécurité alimentaire	Coût
Agriculture	Augmentation de la productivité alimentaire	↓	M	↓	M	M	—
	Agroforesterie	M	M	M	M	↓	●●
	Amélioration de la gestion des terres cultivées	M	↓	↓	↓	↓	●●●
	Amélioration de la gestion du bétail	M	↓	↓	↓	↓	●●●●
	Diversification de l'agriculture	↓	↓	↓	M	↓	●
	Amélioration de la gestion des pâturages	M	↓	↓	↓	↓	—
	Gestion intégrée de l'eau	↓	↓	↓	↓	↓	●●
Forêts	Réduction de conversion des prairies en terres cultivées	↓	—	↓	↓	↓	●
	Gestion des forêts	M	↓	↓	↓	↓	●●
	Réduction de déboisement et dégradation des forêts	H	↓	↓	↓	↓	●●
Sols	Augmentation de teneur en carbone organique du sol	H	↓	M	M	↓	●●
	Réduction de l'érosion des sols	↔	↓	M	M	↓	●●
	Réduction de la salinisation des sols	—	↓	↓	↓	↓	●●
	Réduction du tassement du sol	—	↓	—	↓	↓	●
Autres écosystèmes	Gestion des feux	M	M	M	M	↓	●
	Réduction de glissements de terrain et risques naturels	↓	↓	↓	↓	↓	—
	Réduction de la pollution, y compris l'acidification	↔	M	↓	↓	↓	—
	Restauration et réduction de la transformation des zones humides côtières	M	↓	—	M	↔	—
	Restauration et réduction de la transformation des tourbières	M	—	na	M	↓	●
Options de réponses basées sur la gestion de la chaîne de valeur							
Demande	Réduction des pertes après récolte	H	M	↓	↓	H	—
	Changement de régime alimentaire	M	—	↓	↓	H	—
	Réduction des déchets alimentaires (consommateurs ou détaillants)	H	—	↓	M	M	—
Offre	Approvisionnement durable	—	↓	—	↓	↓	—
	Amélioration de la transformation et vente d'aliments	↓	↓	—	—	↓	—
	Amélioration de l'utilisation de l'énergie dans les systèmes alimentaires	↓	↓	—	—	↓	—
Options de réponses basées sur la gestion du risque							
Risque	Diversification des moyens de subsistance	—	↓	—	↓	↓	—
	Gestion de l'étalement urbain	—	↓	↓	M	↓	—
	Outils de partage des risques	↔	↓	—	↔	↓	●●

Agriculture

Forêts

Sols

Autres écosystèmes

Chaîne de valeur : offre et demande

Gestion de risque

Clef pour les critères utilisés pour définir l'ampleur de l'impact de chaque option de réponse intégrée

	Atténuation Gt CO ₂ -eq an ⁻¹	Adaptation Million de personnes	Désertification Million de km ²	Dégradation des sols Million de km ²	Sécurité alimentaire Million de personnes	
Positive	Grande	Plus de 3	Positive pour plus de 25	Positive pour plus de 3	Positive pour plus de 100	
	Modérée	de 0.3 à 3	de 1 à 25	de 0.5 à 3	de 0.5 à 3	
	Faible	Moins de 0.3	Moins de 1	Moins de 0.5	Moins de 0.5	Moins de 1
Négative	Négligeable	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	
	Faible	Moins de -0.3	Moins de 1	Moins de 0.5	Moins de 0.5	Moins de 1
	Modérée	de -0.3 à -3	de 1 à 25	de 0.5 à 3	de 0.5 à 3	de 1 à 100
Grande	Plus de -3	Négative pour plus de 25	Négative pour plus de 3	Négative pour plus de 3	Négative pour plus de 100	

— Variable : peut être positive ou négative — Pas de données na Non applicable

Niveau de confiance
Le niveau de confiance indique la confiance dans l'estimation de la catégorie d'ampleur.
H Confiance élevée
M Confiance moyenne
L Confiance faible

Estimation des coûts
Voir la note technique pour l'estimation des coûts en US\$ par tonne de CO₂ ou par hectare.
●●● Coût élevé
●● Coût moyen
● Coût faible
— Non applicable



Le rôle des choix alimentaires

Pertes et gaspillages alimentaires : 25 à 30 % de la production alimentaire, 8-10% des émissions de gaz à effet de serre

Les réduire = libérer des millions de km² de terres d'ici à 2050

Une diversification des régimes alimentaires (plus de fruits, de légumes, de protéagineux et de noix) et des systèmes de production (systèmes intégrés, assolements diversifiés, diversité génétique, élevages résilients et à faibles émissions) favorise l'adaptation au changement climatique et l'atténuation

D'ici à 2050, les transitions alimentaires pourraient libérer des millions de km² de terres avec des co-bénéfices pour l'environnement et la santé et apporter une baisse des émissions mondiales comprise entre 0,7 et 8,0 milliards de tonnes de CO₂eq

L'océan et la cryosphère dans un climat qui change



WG I WG II



WG I WG II



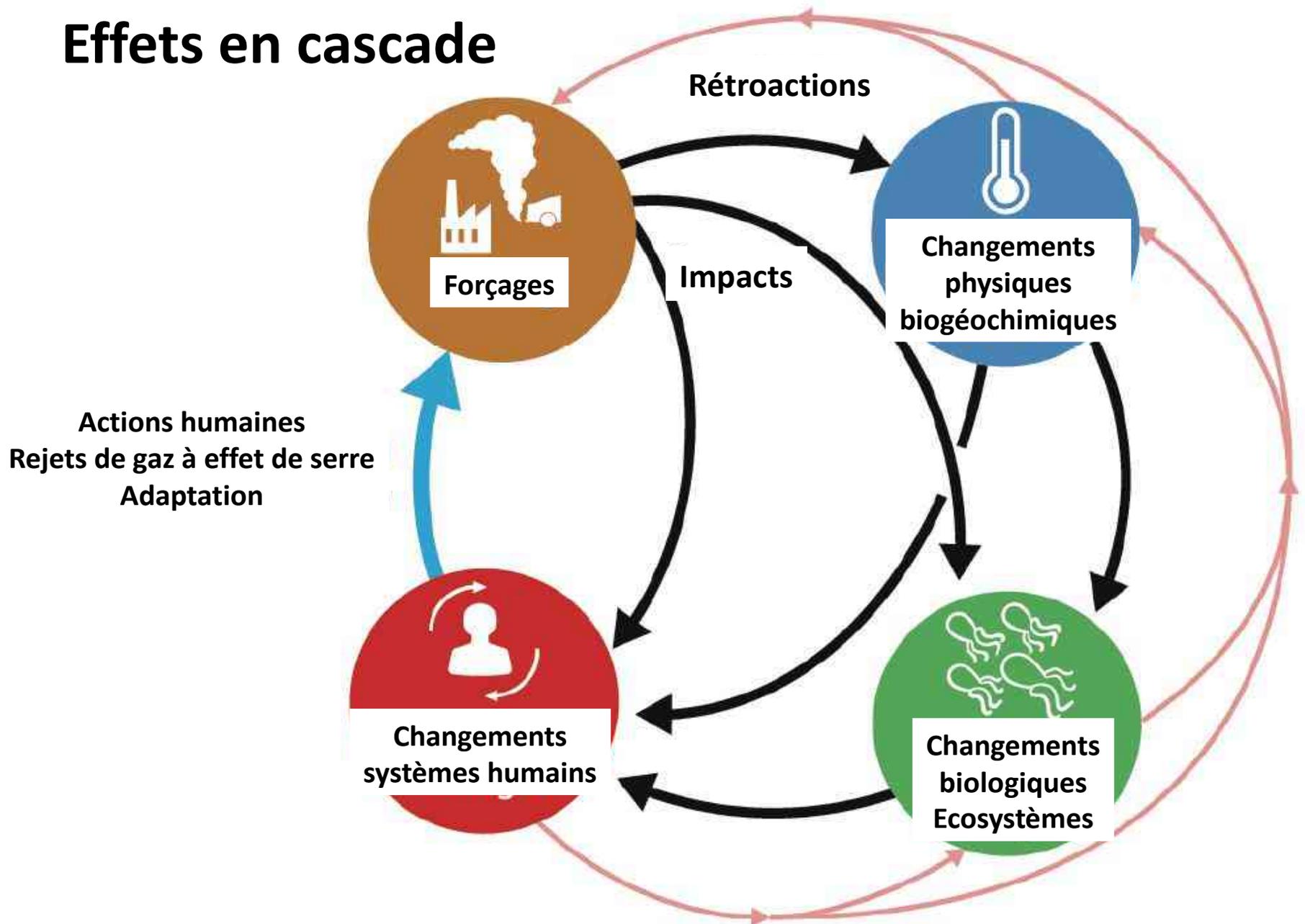
L'océan et la cryosphère prennent de plein fouet les conséquences de nos émissions de gaz à effet de serre

Ils sont sous pression

Nous en dépendons

Il y a urgence à agir

Effets en cascade



A high-altitude mountain valley with a river, terraced fields, and a village. The scene is dominated by massive, snow-capped mountains in the background under a clear blue sky. In the foreground, a wide, braided river flows through a valley. To the left, terraced green fields are visible, and a small village with white buildings is nestled on a slope. The right side of the valley is a steep, rocky mountain slope.

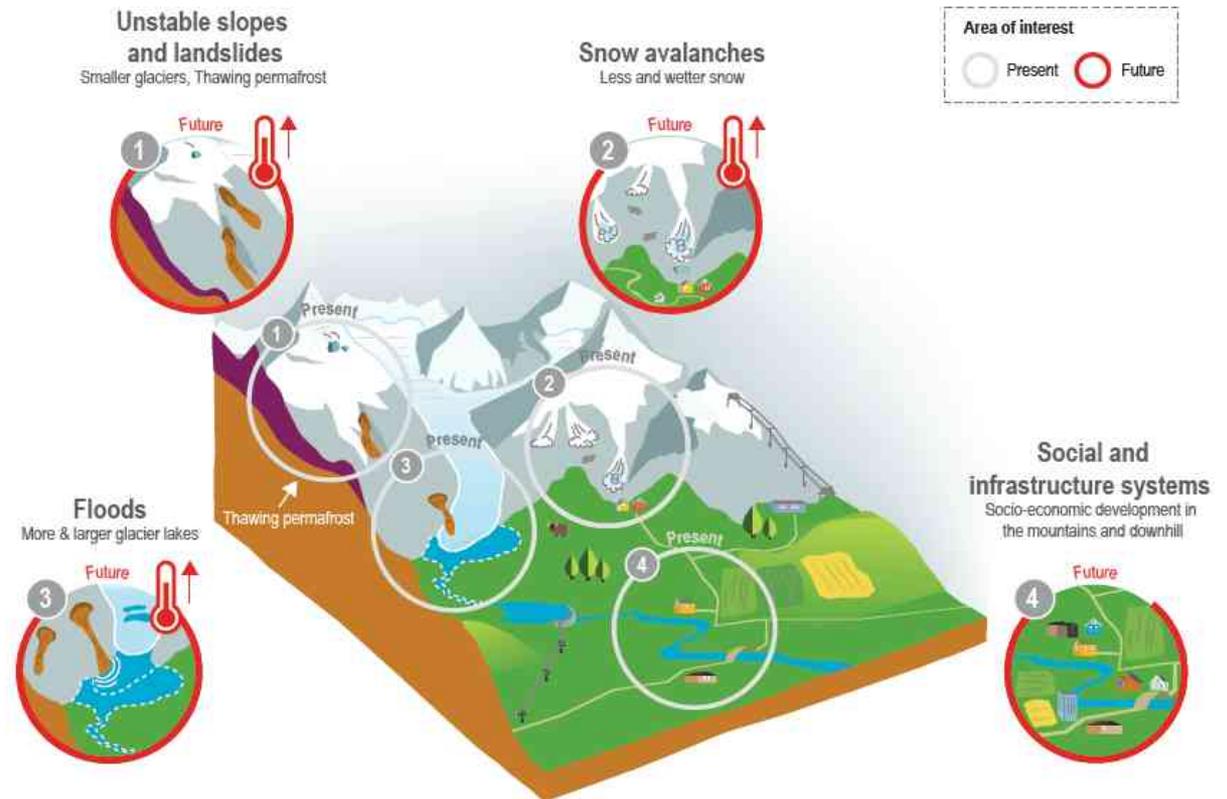
670 millions de personnes

**Hautes
montagnes**

Photo: Yungdrung Tsewang

Les glaciers, la neige, la glace et le pergélisol sont en déclin et continueront à diminuer. Cela affecte les risques naturels locaux: glissements de terrain, éboulements, avalanches, inondations, et la biodiversité. L'emplacement et la saison d'occurrence des risques sera modifiée.

L'évolution de la disponibilité de l'eau affectera aussi les communautés situées largement en aval.



La disparition de nombreux glaciers est inéluctable au cours du 21ème siècle.

Le recul de la cryosphère de haute montagne continuera à avoir des effets négatifs sur l'identité culturelle, les loisirs, le tourisme.

La gestion intégrée de l'eau et la coopération transfrontalière offrent des possibilités de faire face aux impacts de ces changements sur les ressources en eau.

La diversification touristique limite les impacts négatifs de la baisse de l'enneigement sur l'industrie du ski.

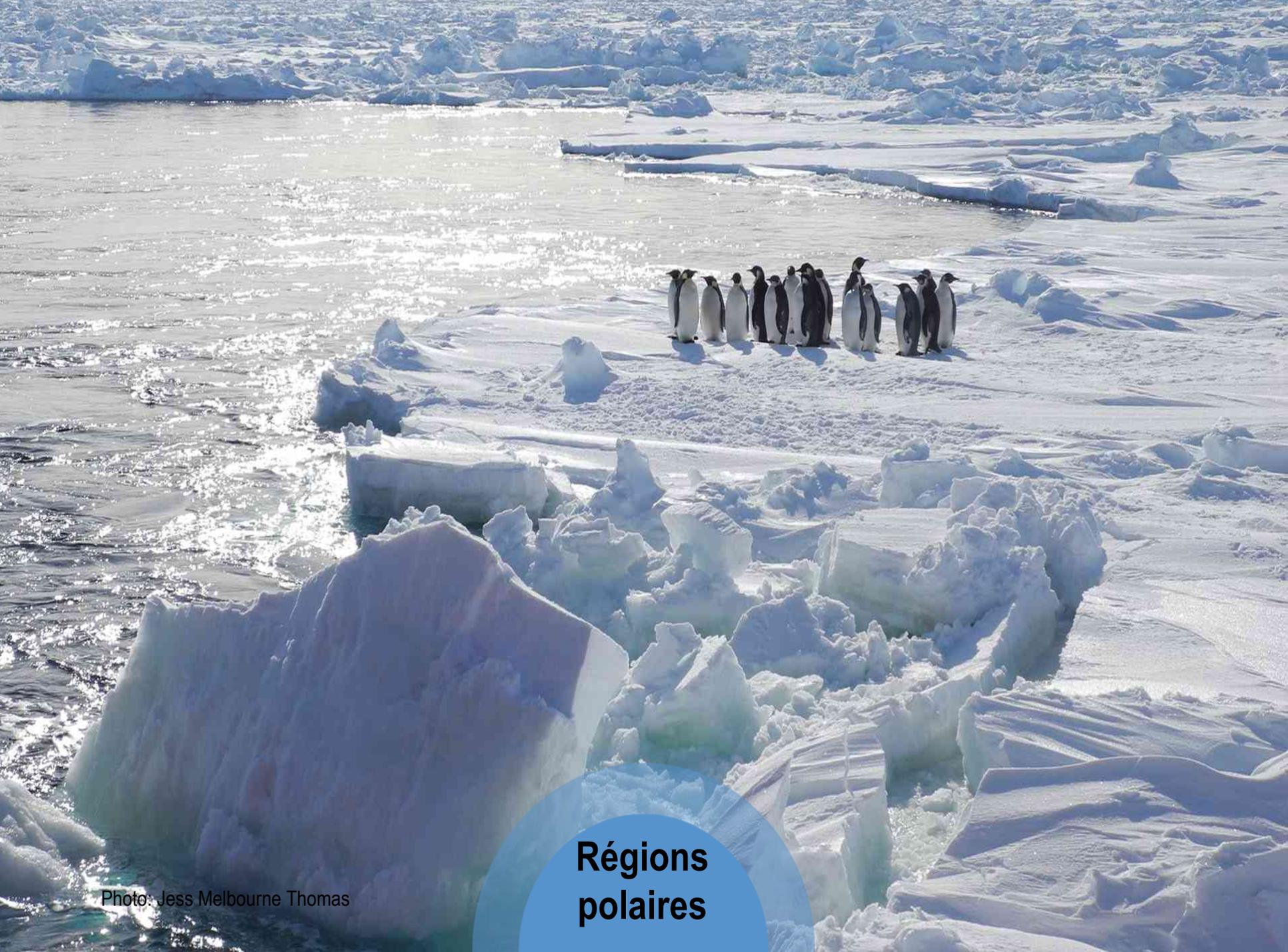
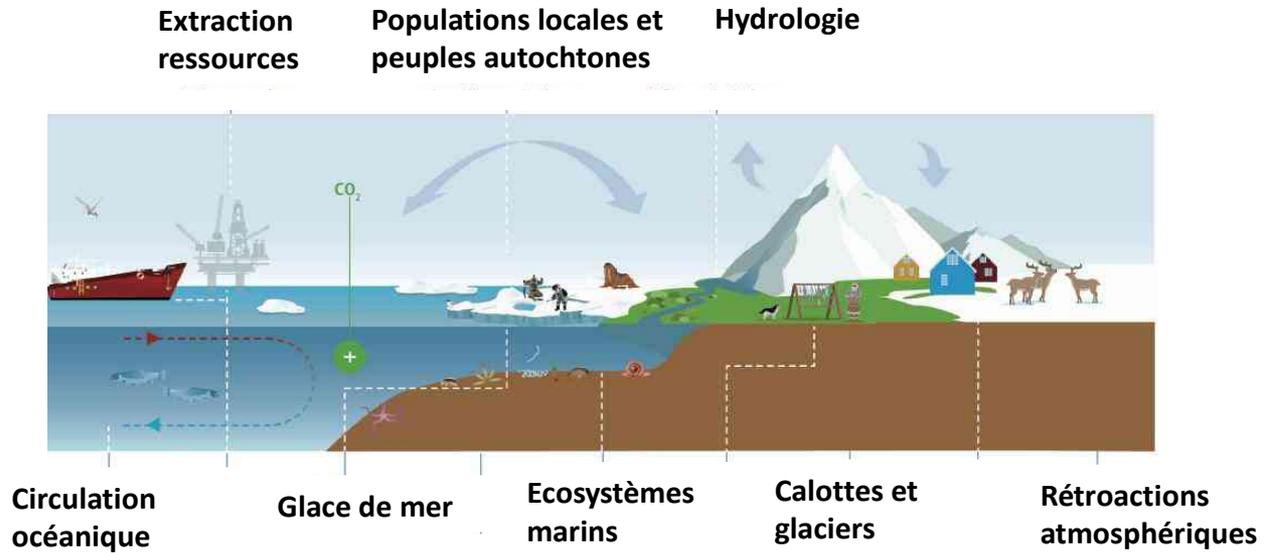


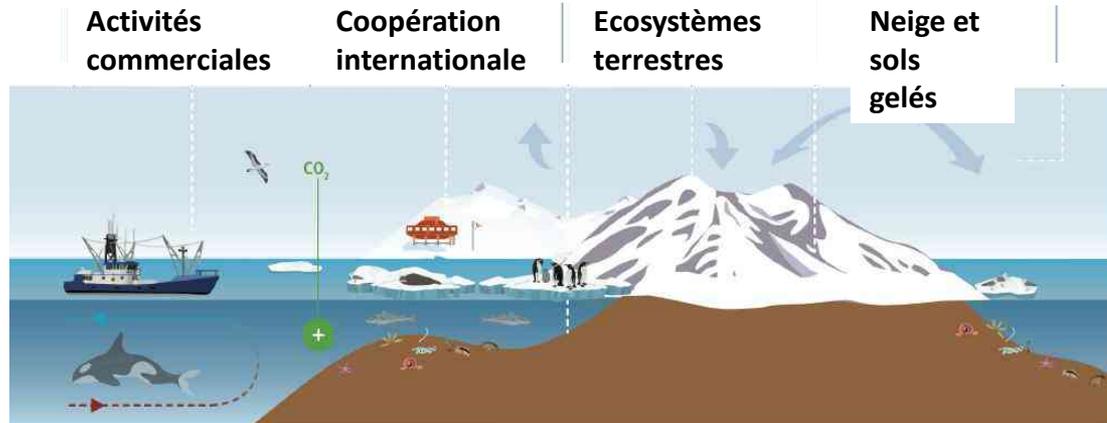
Photo: Jess Melbourne Thomas

**Régions
polaires**

Arctique



Antarctique

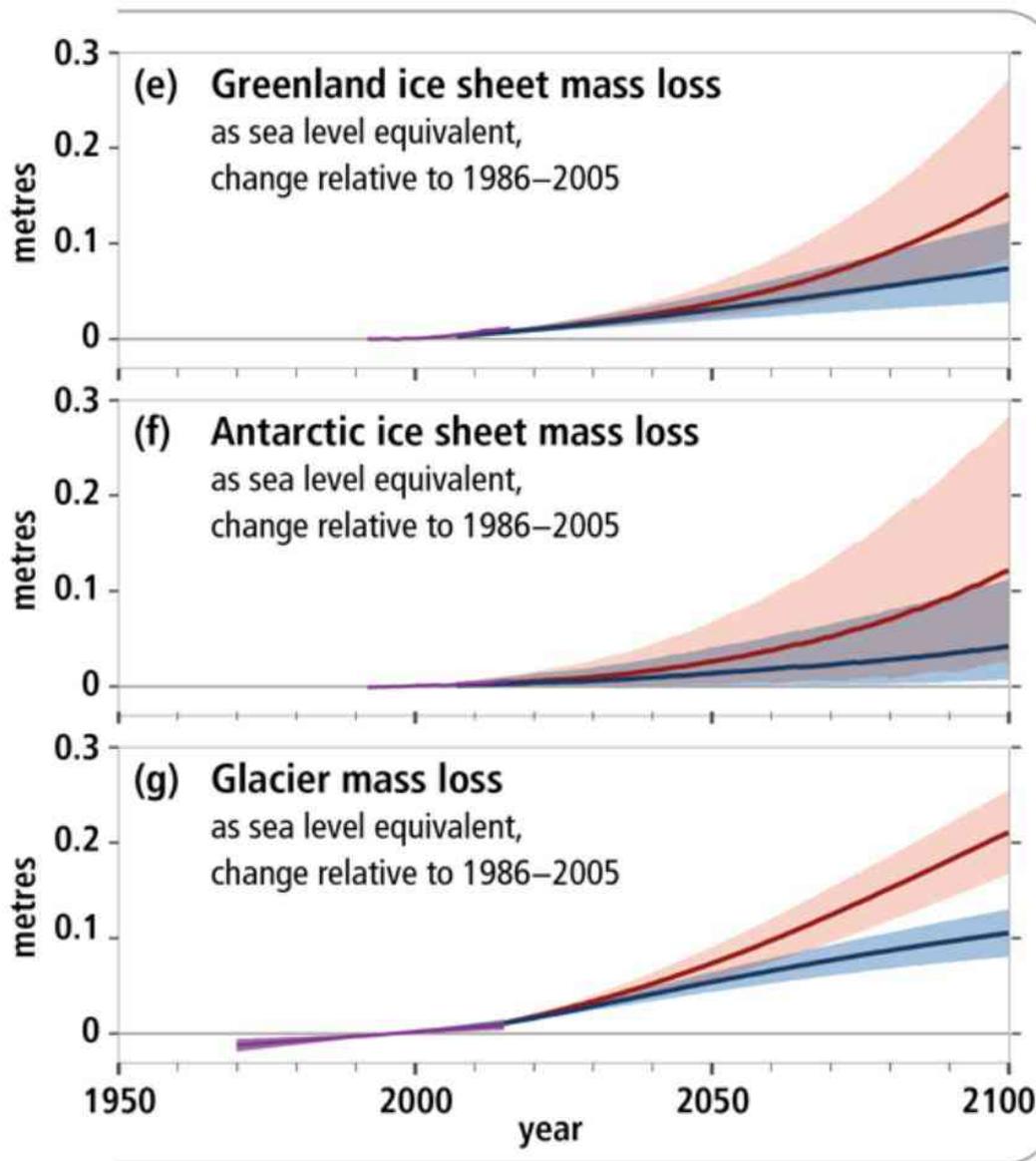


- Les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique perdent de la masse, de plus en plus.
- La fonte de la cryosphère (calottes et glaciers) est devenue le facteur dominant de l'élévation du niveau de la mer (en plus de l'expansion de l'eau de mer qui se réchauffe).
- Comme les calottes glaciaires continueront de fondre en réaction au réchauffement passé et actuel, la planète connaîtra une élévation du niveau de la mer pendant des décennies et des siècles.

Changements historiques (observés et/ou simulés) et projections selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5

Historique (observé) Historique (simulé) Projections RCP2.6 Projections RCP8.5

**Perte de
masse de la
calotte du
Groenland**



**Perte de masse
de l'Antarctique**

**Perte de masse
des glaciers**

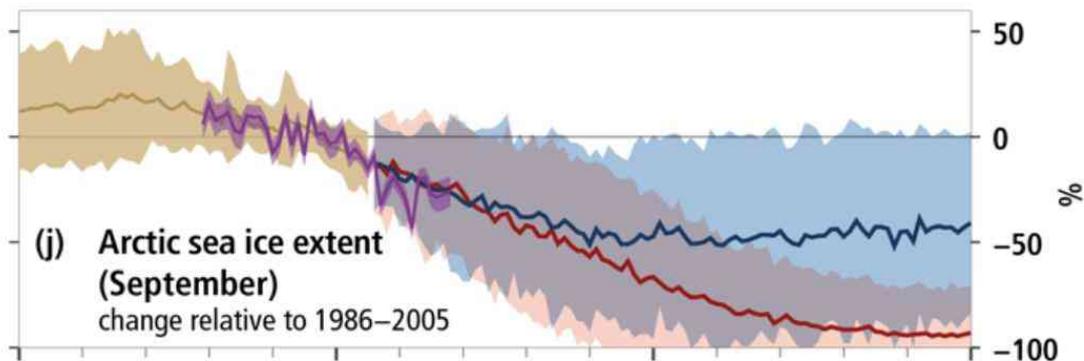
- La glace de mer de l'Arctique diminue chaque mois de l'année et s'amincit.
- Si le réchauffement global est limité à 1,5°C (par rapport à 1850-1900), l'Océan Arctique ne serait libre de glace en septembre (le mois avec l'extension la plus petite) seulement une fois par siècle.
- Pour un réchauffement de 2°C, ce serait une année sur trois.

- Le pergélisol, sol et roches gelés, dégèle, ce qui risque d'ajouter d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère.
- Pour un réchauffement global de 2°C, environ un quart du pergélisol proche de la surface (3-4 mètres de profondeur) dégèlera d'ici 2100. Si les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter fortement, environ 70 % du pergélisol près de la surface pourrait être perdu.

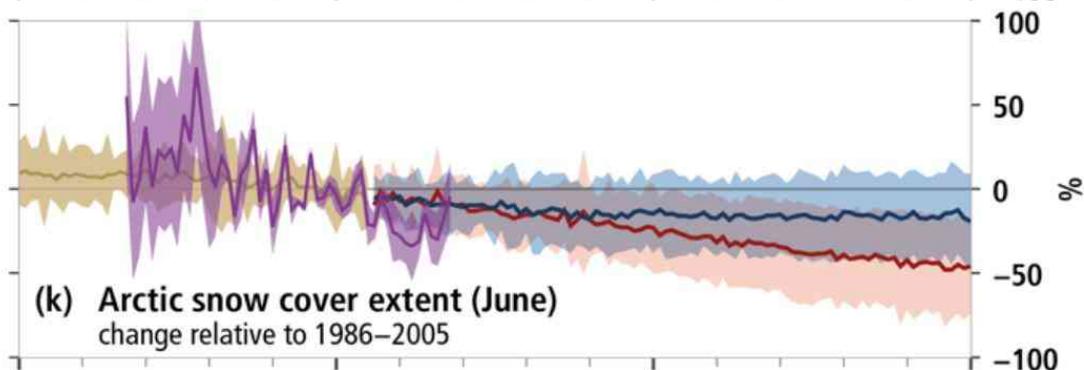
Changements historiques (observés et/ou simulés) et projections selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5

Historique (observé) Historique (simulé) Projections RCP2.6 Projections RCP8.5

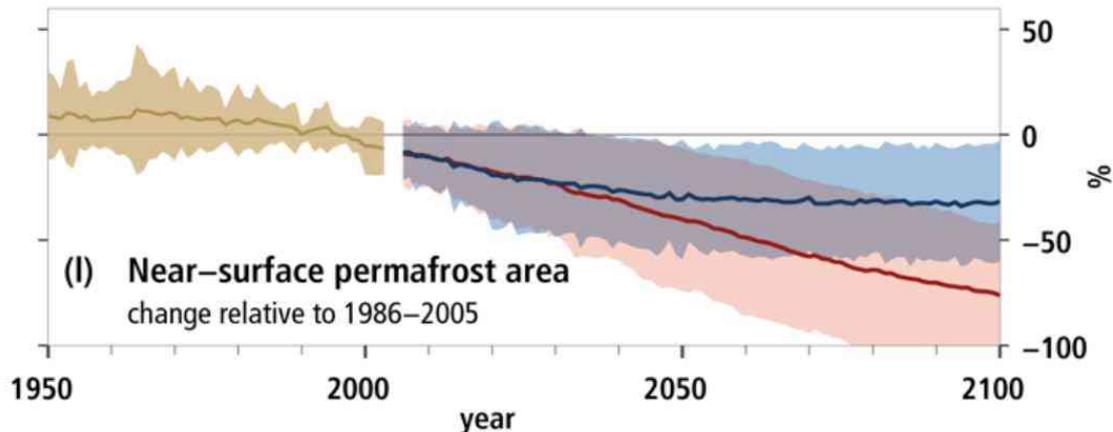
Extension de la glace de mer arctique (Septembre)



Extension du manteau neigeux arctique (Juin)



Extension du pergélisol de surface arctique



- Les habitants de l'Arctique, en particulier les peuples autochtones, adaptent déjà leurs déplacements et leurs activités saisonnières de chasse aux conditions de sécurité des sols, de la glace (lacs, banquise) et de la neige.
- Le succès de leur adaptation dépend des financements, des capacités et de l'appui institutionnel. 4 millions de personnes vivent aujourd'hui en Arctique.

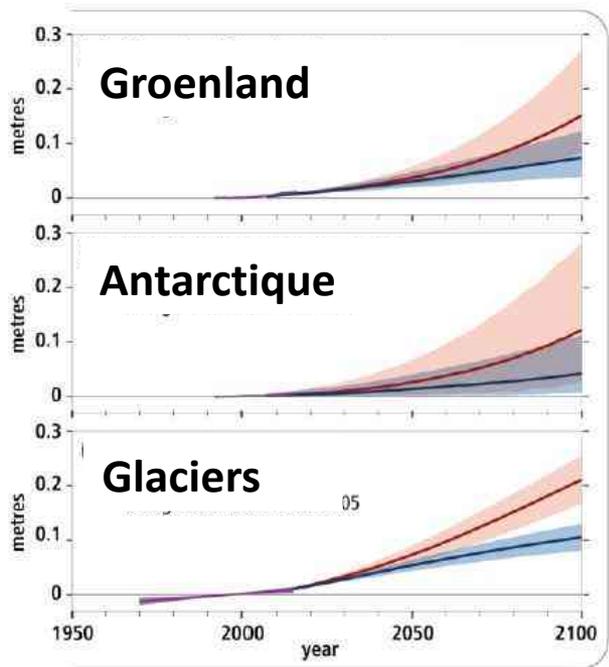
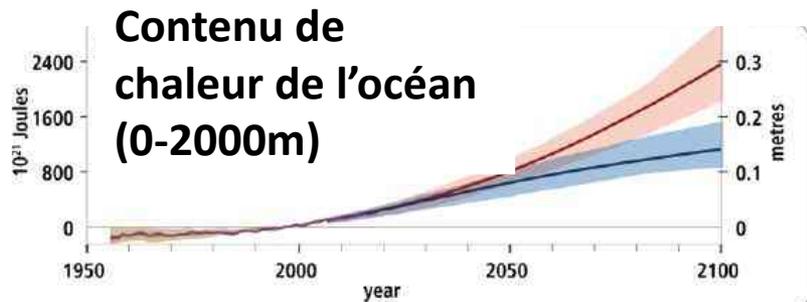


**Hausse du
niveau des mers**

- 65 millions de personnes vivent dans les petits états insulaires en développement, et 680 millions dans les zones côtières basses. Ils seront 1 milliard en 2050.
- Au cours du XXe siècle, le niveau moyen de la mer a augmenté d'environ 15 centimètres. Il monte maintenant plus de deux fois plus vite (3,6 mm/an 2005-2016) et le rythme s'accélérera encore pour atteindre jusqu'à 1,10 mètre en 2100 (fourchette haute probable) si les émissions ne sont pas fortement réduites.

Changements historiques (observés et/ou simulés) et projections selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5

Historique (observé) Historique (simulé) Projections RCP2.6 Projections RCP8.5

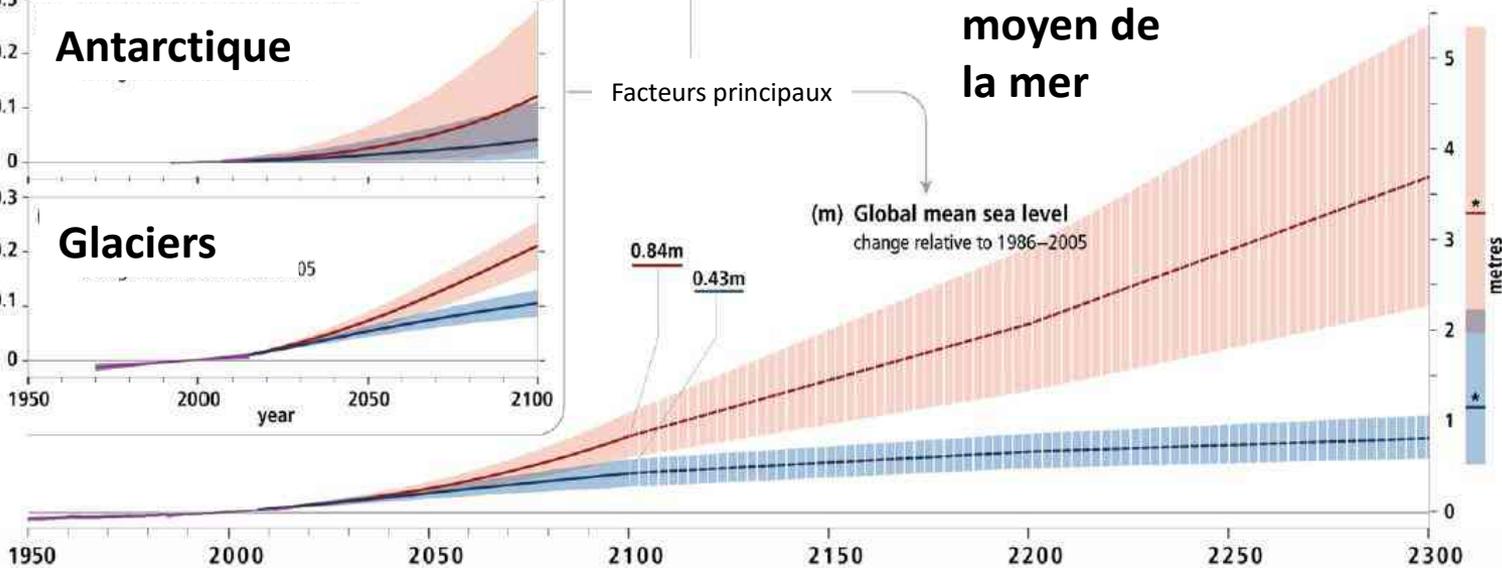


Facteurs principaux

Niveau moyen de la mer

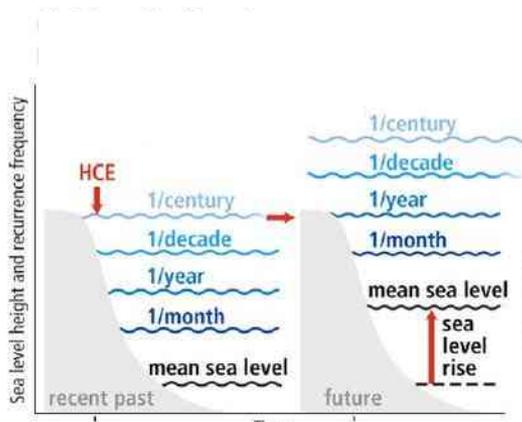
(m) Global mean sea level change relative to 1986–2005

0.84m
0.43m

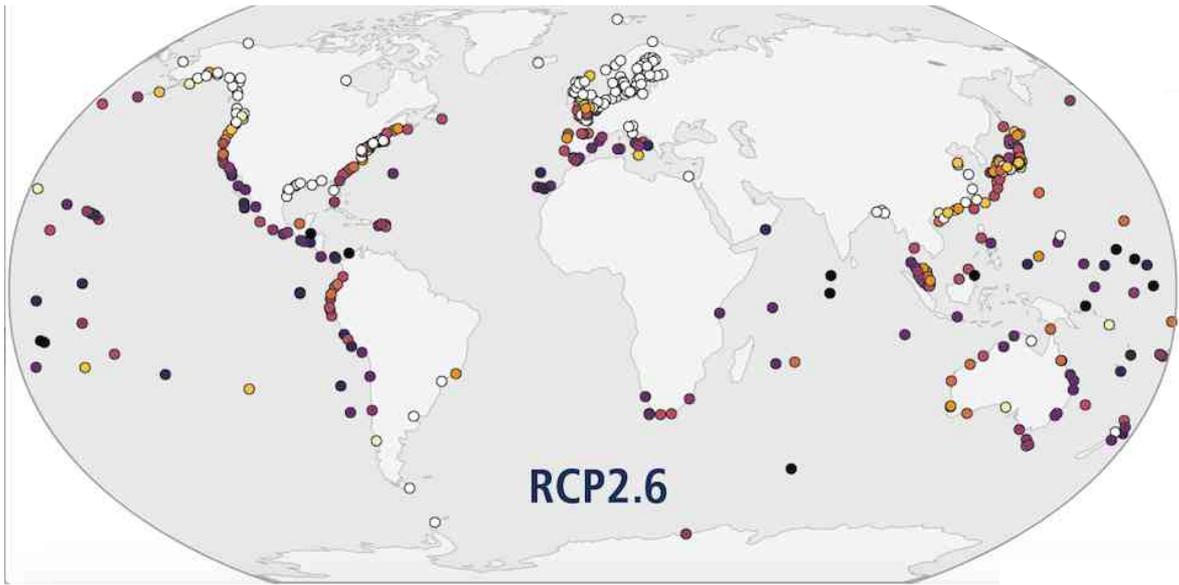


Année

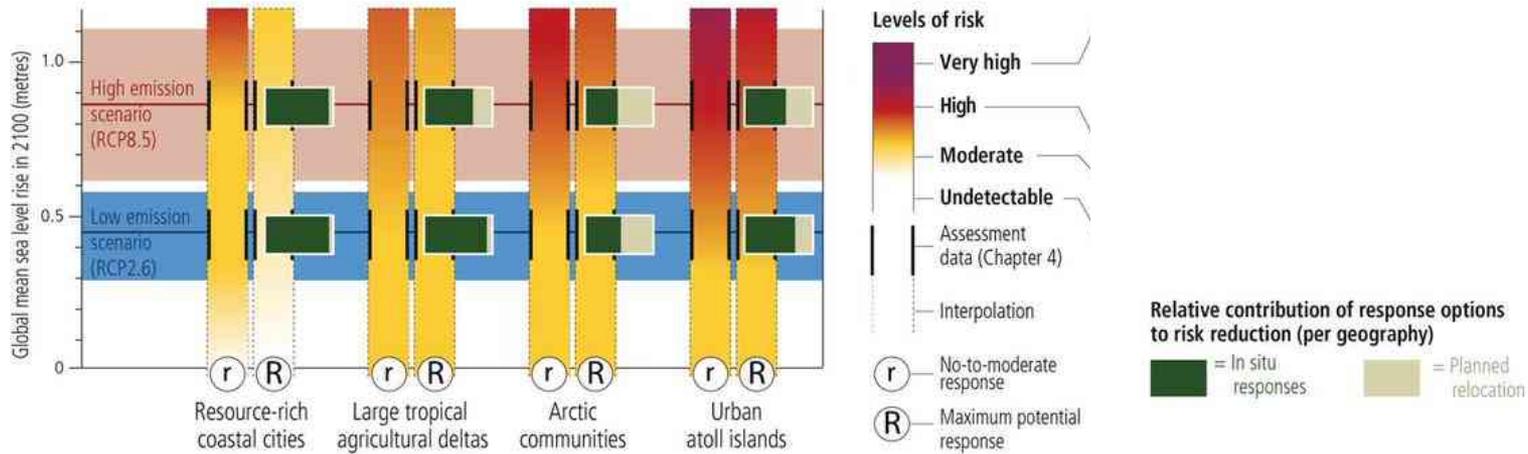
Les évènements de niveau marin haut extrême (1/siècle actuellement) se produiront 1 fois/an dans beaucoup de régions à horizon 2050



Année où ces évènements seront annuels

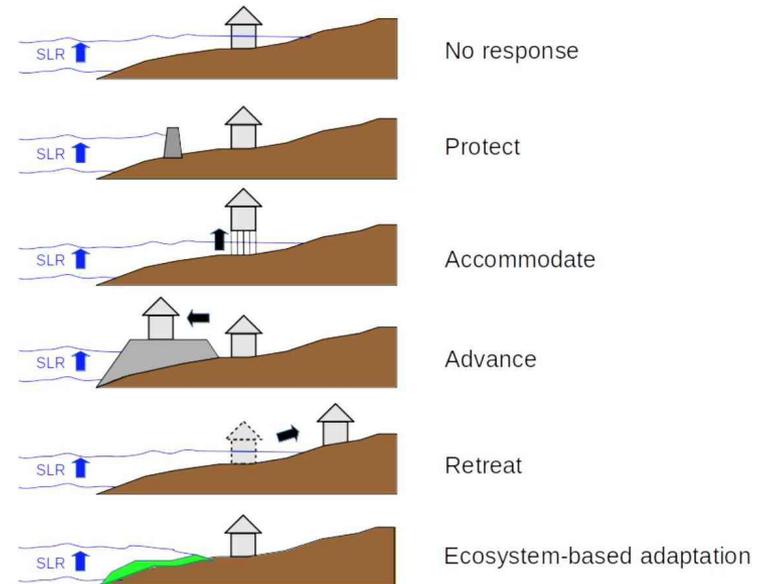


Les risques associés à la montée du niveau des mers à horizon 2100 vont dépendre des réponses locales



Réduire les émissions de gaz à effet de serre, et mettre en place des actions d'adaptation permet de réduire et retarder les risques

Les personnes les plus exposées et les plus vulnérables sont souvent celles dont la capacité de réponse est la plus faible.





Vie marine

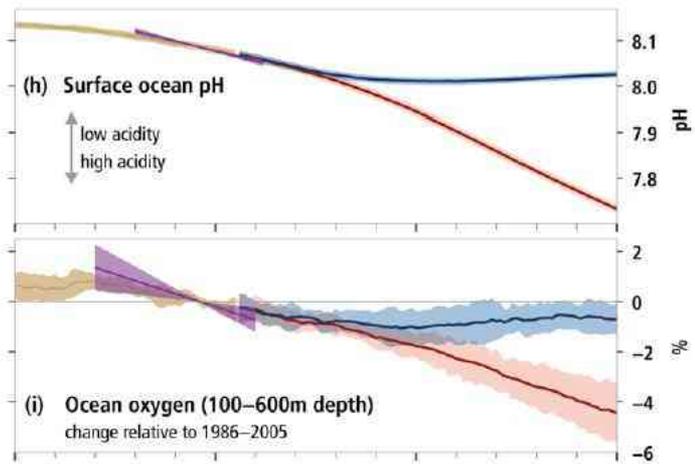
- Jusqu'à présent, l'océan a absorbé 90 % de la chaleur supplémentaire accumulée par le système climatique. Cela rend le changement climatique irréversible.
- Il accumulera 2 à 4 fois plus de chaleur qu'entre 1970 et 2100 même si le réchauffement climatique est limité à 2°C et jusqu'à 5 à 7 fois plus si les émissions de gaz à effet de serre augmentent fortement.
- Le réchauffement de l'océan réduit le mélange entre les couches d'eau et limite donc l'apport d'oxygène et de nutriments pour la vie marine.

- En absorbant les émissions de carbone d'origine humaine, l'océan s'acidifie. Cela rend déjà plus difficile pour certaines espèces marines la construction de leurs coquilles et de leurs squelettes.
- L'océan a absorbé entre 20 et 30 % de nos émissions de dioxyde de carbone, et la poursuite de cette absorption exacerbera l'acidification des océans d'ici 2100.

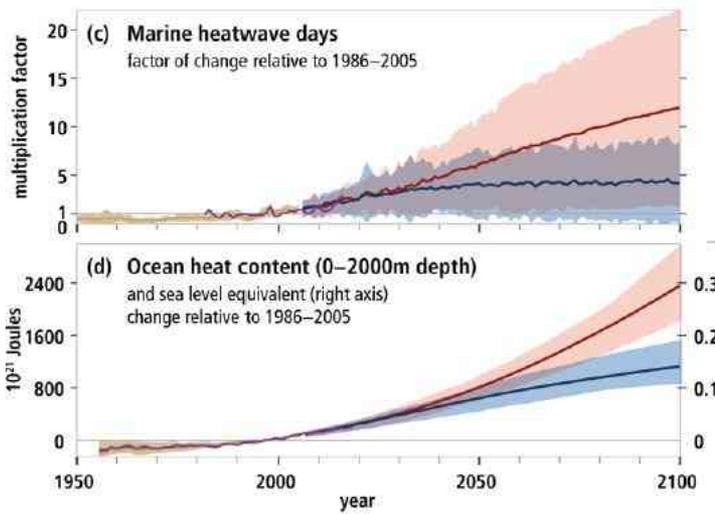
Changements historiques (observés et/ou simulés) et projections selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5

Historique (observé) Historique (simulé) Projections RCP2.6 Projections RCP8.5

pH



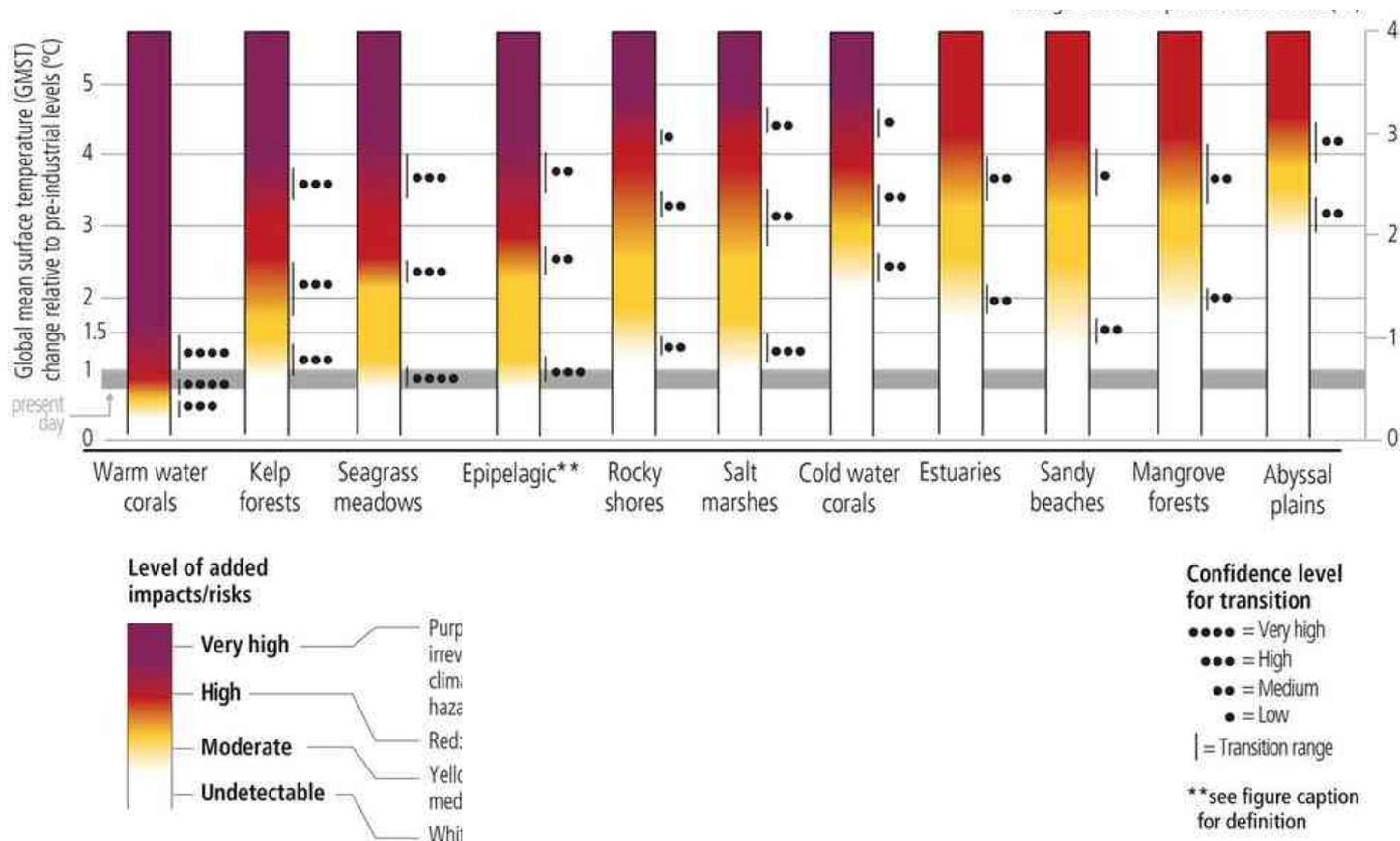
Oxygène



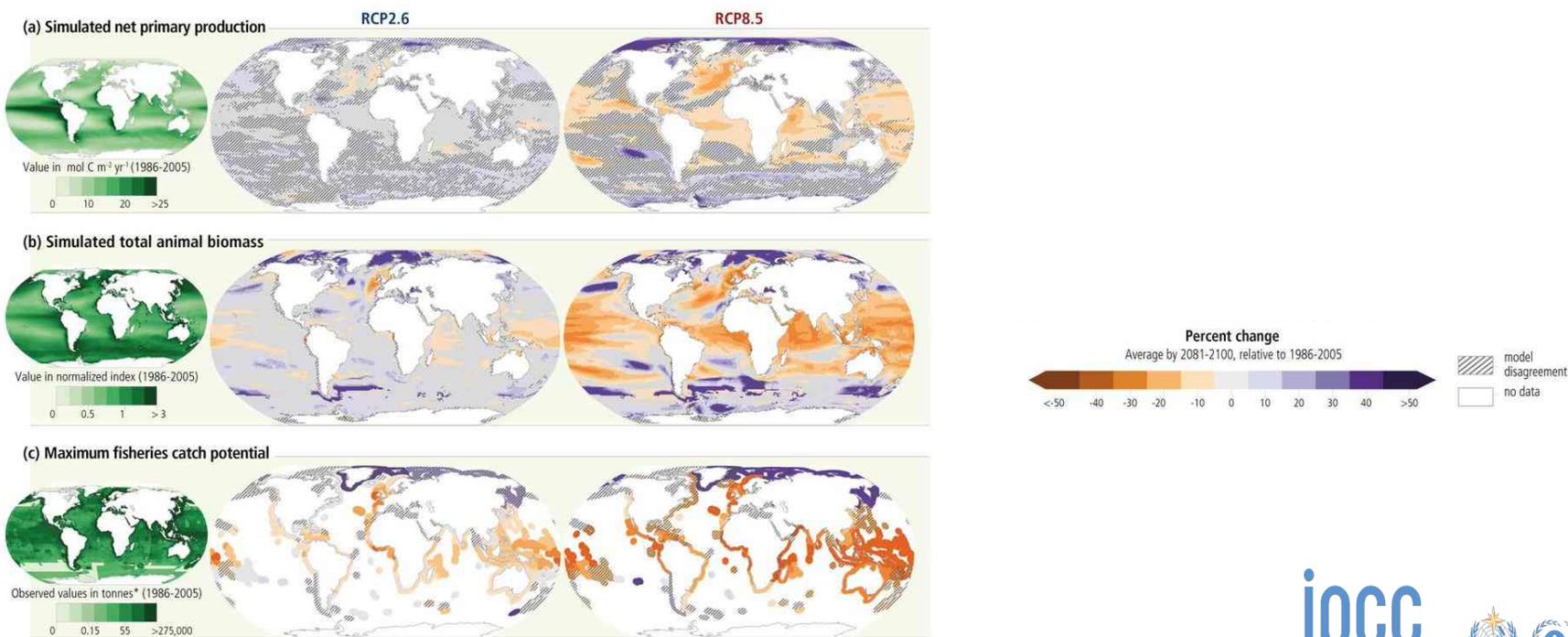
Vagues de chaleur marines

Contenu de chaleur des océans

- Un océan plus chaud, qui s'acidifie et qui perd de l'oxygène a des répercussions sur la vie marine, sa répartition et sa productivité.
- Les risques pour les écosystèmes marins dépendent fortement du niveau de réchauffement, et des émissions de gaz à effet de serre à venir.

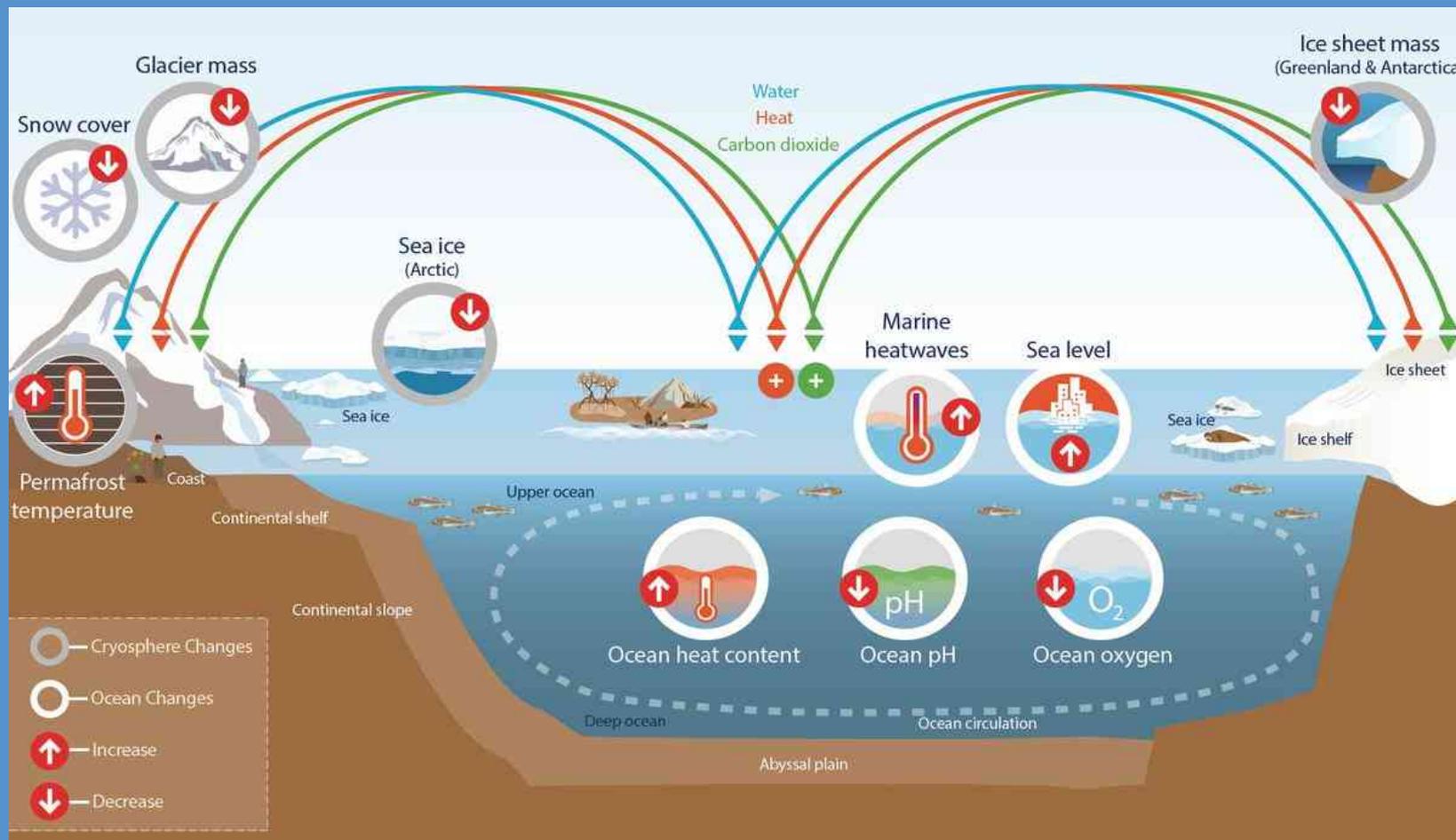


- Les changements dans l'océan entraînent des changements dans la répartition des populations de poissons. Cela a déjà réduit le potentiel de pêche. Cette baisse se poursuivra dans les tropiques. Par contre, il y aura une augmentation en Arctique.
- Les communautés qui dépendent fortement des produits de la mer peuvent être confrontées à des risques pour leur santé nutritionnelle et leur sécurité alimentaire.



- En plus de réduire les émissions de gaz à effet de serre, la réduction d'autres pressions telles que la surpêche, la pollution, les afflux de sédiments, les activités extractives aiderait la vie marine à faire face aux changements dans son environnement.
- Les cadres politiques, tels que la gestion des pêcheries et les zones marines protégées, offrent aux populations la possibilité de s'adapter aux changements et de minimiser les risques pour leurs moyens d'existence, tout en permettant à l'océan d'être plus résilient.

Le changement climatique induit par l'homme a une empreinte majeure sur les systèmes dont nous dépendons - du sommet des montagnes au fond de l'océan. Ces changements se poursuivront pour les générations à venir.

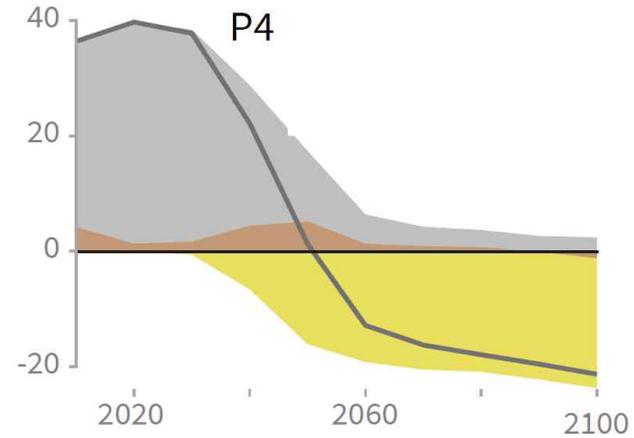
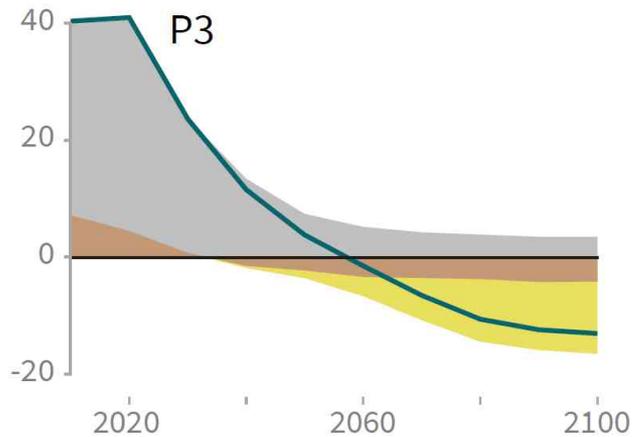
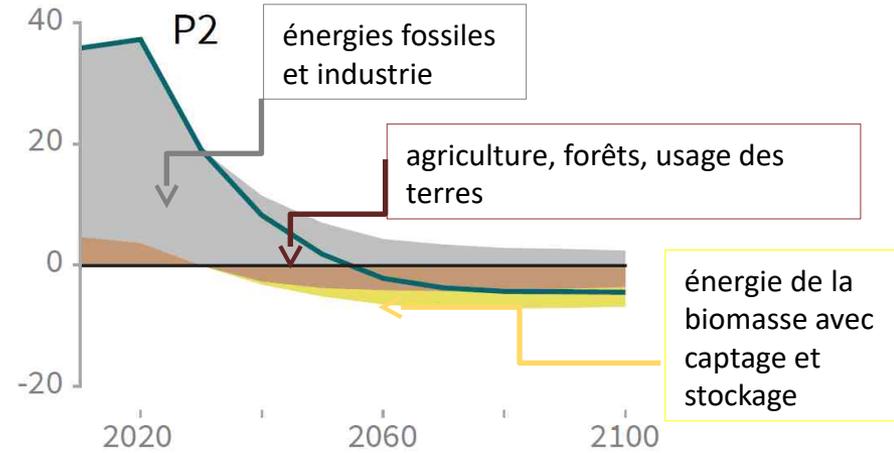
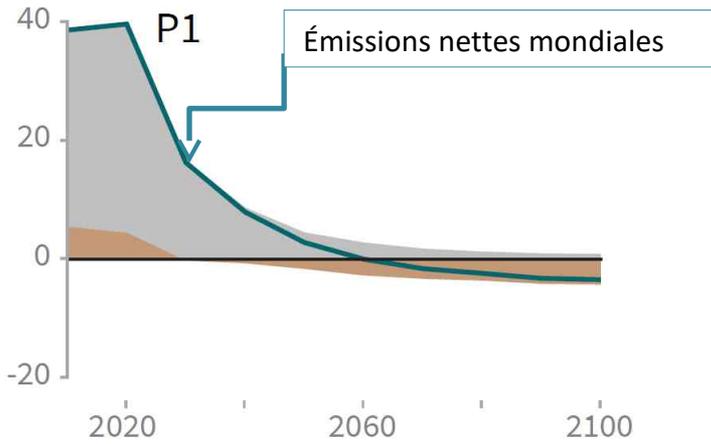


- **Plus nous agissons tôt, plus nous serons en mesure de faire face aux changements inévitables, de gérer les risques, d'améliorer nos vies et d'assurer la soutenabilité des écosystèmes et des populations du monde entier - aujourd'hui et à l'avenir.**
- **Importance de l'éducation (« climate literacy », « ocean literacy »)**
- **Ce nouveau rapport spécial du GIEC souligne l'urgence de donner la priorité à une action immédiate, ambitieuse, coordonnée et tenace**

- **Le climat de la France et du monde change, avec des effets visibles partout**
- **C'est dû aux rejets mondiaux de gaz à effet de serre**
- **Une partie des changements futurs sont inéluctables (horizon 2050) et il faut s'y préparer pour limiter les conséquences**
- **L'évolution à long terme (après 2050) va fortement dépendre des émissions mondiales de gaz à effet de serre à venir**
- **Il y a de nombreuses options pour agir**
- **La répartition de la responsabilité, et des conséquences différentes du changement climatique selon les régions, selon les générations, selon les vulnérabilités et les capacités à agir en fait profondément un enjeu de justice**

Exemples de trajectoires

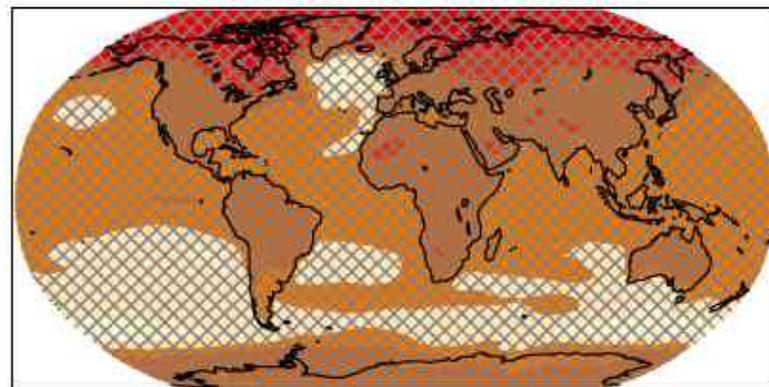
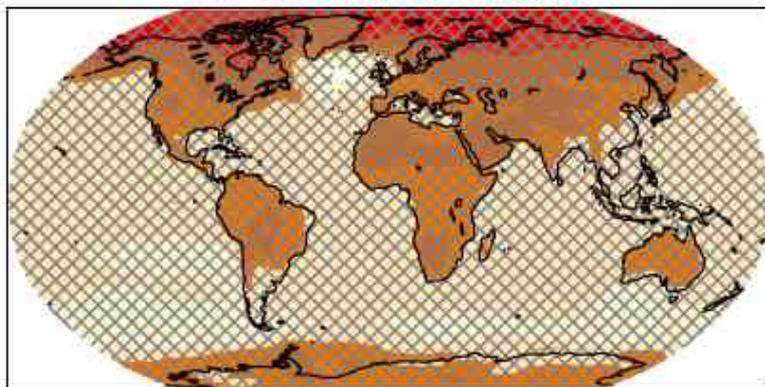
Milliards de tonnes de CO2 par an



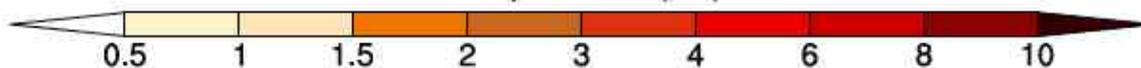
Monde 1,5°C plus chaud

Monde 2°C plus chaud

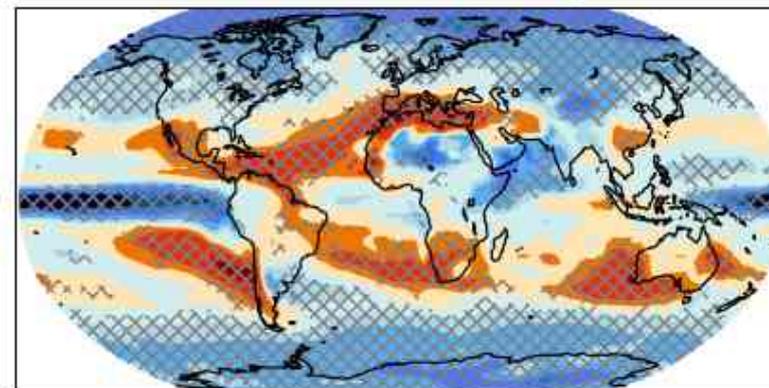
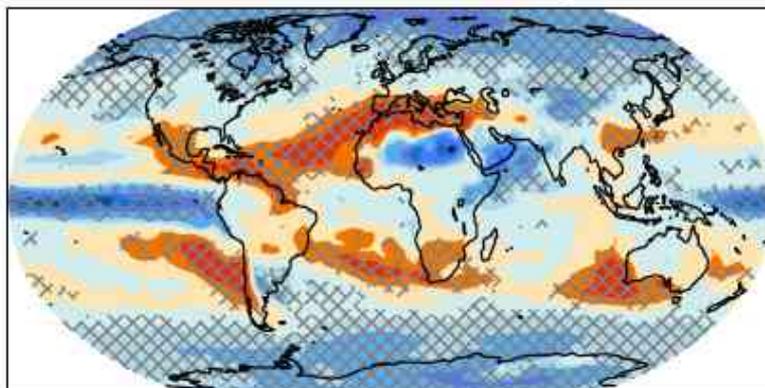
Changement
de
température
moyenne
annuelle



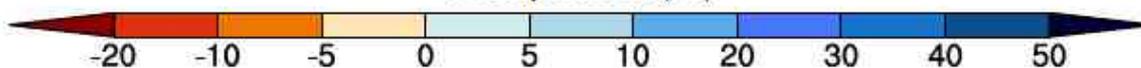
Temperature (°C)



Changement
de
précipitations
annuelles



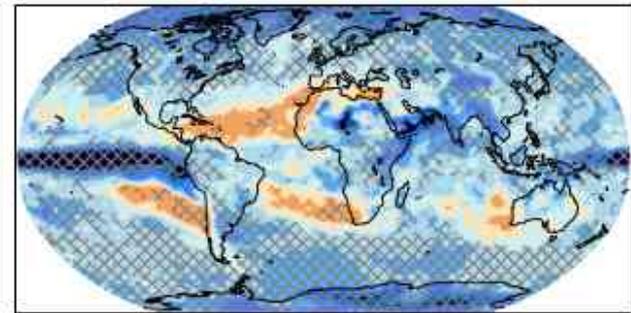
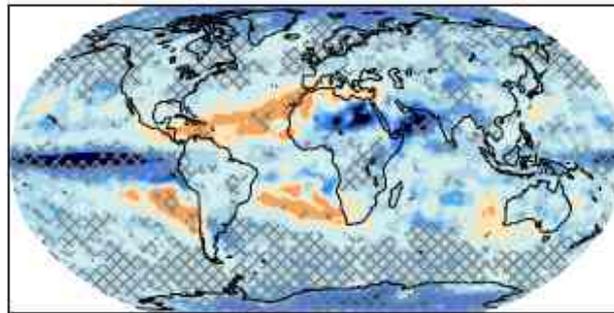
Precipitation (%)



26 modèles CMIP5
hachures : cohérence 66%

Monde 1,5°C plus chaud

Monde 2°C plus chaud



**Pluies les plus
intenses**

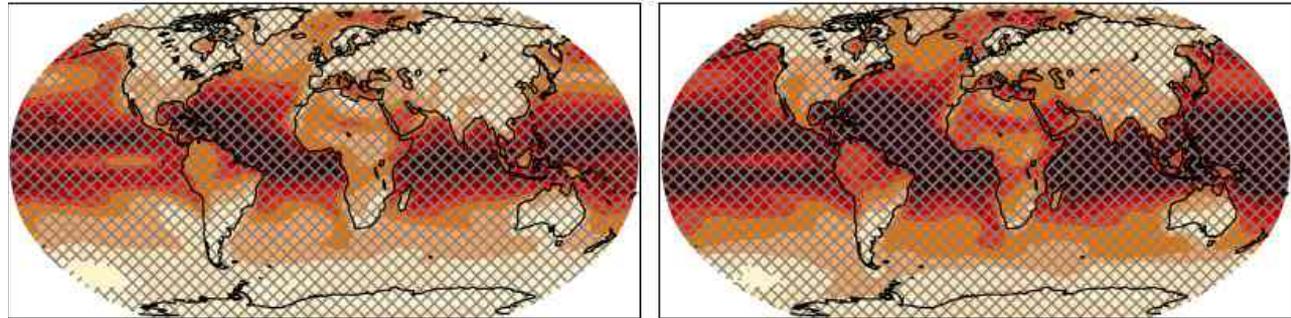
Precipitation (%)



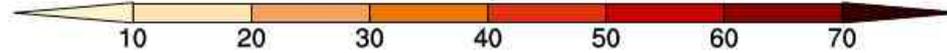
Monde 1,5°C plus chaud

Monde 2°C plus chaud

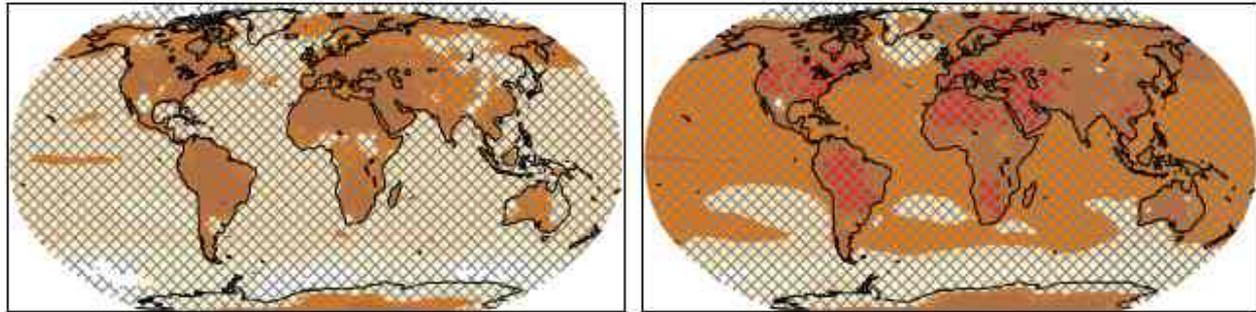
Nombre de jours très chauds



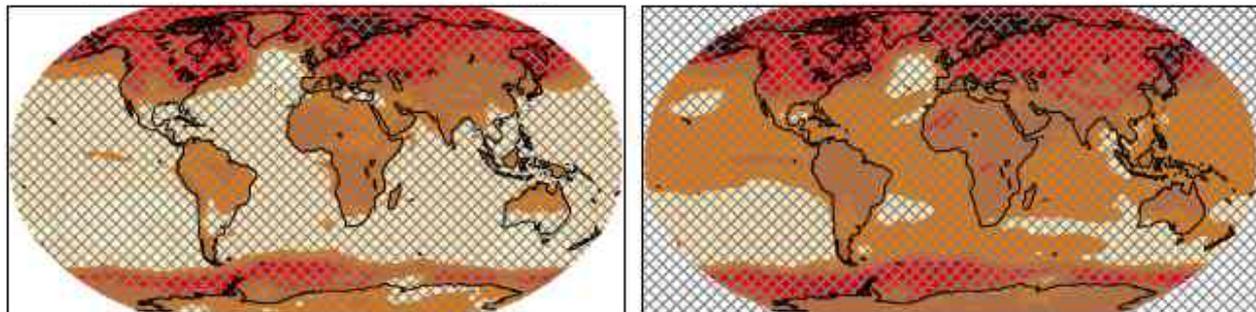
days



Température des jours les plus chauds



Température des nuits les plus froides



Temperature (°C)

