

# Conférence à la Société Française de Physique

## Questions sur le climat : 30 ans d'alerte, pourquoi si peu de résultats ?

Gilles Ramstein, Sylvestre Huet

Lundi 4 décembre 2023

Partie 1: Des études pionnières au dernier rapport du groupe 1 (physique du système Terre) du GIEC

**Gilles Ramstein, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement**



# Plan de l'exposé

- Etudes pionnières. Contexte et validité des premières projections de l'impact d'un doublement de CO<sub>2</sub> par Arrhenius (1896)  
*cf HDR Jean-Louis Dufresne 2019*
- Quel analogue de l'anthropocène dans l'histoire du climat passé de la Terre?
- Groupe 1 (physique du système Terre) du GIEC : du premier rapport (1990) au dernier rapport (2023), quelle évolution ?

# Un peu d'histoire...

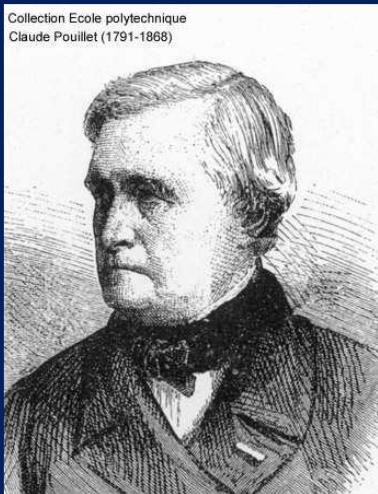
Premiers calculs de température de surface de la Terre basés sur des bilans radiatifs de l'intérieur de la Terre (géothermie) énergie solaire à l'atmosphère



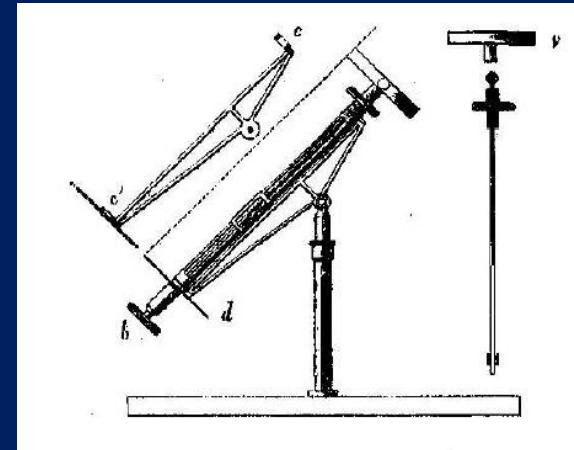
- ✓ Il comprend que l'énergie solaire est largement dominante
- ✓ Mais mauvaise prise en compte:
  - de la dynamique de l'atmosphère et de l'océan
  - du rayonnement infra-rouge

Jean-Baptiste Joseph Fourier [1768-1830]

# Un peu d'histoire...



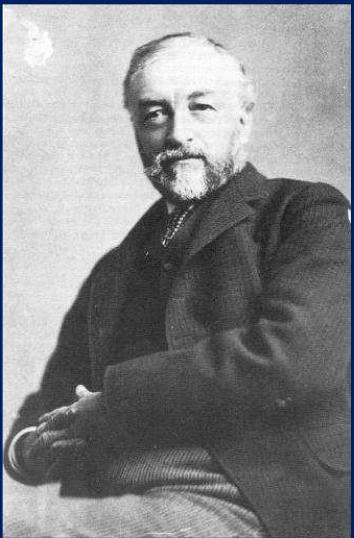
Claude Servais Matthias Pouillet [1790-1868] (credit Ecole Polytechnique)



Schémas du pyrhéliomètre de C. Pouillet (Pouillet, 1838)

Premières mesures du bilan radiatif dans la colonne atmosphérique  
Premières estimations de la constante solaire:  
bilan radiatif au sommet de l'atmosphère :  $1228 \text{ W/m}^2$  (Valeur réelle  $1367 \text{ W/m}^2$ )

# Un peu d'histoire...



Samuel Pierpont Langley [1834-1906]  
(credit : Smithsonian Institution)

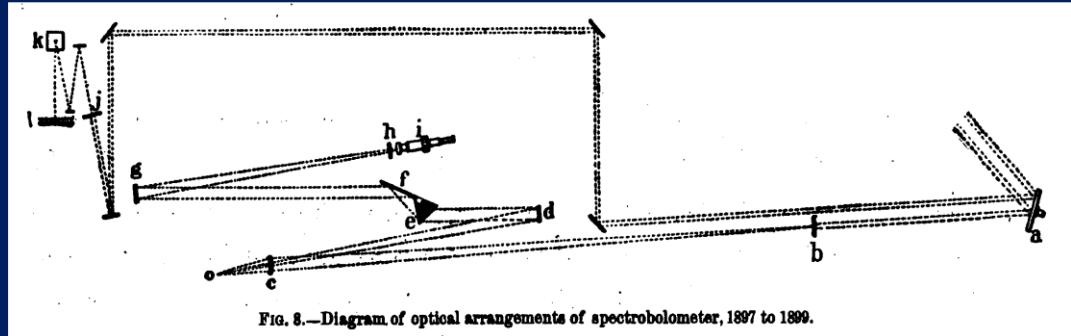
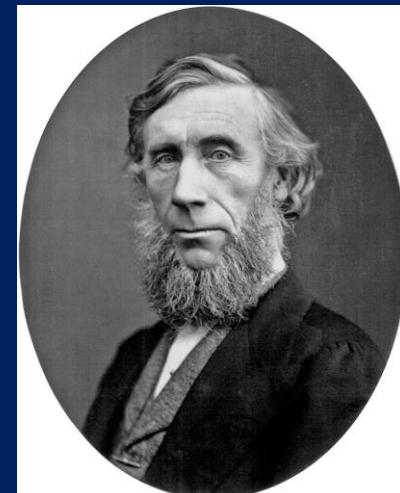


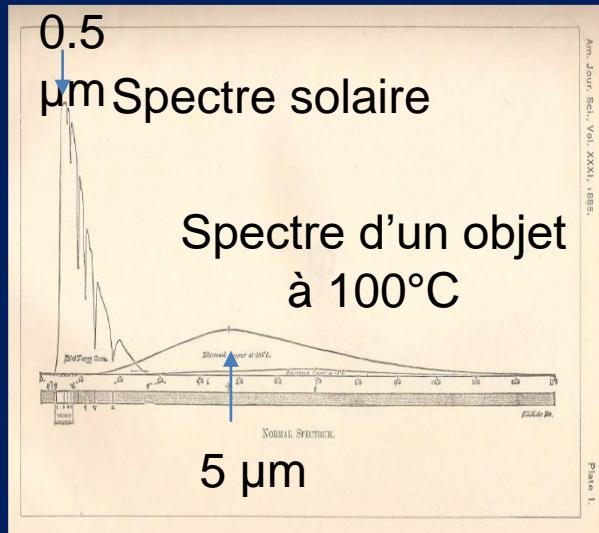
Diagramme du spectrobolomètre développé et utilisé par Langley

Avec Tyndall, premières mesures et compréhension du bilan radiatif complet (visible et infra-rouge)

**John Tyndall** (1820 - 1893)



# Un peu d'histoire...

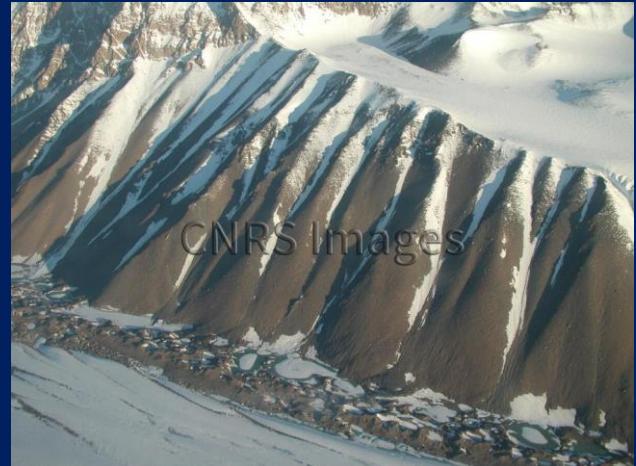


# Un peu d'histoire...



Svante Arrhenius [1859-1927]

Dans un contexte, à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, où les questions scientifiques sont la compréhension des cycles glaciaires/interglaciaires (moraines), Arrhenius s'intéresse à la sensibilité des températures du globe aux variations de CO<sub>2</sub>. Il évalue qu'au dernier paroxysme glaciaire il y a 21.000 ans, le CO<sub>2</sub> devait être plus faible. Il en déduit qu'un doublement de CO<sub>2</sub> provoquerait une augmentation des températures du globe de 5°C.

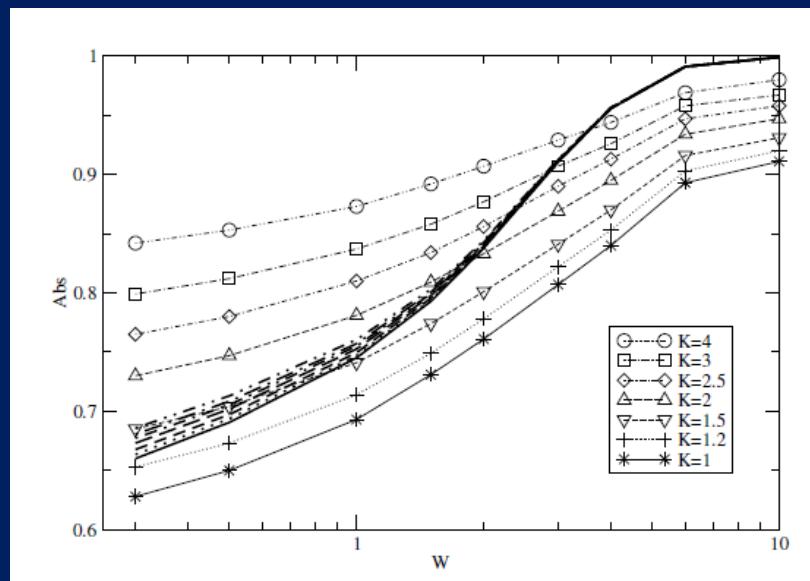


CNRS Images

# Un peu d'histoire...

Absorptivité de l'atmosphère terrestre, moyennée sur tout le spectre pour le rayonnement d'un corps à 15°C en fonction de la quantité de  $\text{H}_2\text{O}$

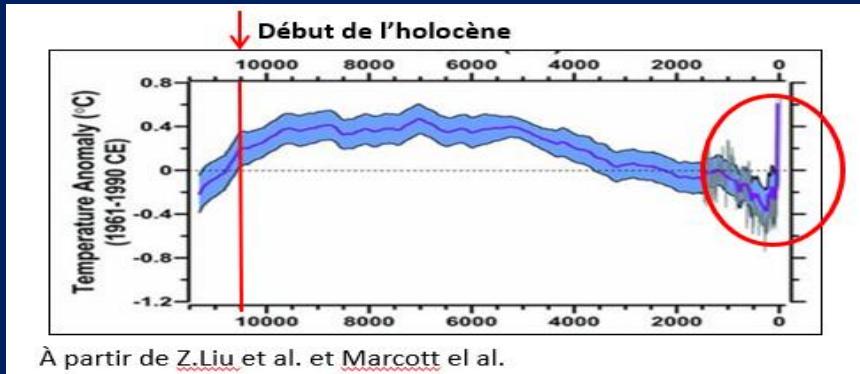
Traits fins : calculs d'Arrhénius pour différentes valeurs de  $\text{CO}_2$  ( $K=1$  : 300 ppmv )  
Trait plein: modèle radiatif contemporain pour 300 ppmv



W= Quantité de vapeur d'eau (unité= 20 kg.m<sup>-2</sup>)

# La fulgurance : slide sur les échelles de temps

Evolution des températures pendant l'holocène (notre interglaciaire)

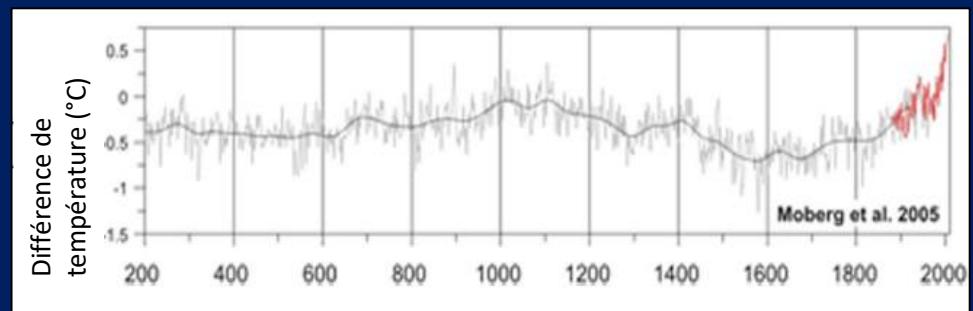


- En comparaison des 50 dernières années, très faible évolution de la température globale de l'Holocène : très stable jusqu'à 5000 ans, suivie d'une lente tendance au refroidissement ( $\sim 0.1^\circ$  sur 1000 ans)

Evolution des températures sur les 2 derniers millénaires

Sur 1000 ans, l'on observe des fluctuations d'amplitude faible :

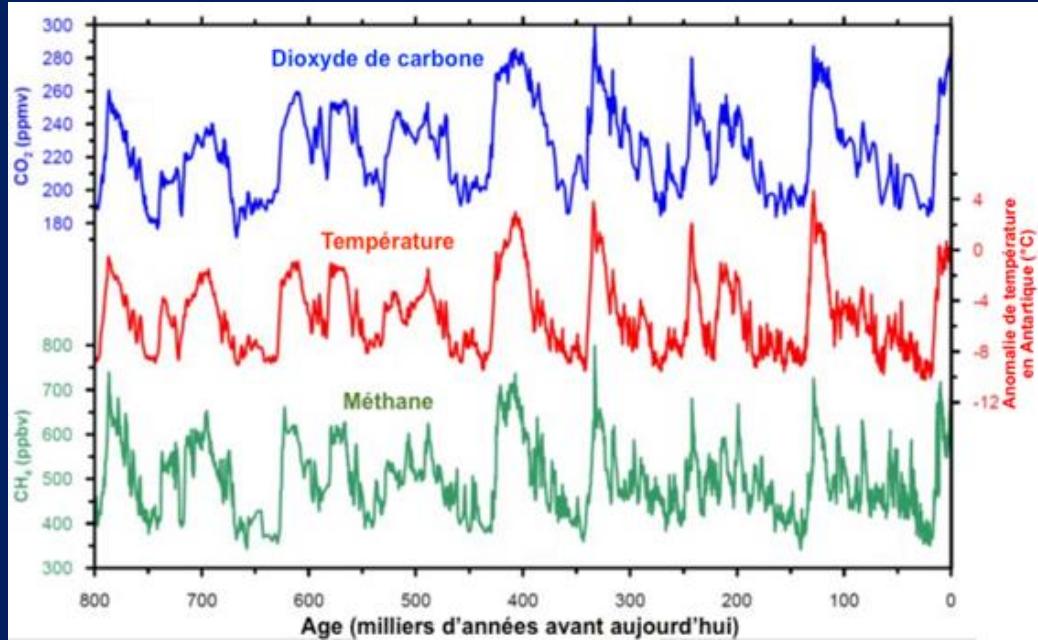
- optimum médiéval  $\sim +0.25^\circ\text{C}$
- petit âge glaciaire  $-0.3^\circ\text{C}$



À partir de Z. Liu et al. et Marcott et al.

# 800.000 ans de climat et de bulles

Les mesures directes dont l'on dispose sur 800 000 ans, grâce au forage glaciaire antarctique de Vostok



*Jean Jouzel, chercheur au LSCE*

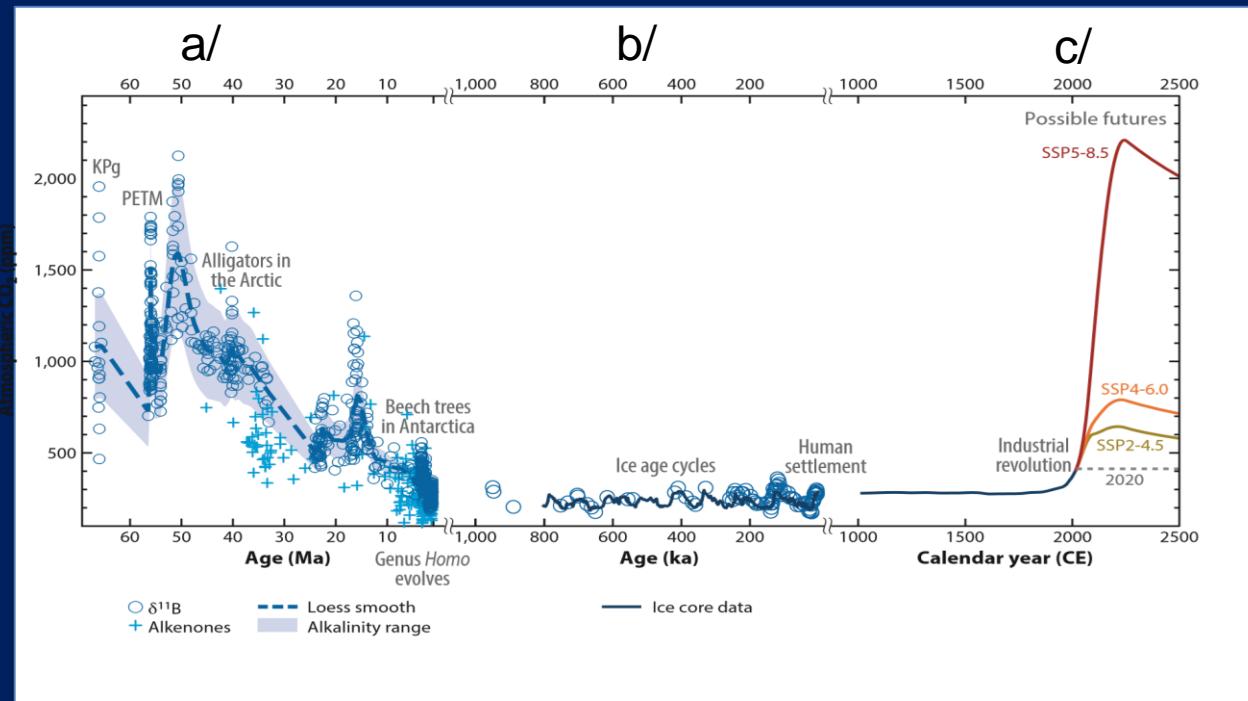


*Claude Lorius, chercheur au LGGE*



# Des analogues en termes de pCO<sub>2</sub> dans le passé récent de la Terre

Reconstitution récente de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> du tertiaire jusqu'à 2500.

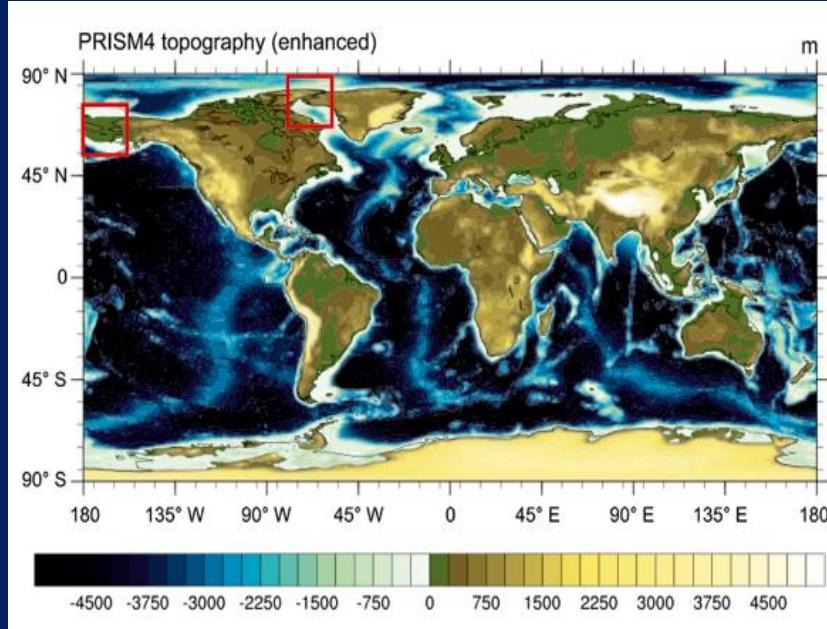


Reconstitution à différentes échelles de temps : a/ à l'échelle géologique, b/ à partir des forages de glace (mesures directes), c/ projections issues du rapport du GIEC pour les 3 scénarios les plus probables

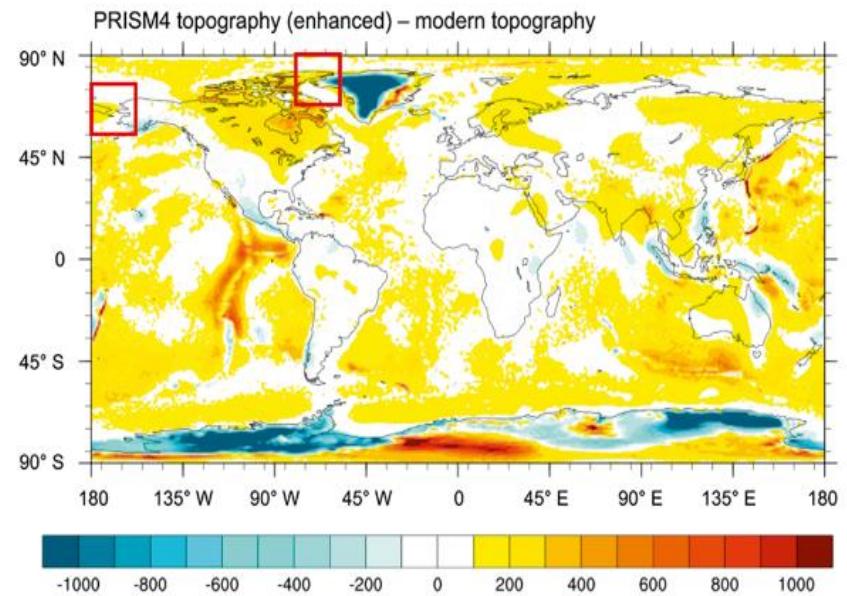
# Il y a 3 millions d'années: le Pliocène

La période la plus récente avec une concentration de CO<sub>2</sub> similaire à l'actuel (400 ppm)

Paléogéographie : topographie et bathymétrie au Pliocène moyen (3Ma)



Paléogéographie : topographie et bathymétrie à l'actuel

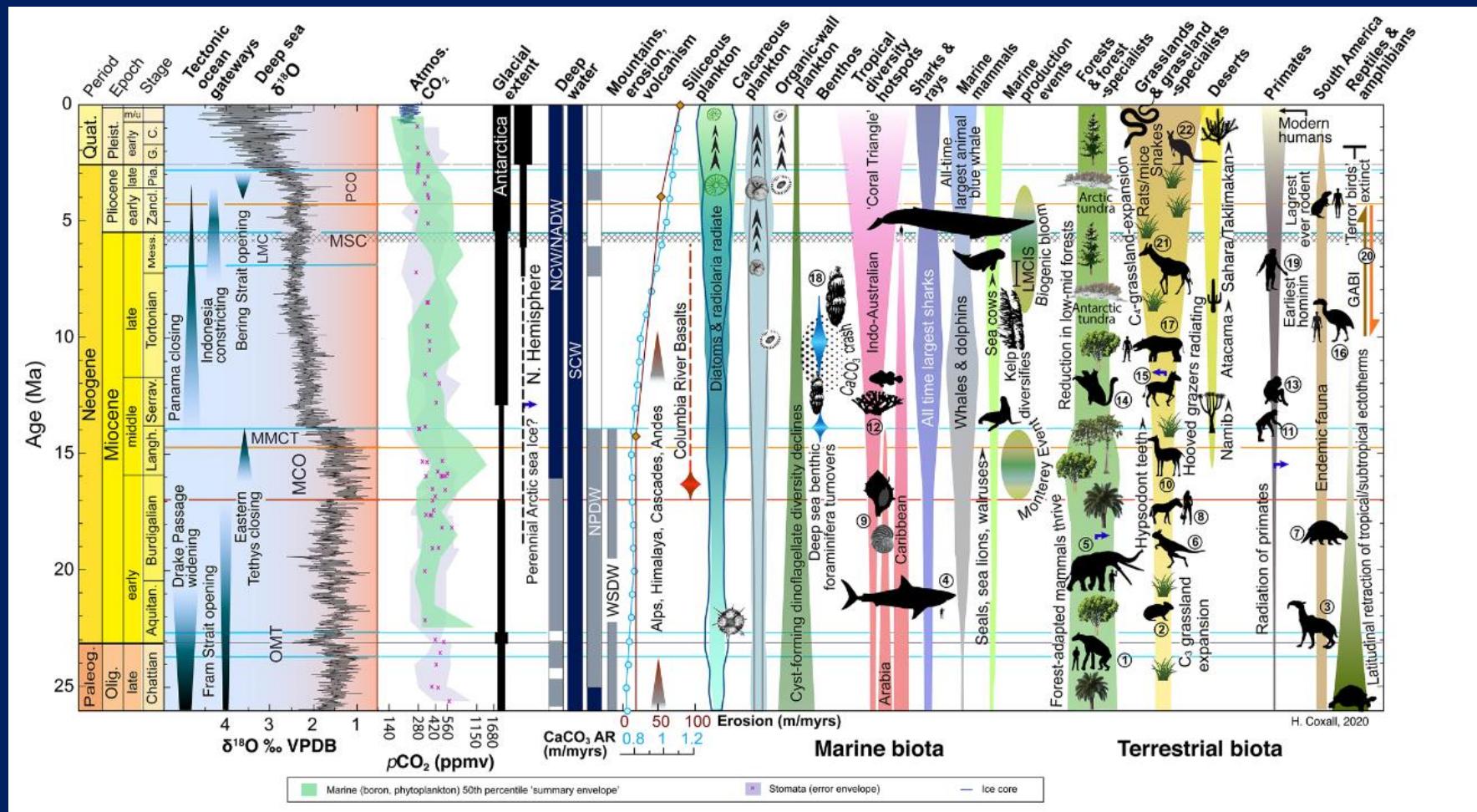


La différence essentielle : réduction de la cryosphère, hausse du niveau marin, modification des détroits (Archipel Canadien et Béring)

PRISM4 : Haywood et al., Climate of the Past, 2016.

# L'optimum climatique du Miocène (16.9-14 Ma)

Il faut remonter près de 15 millions d'années en arrière pour trouver des valeurs de CO<sub>2</sub> similaires à celles que l'on attend à la fin du siècle



# De profonds bouleversements du système Terre

M. Steinthorsdottir, Paleoceanography and Paleoclimatology, 2020

# Contexte de l'expérience anthropocène : I

*À l'échelle géologique, l'utilisation massive des combustibles fossiles : un grand feu d'artifice*



*De plus, le contexte est celui d'un monde froid, avec des calottes de glace dans chaque hémisphère*



# Contexte de l'expérience anthropocène : II

*Depuis 10 000 ans, la population s'est sédentarisée et a colonisé le monde pendant la période stable de l'holocène.*

*La population est environ de 7.3 milliards en 2015 et atteindra environ 9,3 milliards en 2050.*

*Une partie importante de la population mondiale vit près des côtes,*

*Population mondiale en 2000*

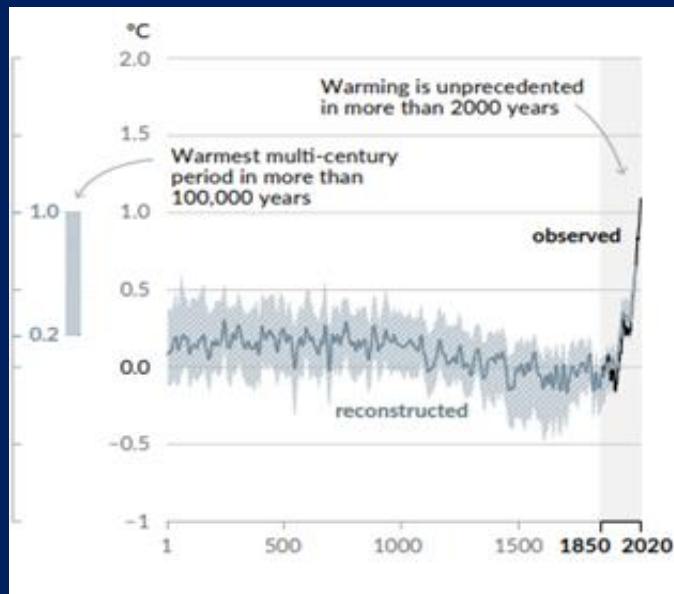


*Population mondiale en 2050*



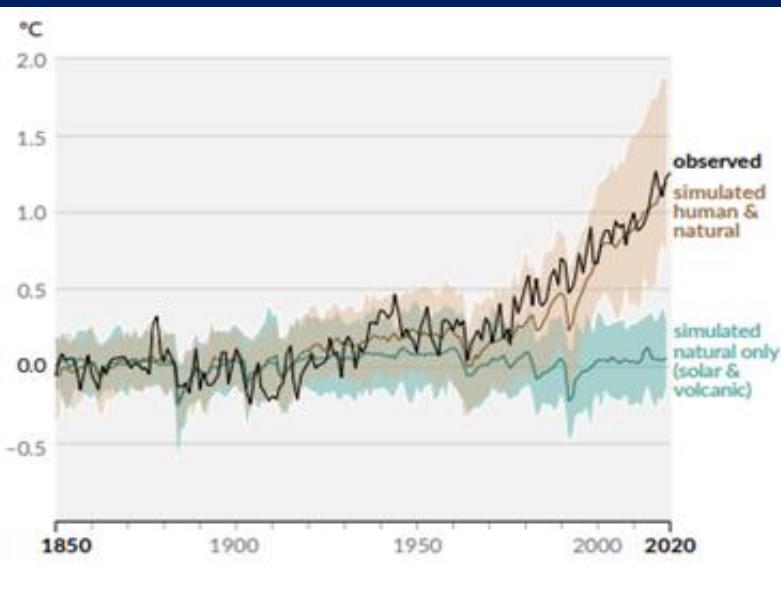
# Le réchauffement climatique est essentiellement d'influence humaine et est inédit sur au moins les 2000 dernières années

Changements de la température de la surface globale relatifs aux années 1850 à 1900



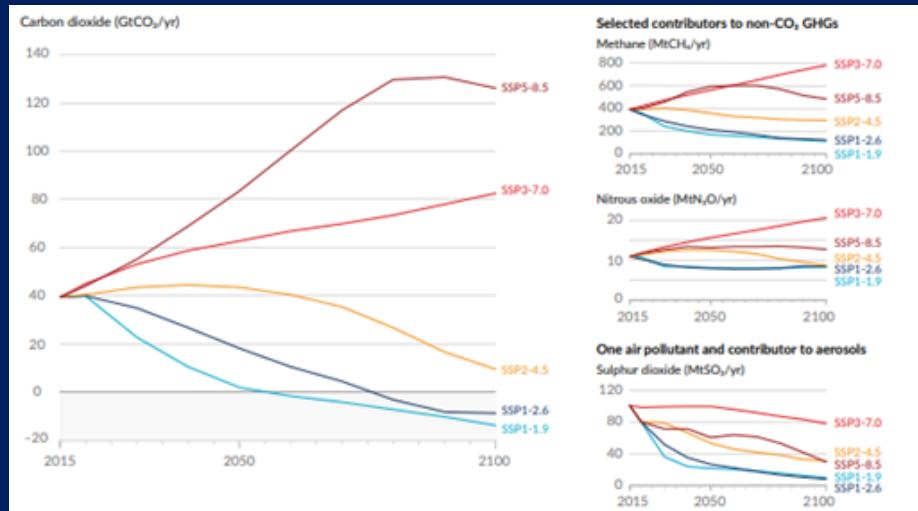
a/ Changement de la température de la surface globale (décennal) : reconstruction (1 à 2000 ans) et observé (1850 à 2020)

Il n'y a pas d'option B pour expliquer les changements climatiques anthropocène

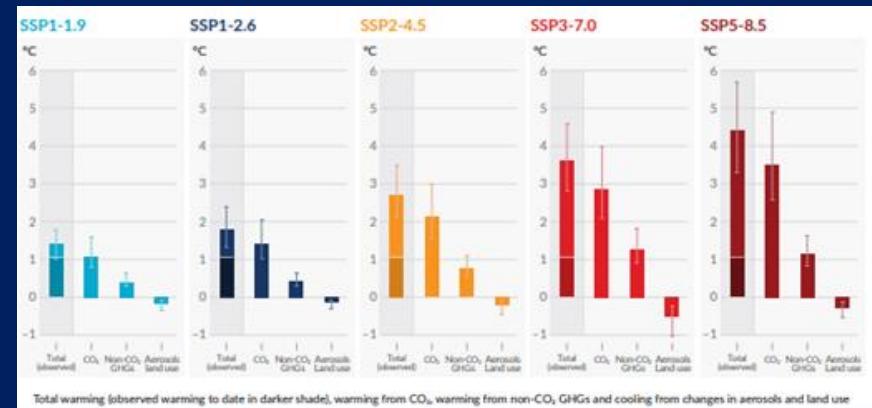


b/ Changement de la température de la surface globale (annuel) tel qu'observé et simulé (facteurs humains et naturels puis uniquement naturels, de 1850 à 2020)

a/ émissions de CO2 futures et annuelles (gauche) et une sélection de facteurs non liés au CO2 (droite), à travers 5 scénarios illustrés



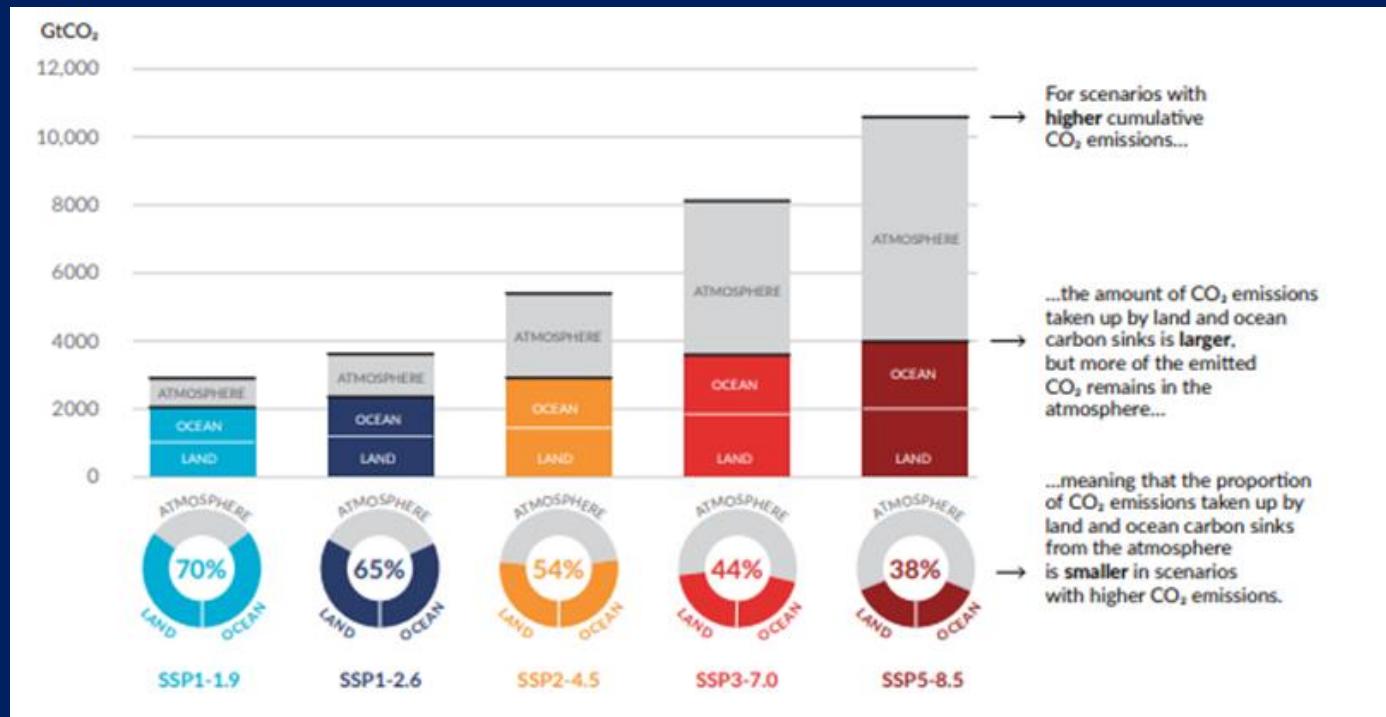
b/ Contribution de la montée des températures de la surface globale avec différentes émissions. Ici, les émissions de CO<sub>2</sub> ont un rôle dominant



# Changement de la température de surface globale en 2081-2100 relatif aux années 1850-1900 (C°)

# Réorganisation du cycle du carbone

La proportion de CO<sub>2</sub> absorbée par les continents et océans. Le puits de carbone est plus faible dans les scénarios à taux de CO<sub>2</sub> élevé

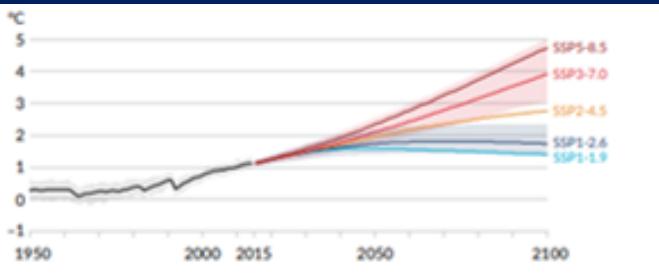


Emissions cumulées de CO<sub>2</sub> absorbées par les continents et océans (en couleurs) et celles stockées dans l'atmosphère (en gris), dans les 5 scénarios classiques du GIEC de 1850 à 2100.

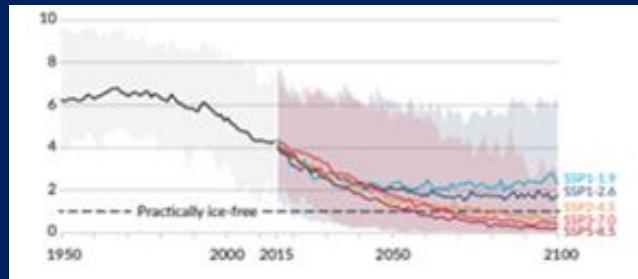
# 5 indices globaux du changement climatique

Les activités humaines affectent les composants majeurs du système climatique. Ces composantes varient à des échelles de temps très différentes de la journée (atmosphère) jusqu'aux milliers d'années (fond des océans et cryosphère)

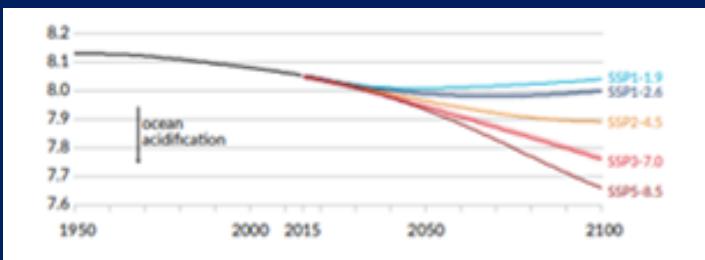
a/ Changement de température de la surface globale relativ aux années 1850-1900



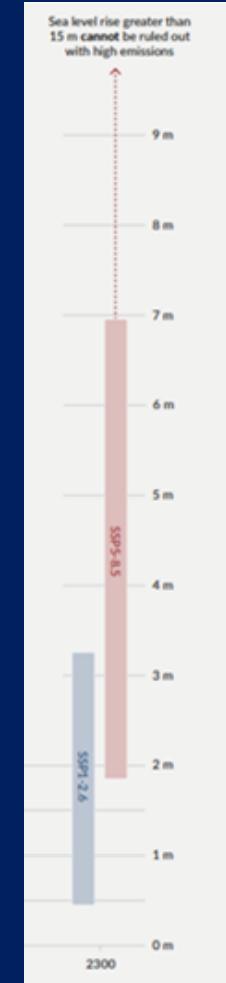
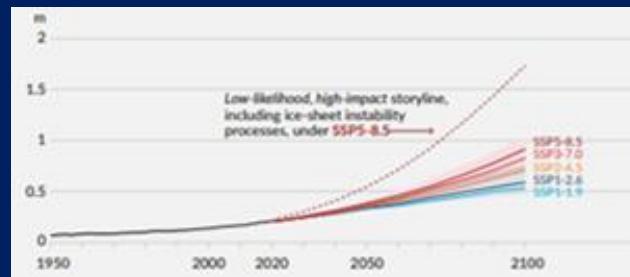
b/ Couverture de glace en Arctique en septembre



c/ pH de la surface océanique globale (une mesure de l'acidité)



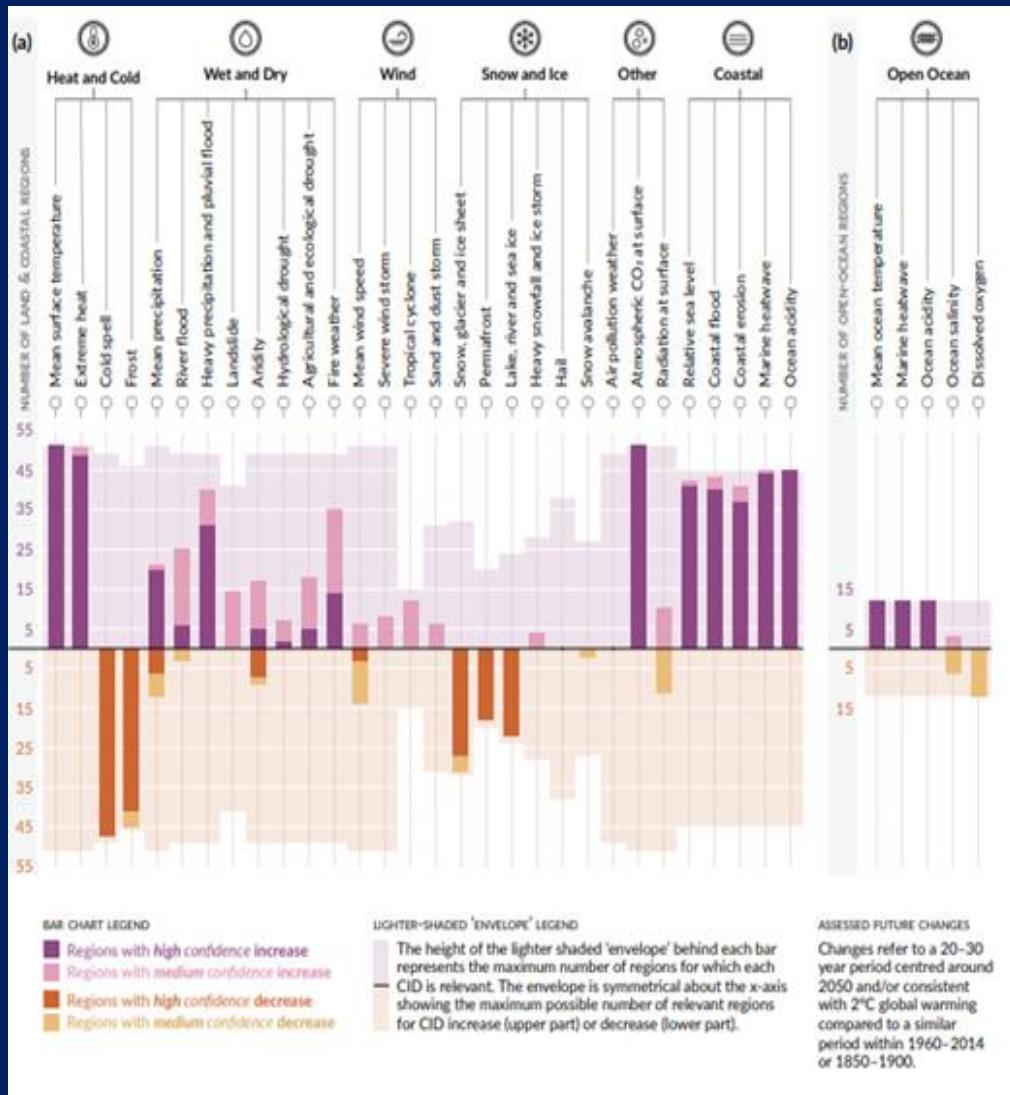
d/ Changement moyen du niveau marin relativ aux années 1900



e/ Changement moyen du niveau marin en 2300 relativ aux années 1900

# Les extrêmes climatiques s'étendent sur toute la surface de la Terre à l'horizon 2050

Les extrêmes climatiques s'étendent sur toute la surface de la Terre à l'horizon 2050



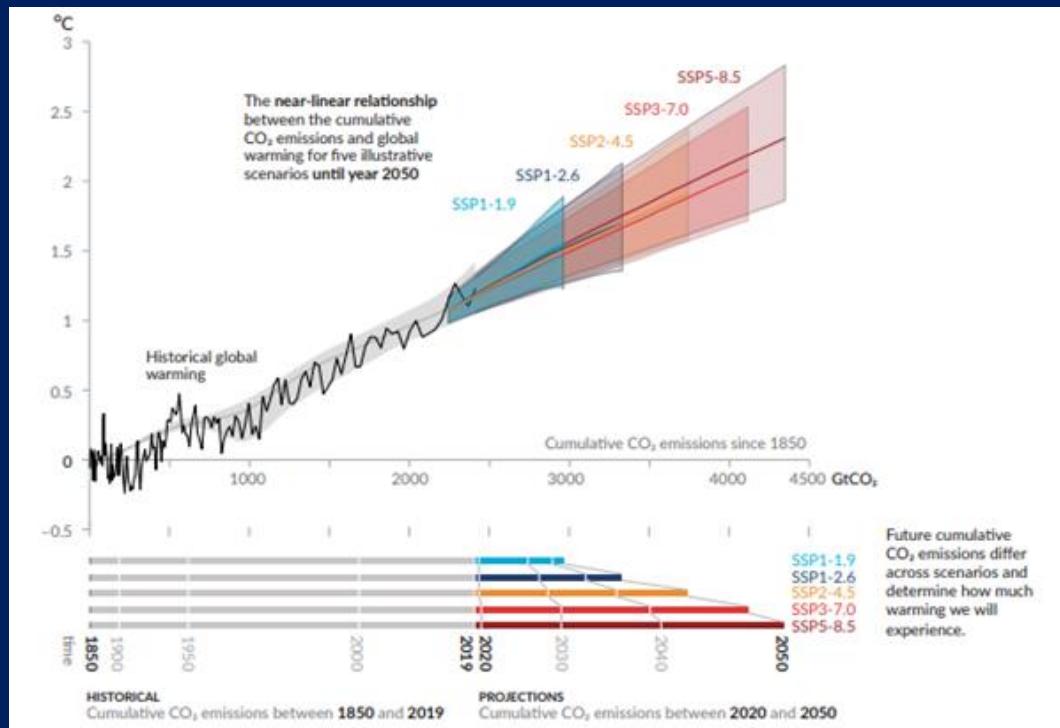
a/ Nombre de régions continentales et côtières

b/ Régions en océan ouverts, où les projections d'impact climatique (FIC) vont augmenter ou diminuer avec un haut degré de certitude (couleur foncé) ou un degré de certitude moyen (couleur claire)

Ces changements sont moyennés sur une période de 20 à 30 ans autour de l'année 2050 ou cohérent avec une augmentation des températures globales de 2°C, comparé aux périodes 1960-2014 ou 1850-1900

# Vers une compréhension limpide des causes et des effets

Même si le système Terre (dans l'espace et le temps) est complexe, la relation finale entre l'accumulation de gaz à effet de serre et l'augmentation de température est relativement simple



Augmentation de températures en fonction du taux de CO<sub>2</sub> accumulé dans l'atmosphère depuis 1850

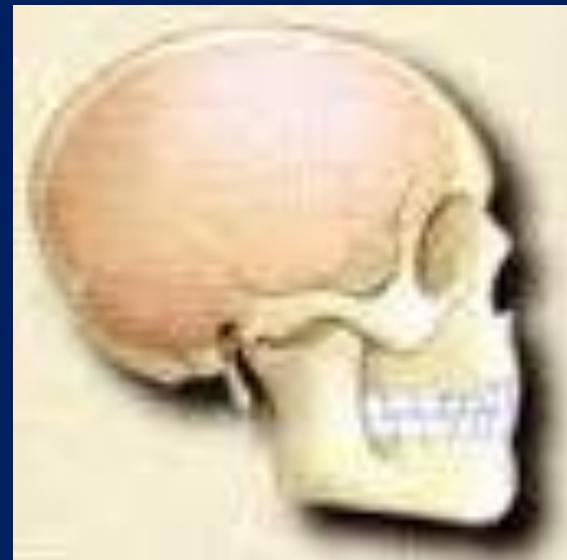


Maldives, 17 octobre 2009

# Merci !



*AUSTRALOPITHECUS*  
(plus de 3 millions d'années)  
Volume cérébral :  $\sim 400 \text{ cm}^3$



*HOMO SAPIENS*  
*L'Homme moderne*  
Volume cérébral :  
de 1230 à 2 000  $\text{cm}^3$

Je tiens à remercier particulièrement Jacques Treiner, Jean-Louis Dufresne et Hervé Bercegol for fruitful discussions ☺