



IPSL Climate Modelling Centre



Projection des changements climatiques et modélisation numérique du climat

Jean-Louis Dufresne

jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr

Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)

Institut Pierre Simon Laplace. Fédération de Laboratoires :

CEREA, Geops, LATMOS, LISA, LMD, LOCEAN, LSCE, METIS



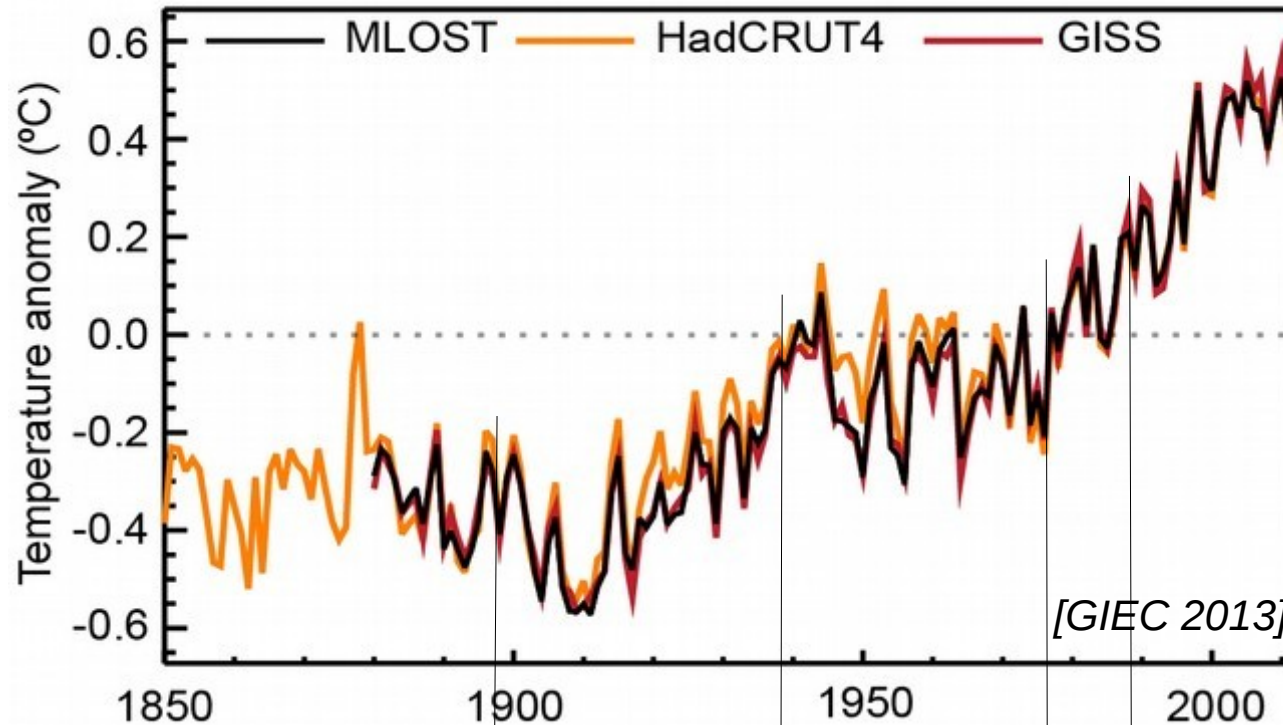
Plan

- I. Le rôle des activités humaines sur le réchauffement récent
- II. Projections des climats futurs
- III. Changement climatique et variabilité naturelle
- IV. Quelques exemples de désinformation
- V. Conclusion

Le réchauffement climatique : un phénomène anticipé



1824, J. Fourier,
naissance de
la physique du
climat



1897: S. Arrhenius:
première estimation du
rôle du CO₂

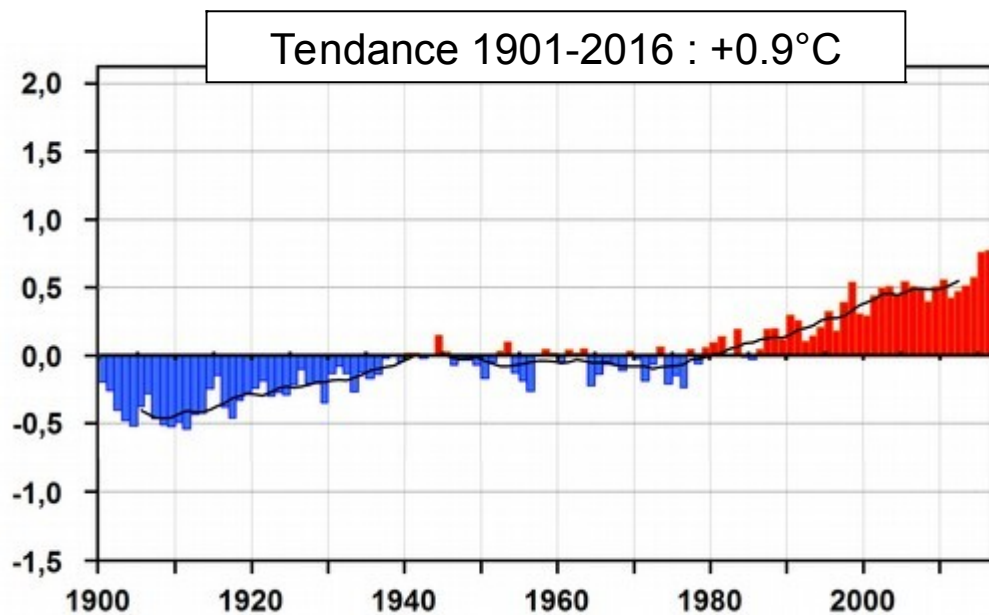
1937: G. Callendar:
nouvelle estimation du
rôle du CO₂

1988: Création
du **GIEC**

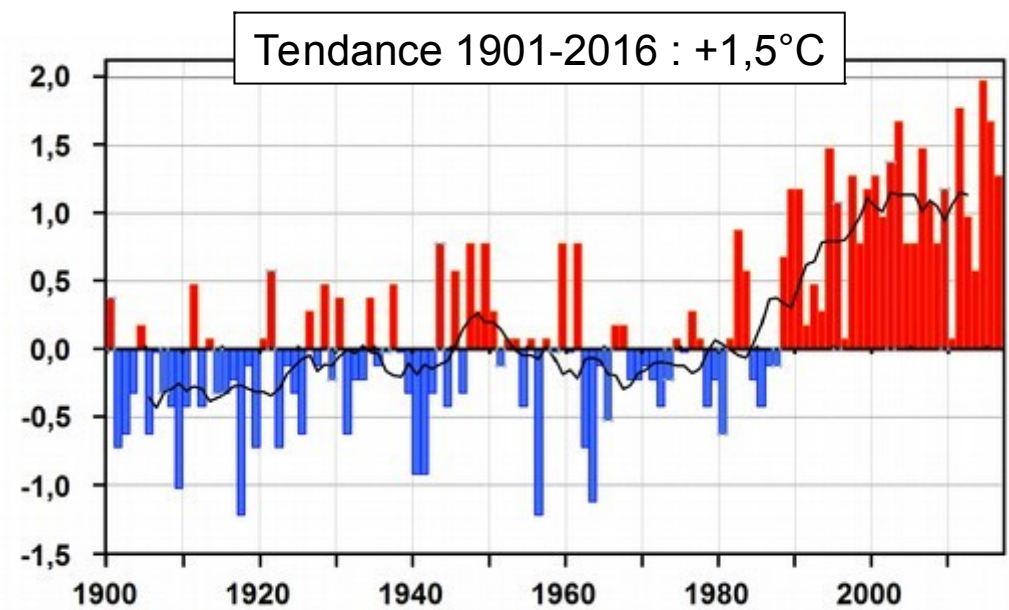
1970-1980: Premières
projections climatiques avec
des modèles numériques

Evolution de la température moyenne en surface sur la période 1900-2016 par rapport à 1961-1990

Sur la planète

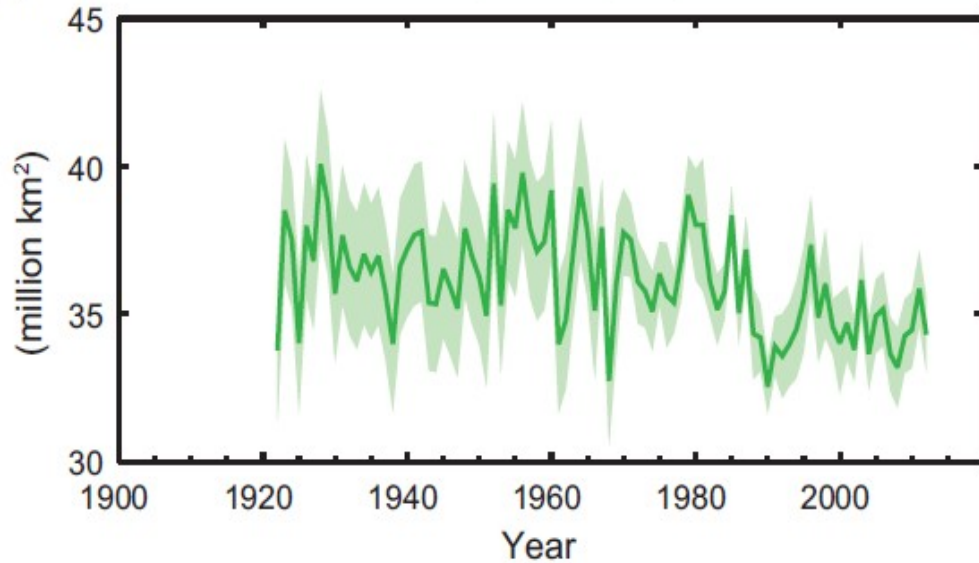


En France métropolitaine

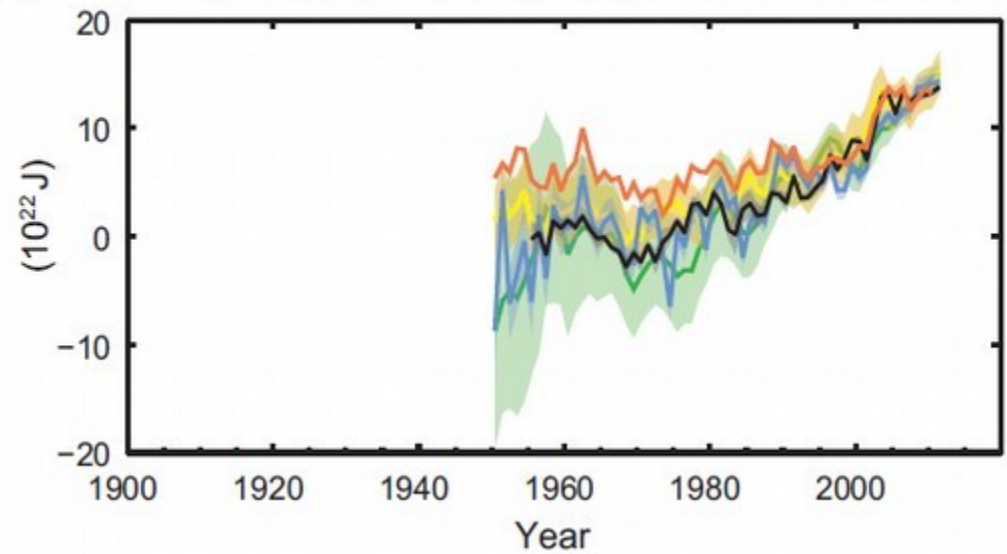


Le réchauffement récent

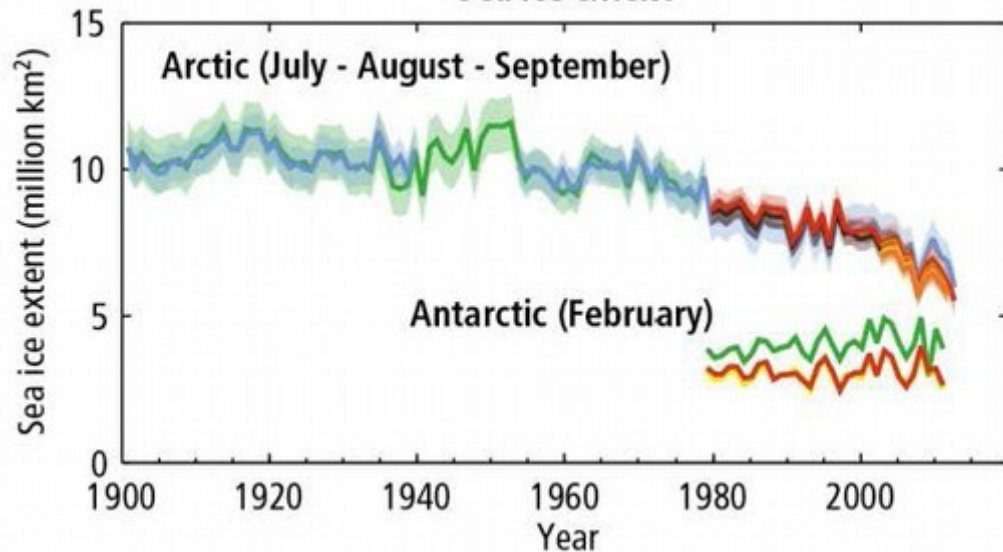
(a) Northern Hemisphere spring snow cover



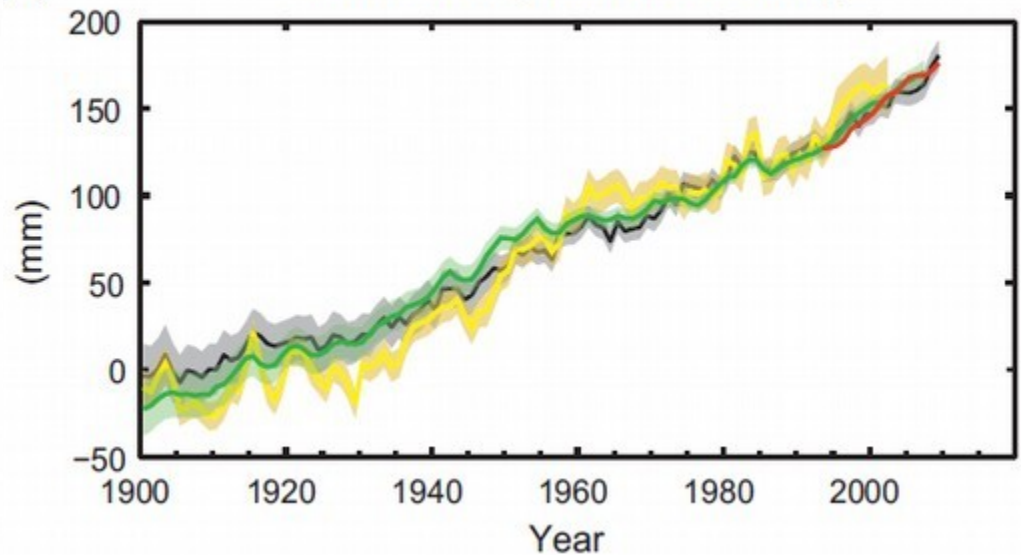
(c) Change in global average upper ocean heat content



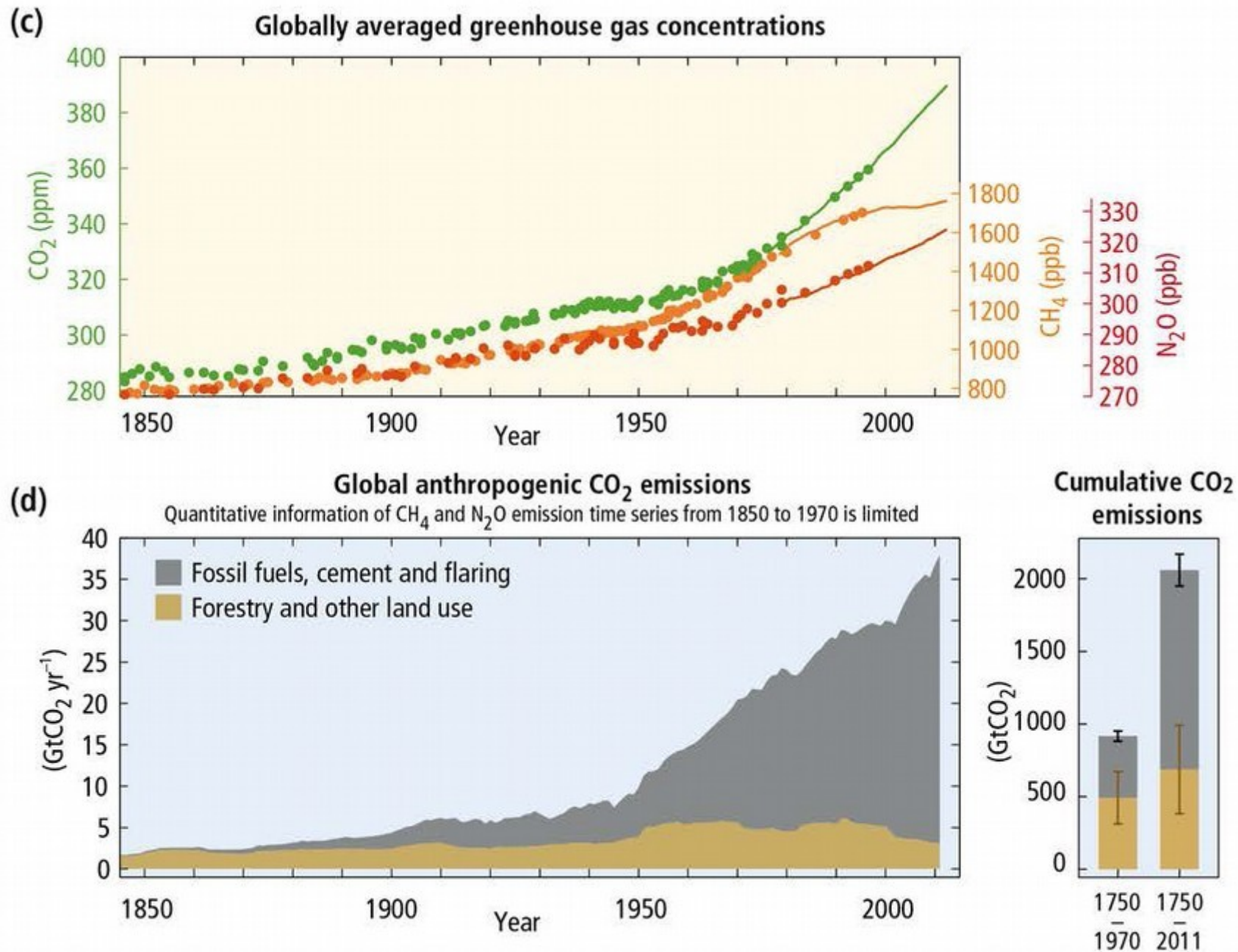
Sea ice extent



(d) Global average sea level change



Évolution des gaz à effet de serre



Émission moyenne de CO₂ (2008-2017)

1 GtC = 3.67 GtCO₂

Sources = Puits



+

34.4 GtCO₂/yr
87%

17.3 GtCO₂/yr

44%

11.6 GtCO₂/yr

29%

13%
5.3 GtCO₂/yr

22%
8.9 GtCO₂/yr



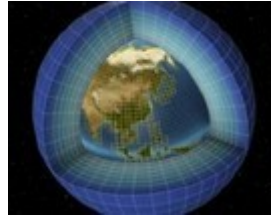
Erreur sur le bilan:

(différence entre l'estimation des puits et des sources)

5%

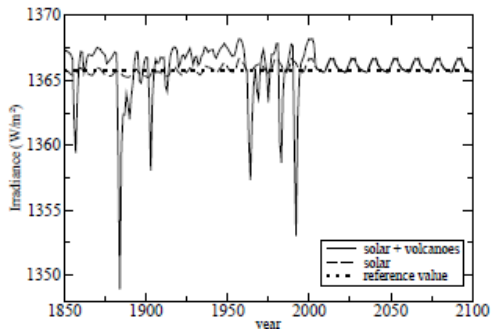
1.9 GtCO₂/yr

Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

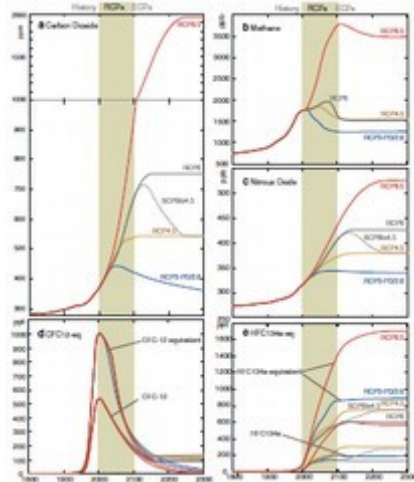


Forçages naturels et anthropiques

Soleil et volcans



Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs

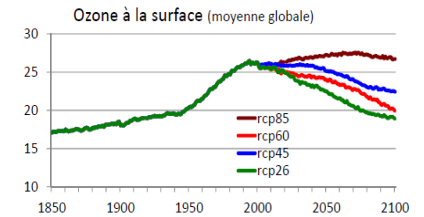


Concentration de CO₂

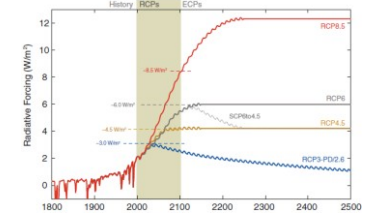
Modèle de climat

- Représentation 3D de l'atmosphère l'océan glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles)
- Représentation du couplage avec les cycles biogéochimiques dans l'atmosphère l'océan et le continent

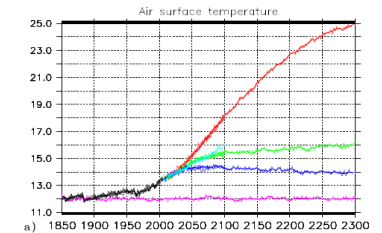
Composition de l'atmosphère



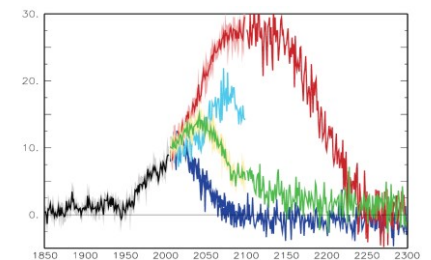
Forçage radiatif



Changement climatique



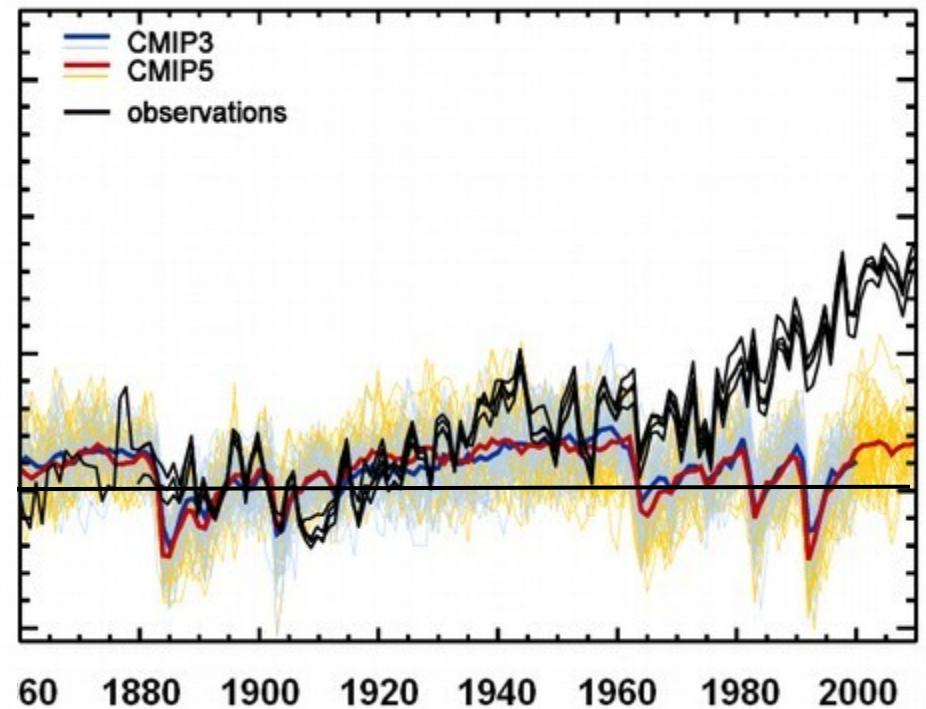
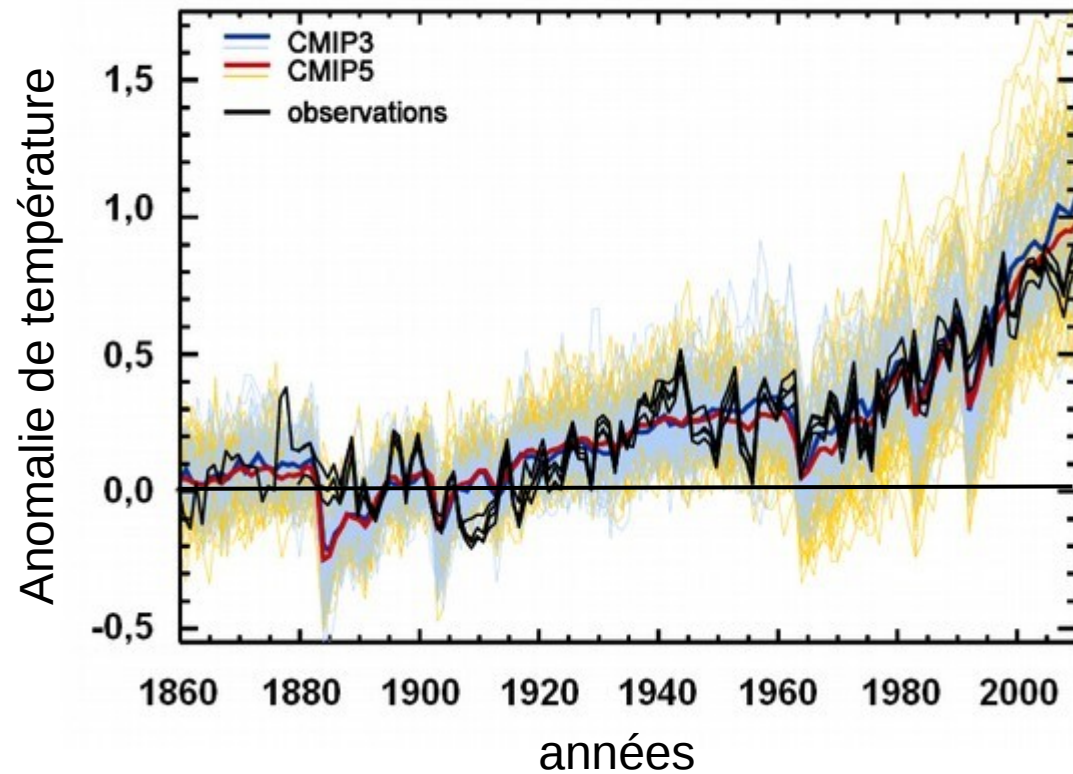
Émission autorisée de CO₂



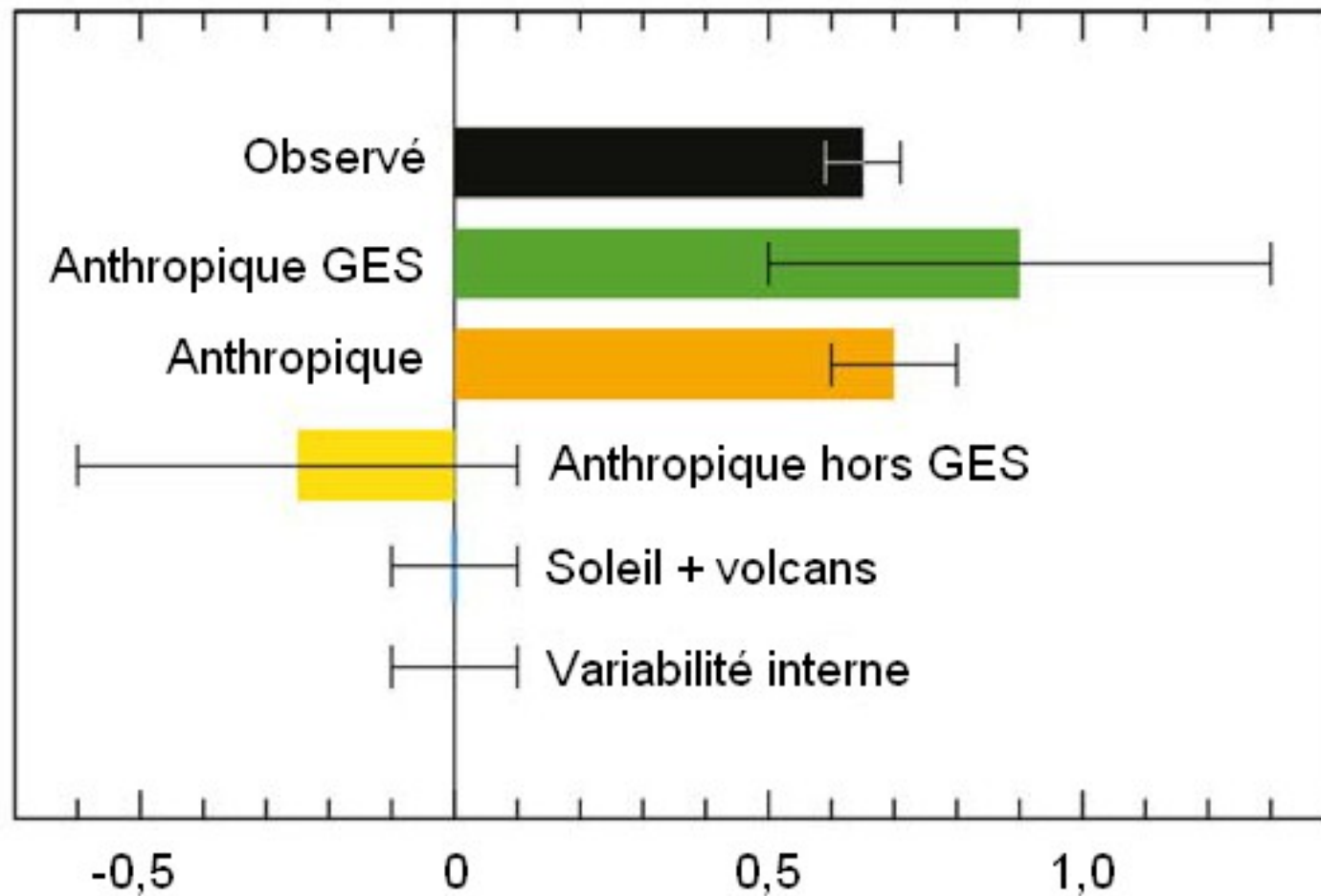
Évolution récente de la température de surface de la Terre

Simulations avec *forçages naturels et anthropiques*

Simulations avec *forçages naturels seulement*



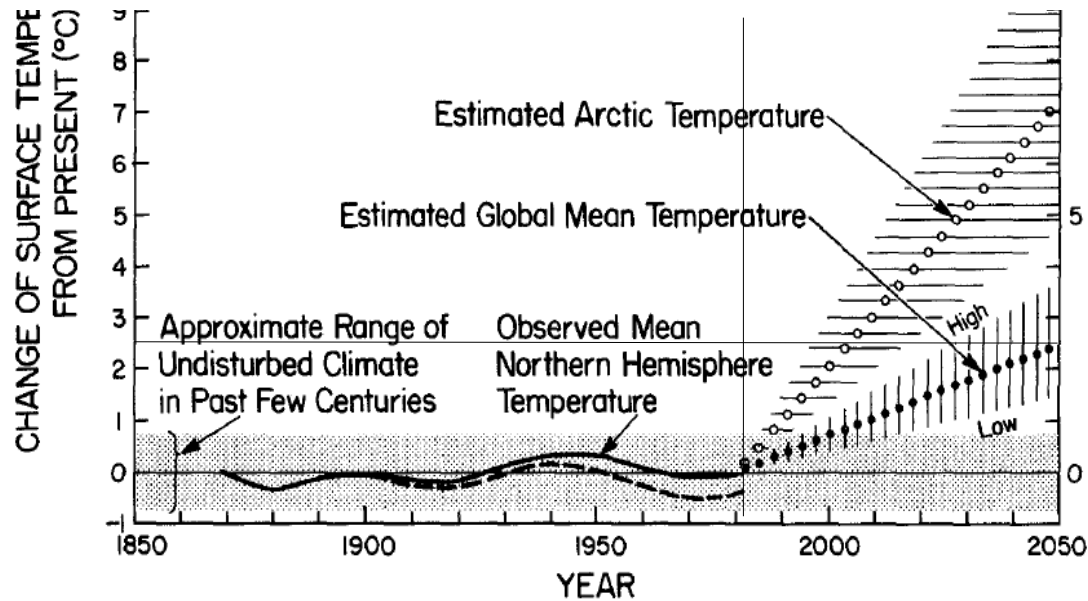
Attribution des tendances sur 1951-2010 de la température moyenne globale en surface



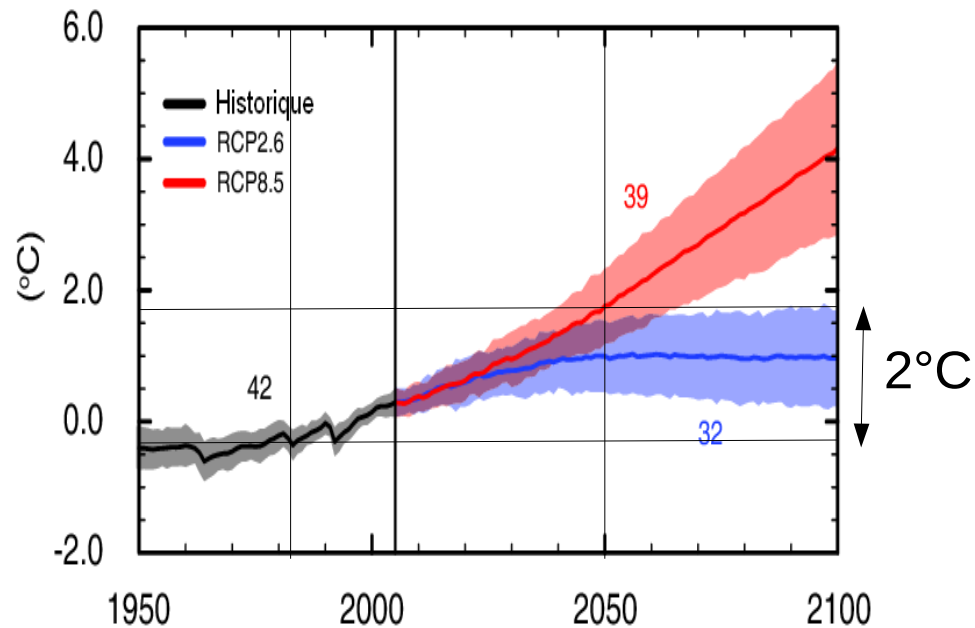
Plan

- I. Le rôle des activités humaines sur le réchauffement récent
- II. Projections des climats futurs
- III. Changement climatique et variabilité naturelle
- IV. Quelques exemples de désinformation
- V. Conclusion

Premières projections climatiques

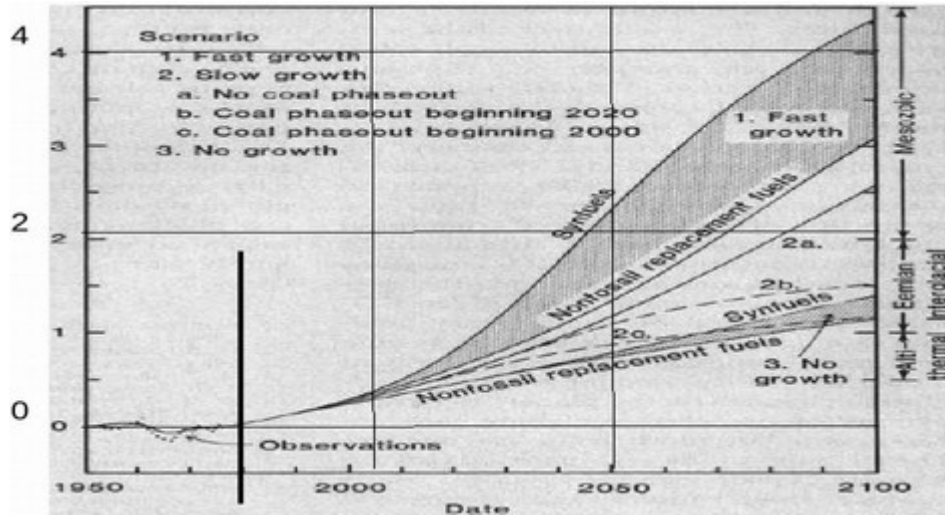


[Kellogg 1977]

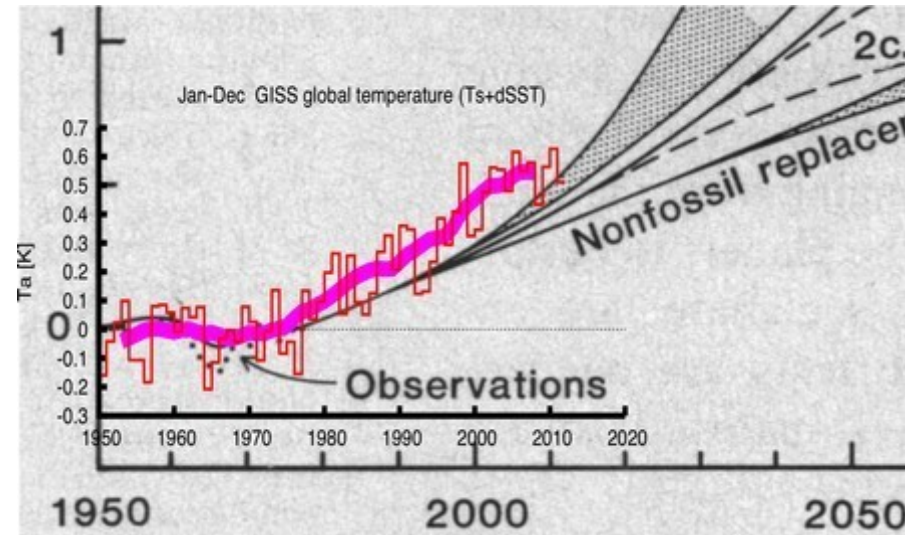


[GIEC 2013]

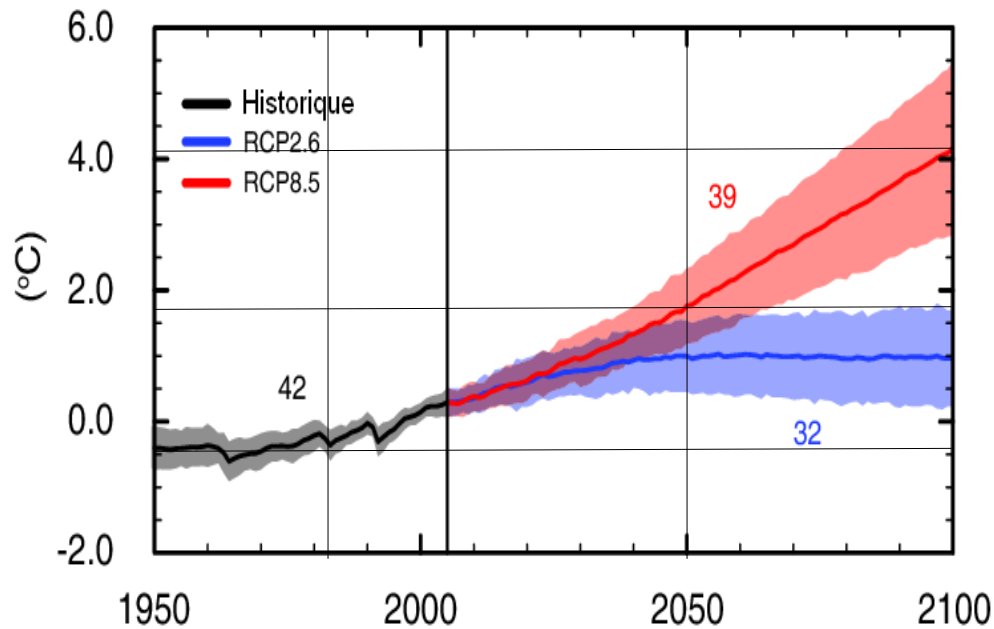
Premières projections climatiques



[Hansen et al. 1981]

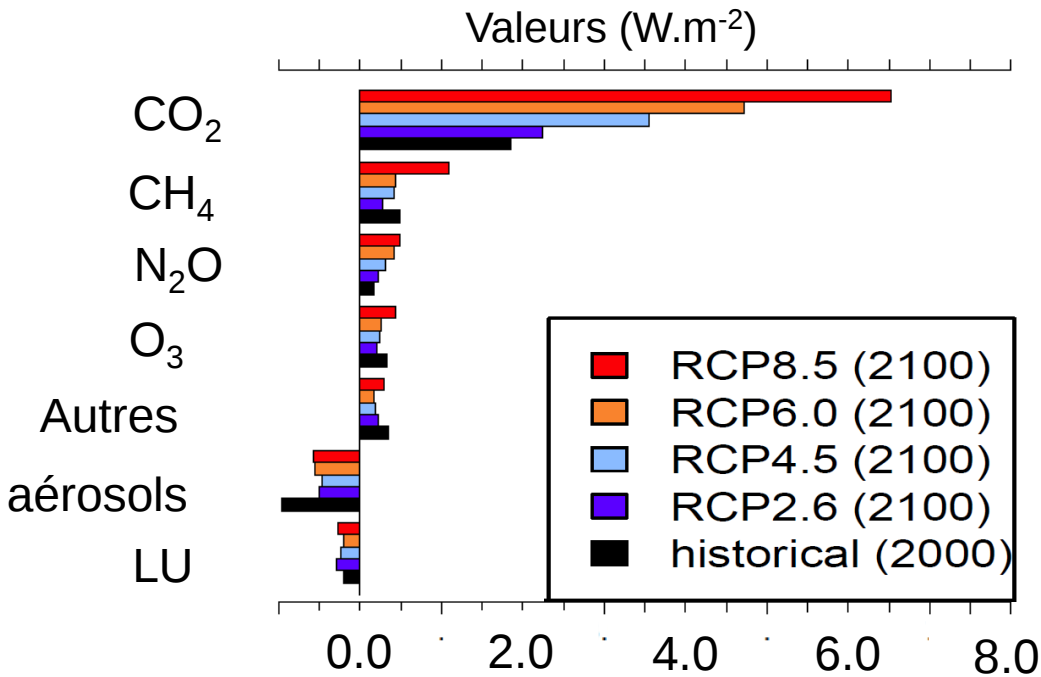
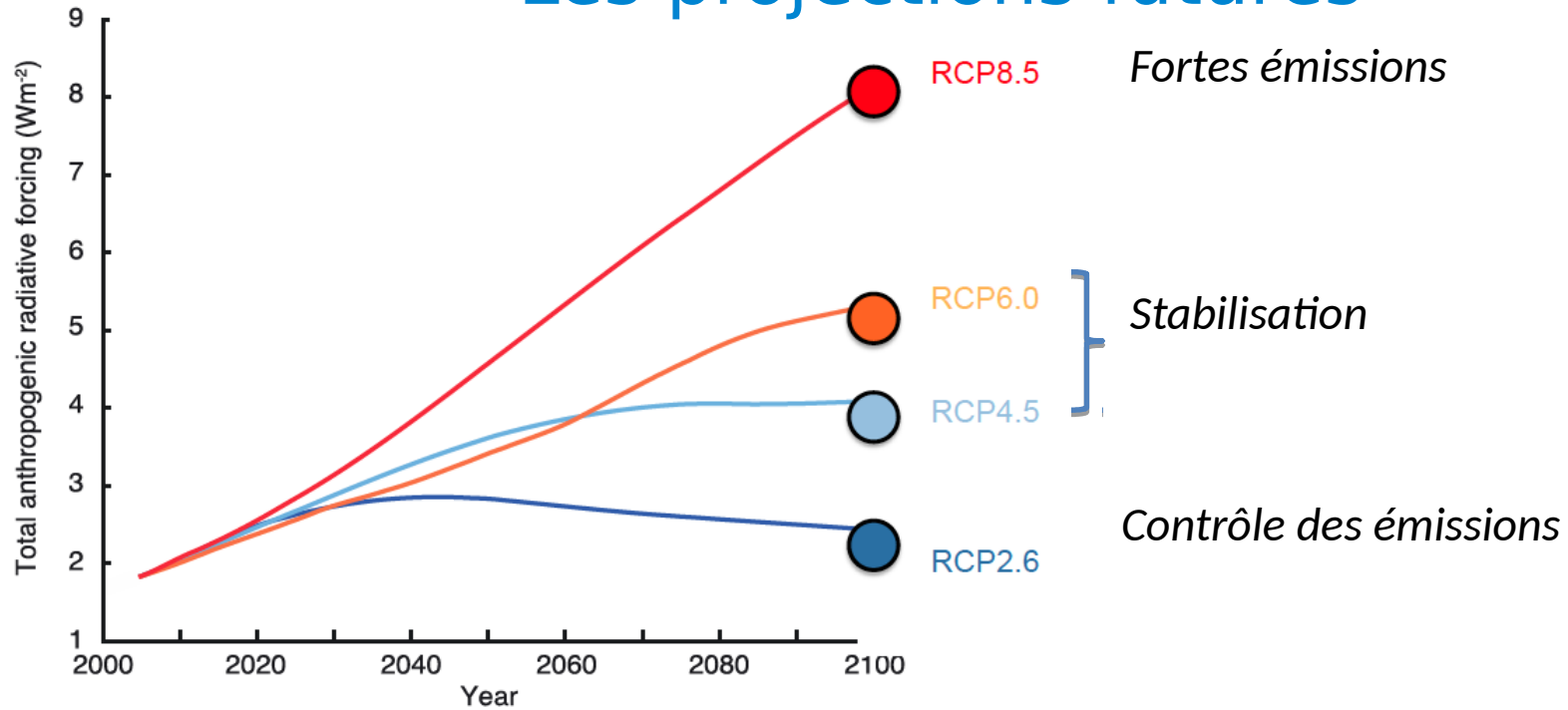


<http://www.realclimate.org>



[GIEC 2013]

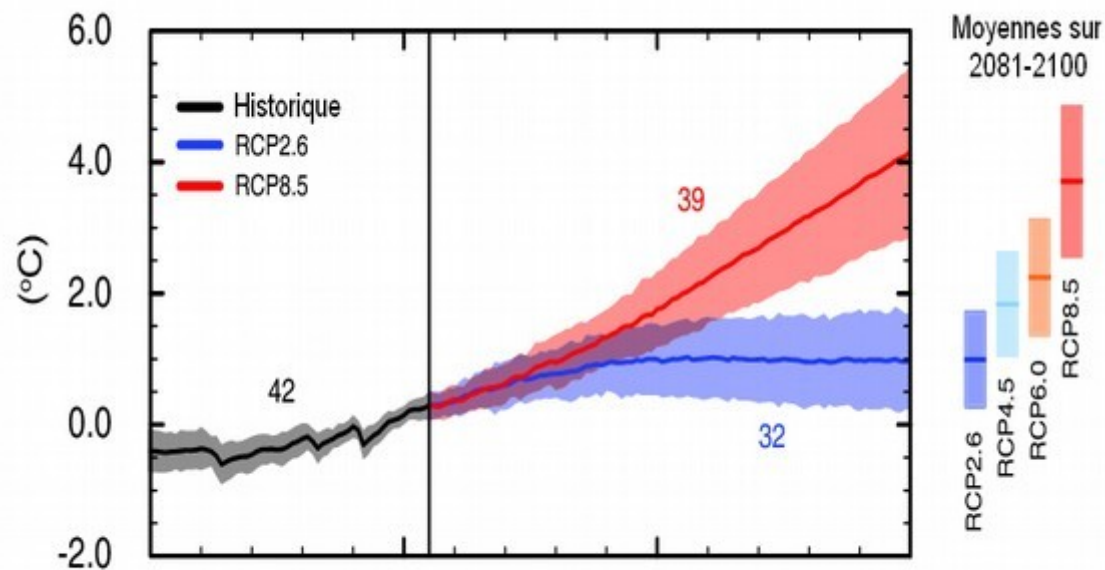
Les projections futures



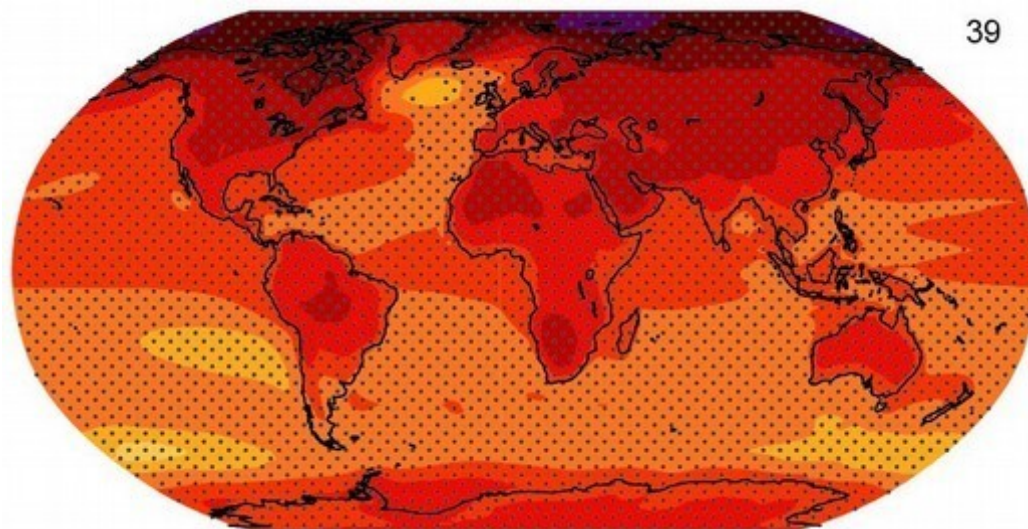
Contribution des forçages individuels au forçage total (référence 1850)

Température de surface

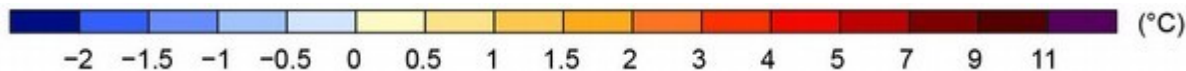
Moyenne globale
1950 à 2100
(40 modèles CMIP5)



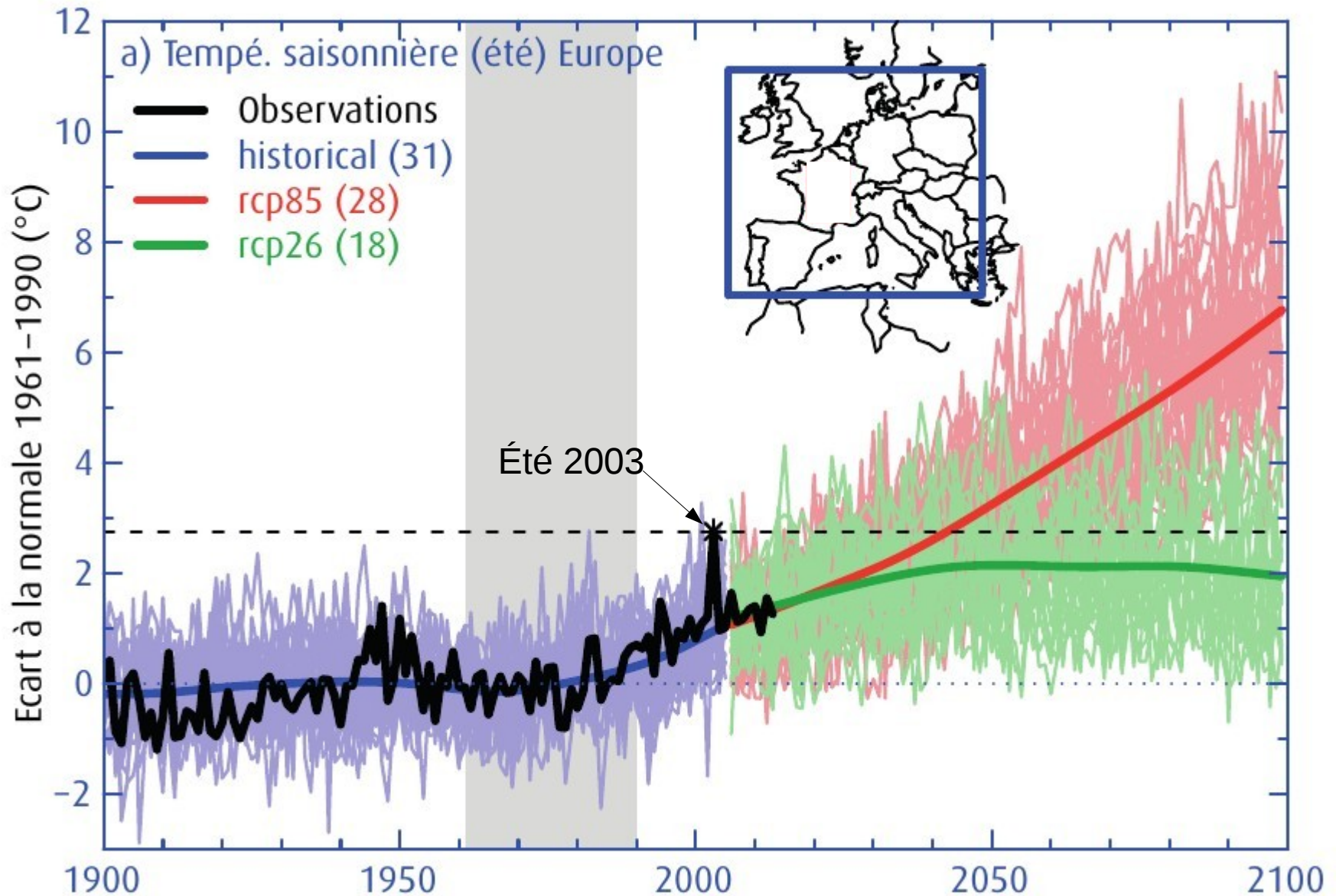
En 2100,
scénario RCP8.5
(39 modèles CMIP5)



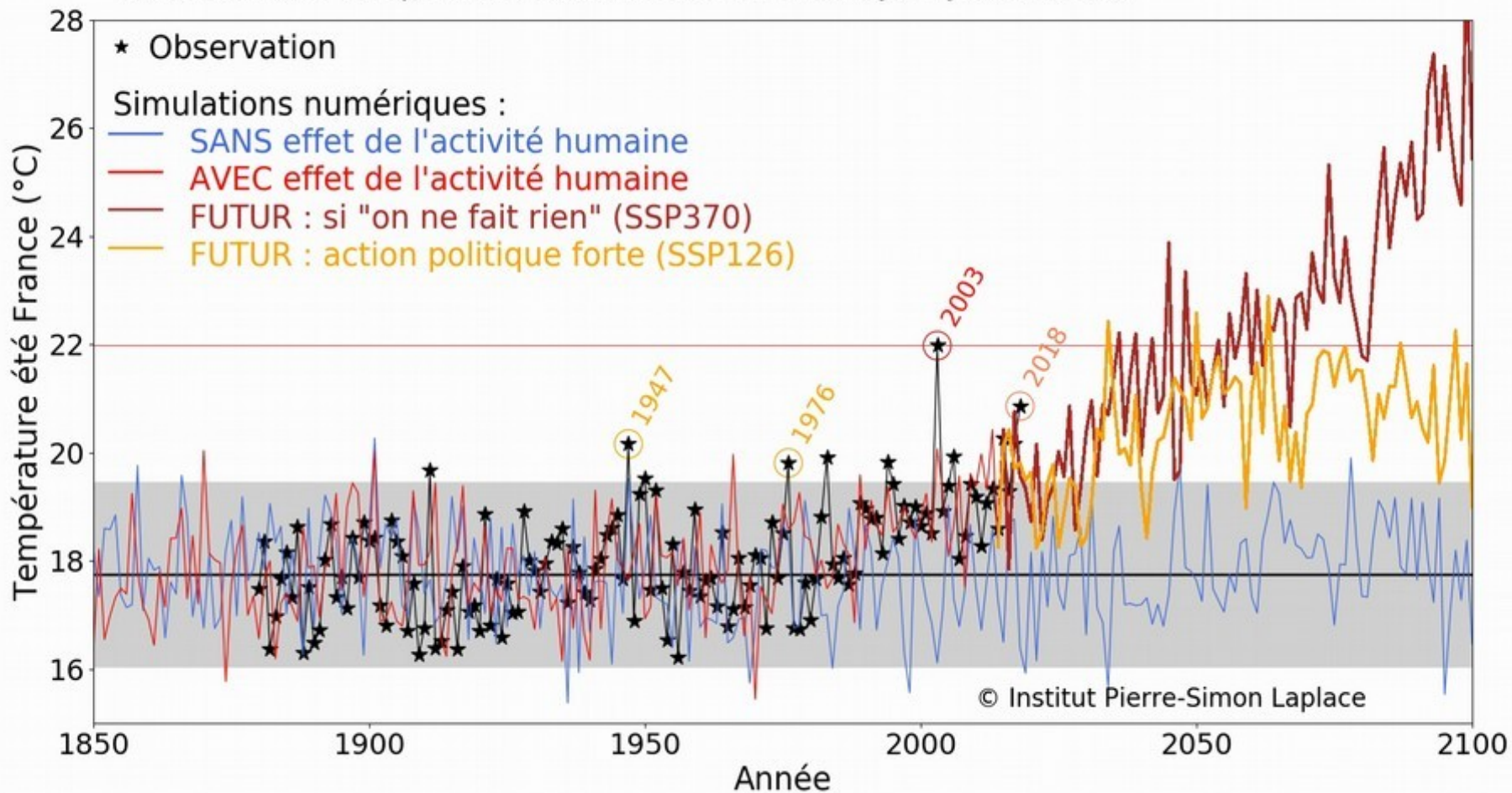
[GIEC, 2013]



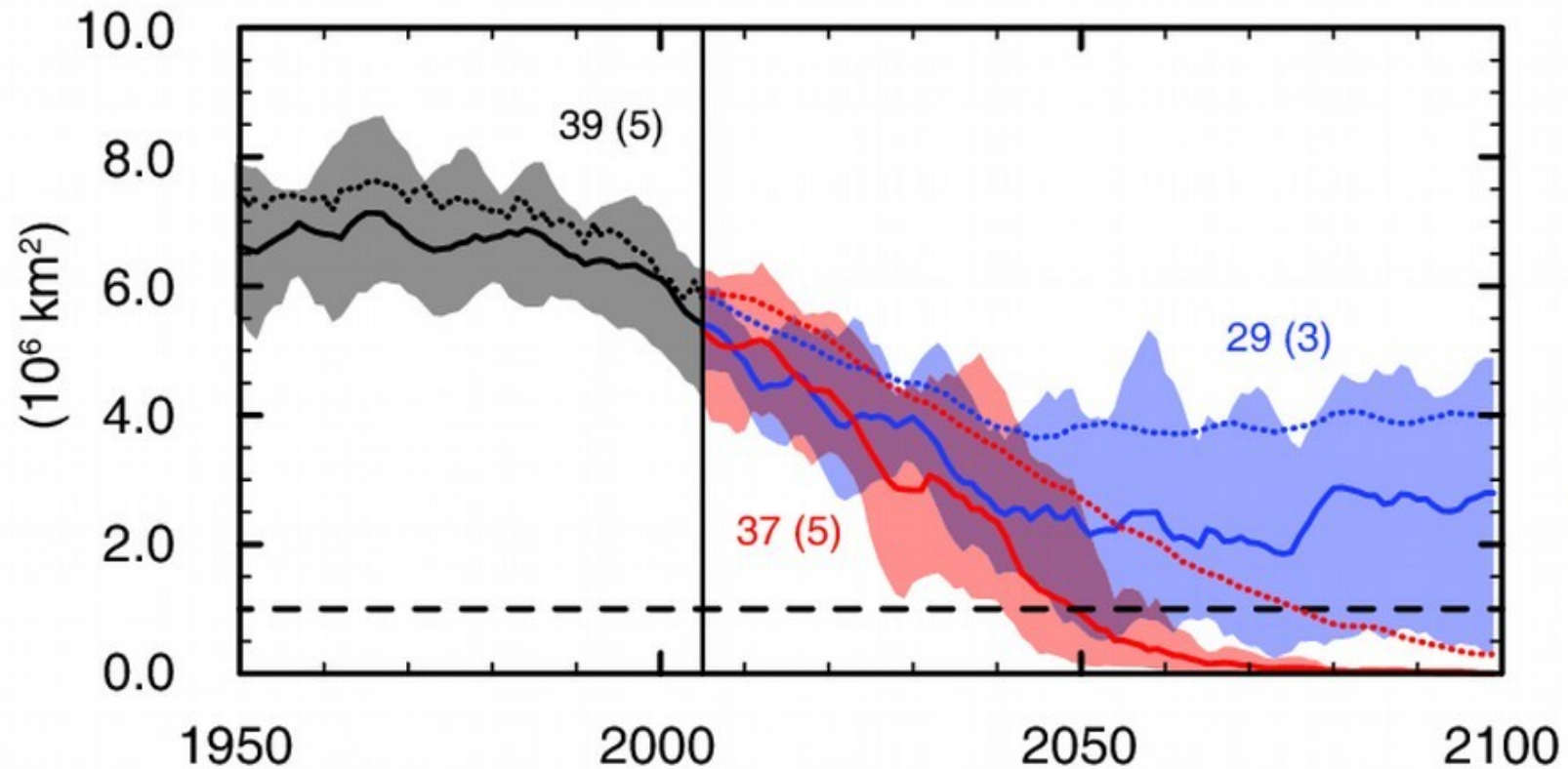
Température d'été en Europe



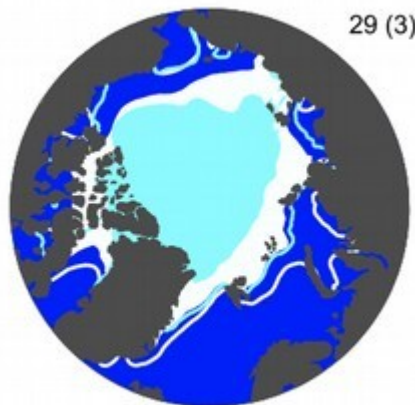
Evolution des températures estivales en France (Juin-Juillet-Août)



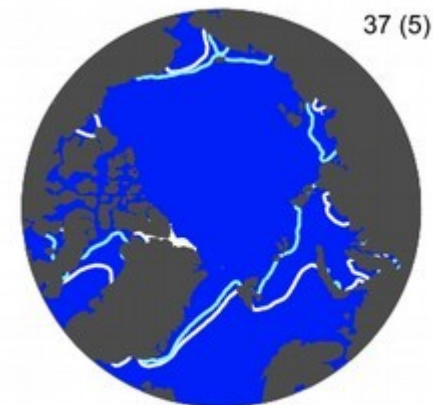
Changements d'extension de la banquise de l'hémisphère nord septembre (extension minimale)



RCP2.6

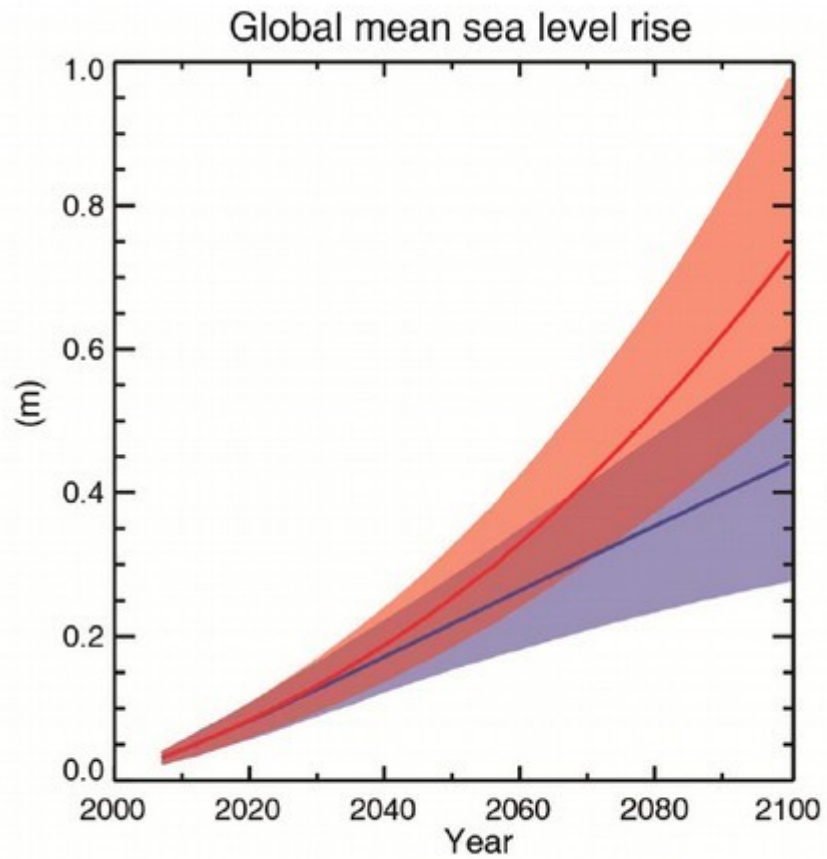


- CMIP5 multi-model average 1986–2005
- CMIP5 multi-model average 2081–2100
- CMIP5 subset average 1986–2005
- CMIP5 subset average 2081–2100

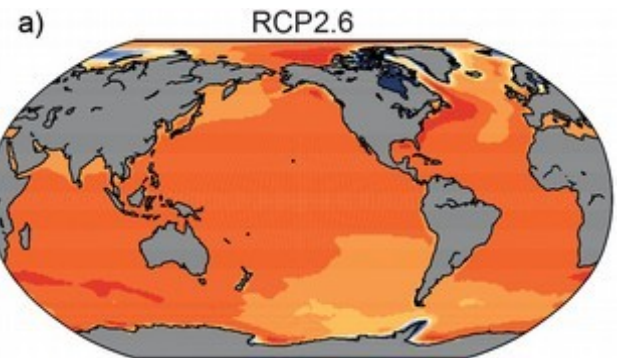
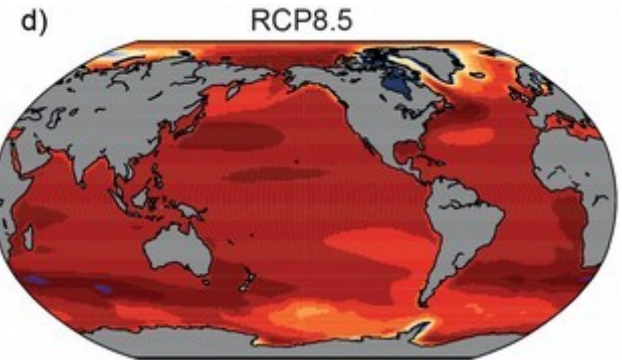
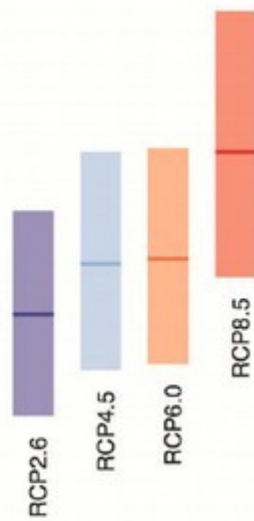


RCP8.5

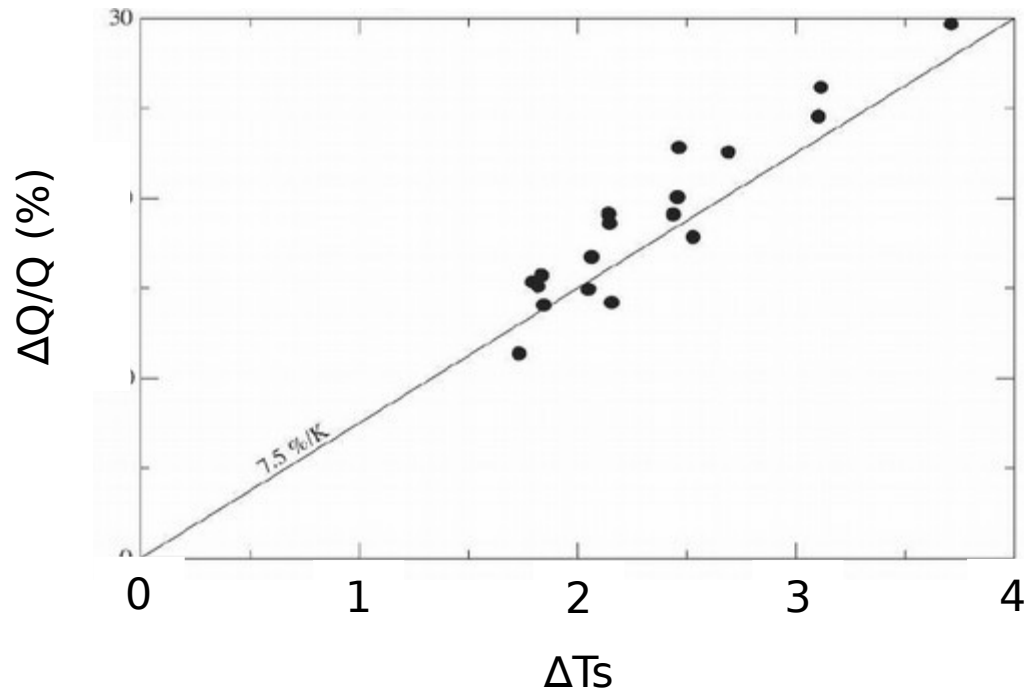
Changement du niveau des mers



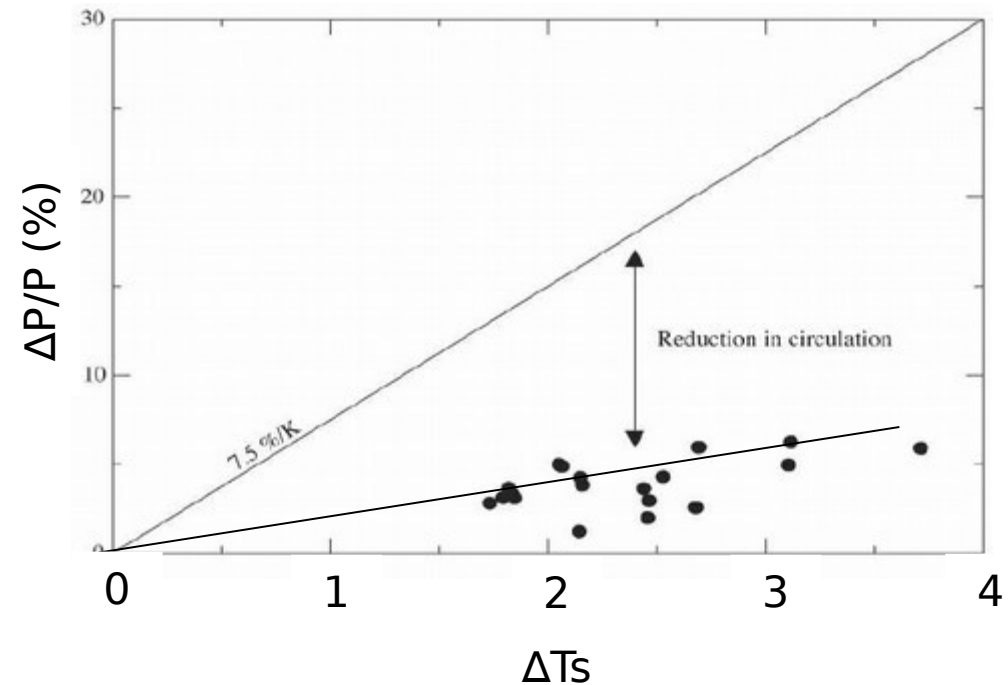
Mean over
2081–2100



Les changements de précipitations dus à l'accroissement de température



$$\Delta Q/Q (\%) \approx 7.5 \Delta T_s$$



$$\Delta P/P (\%) \approx 1.5 \Delta T_s$$

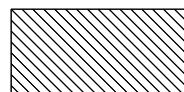
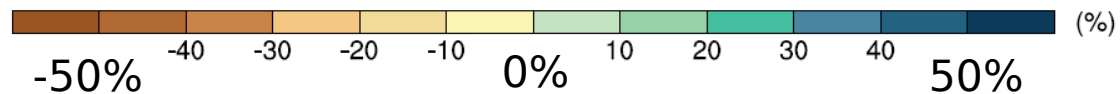
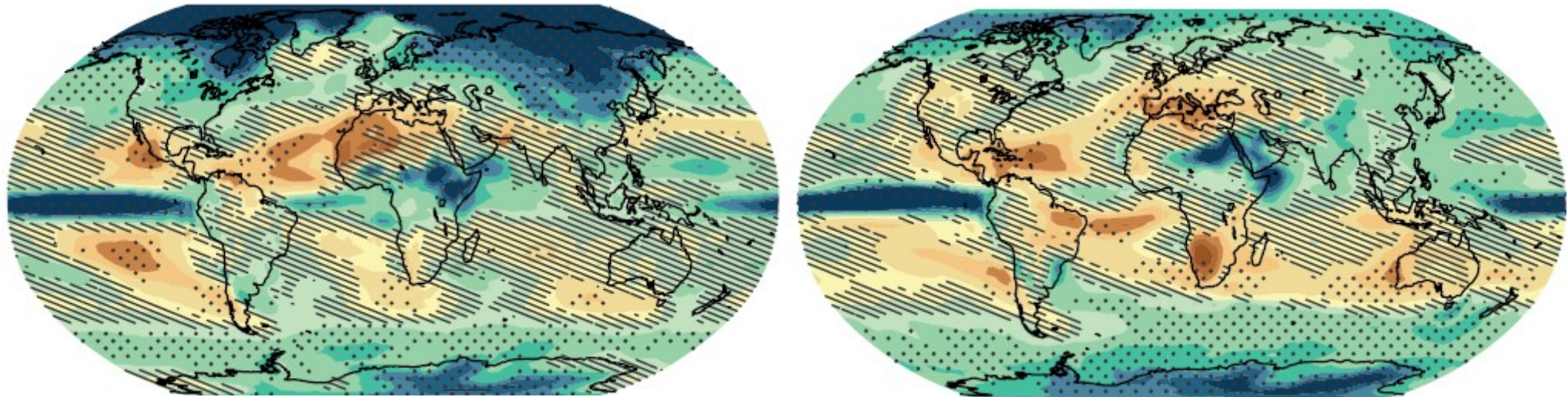


Changement moyen de précipitation n'est pas directement relié au changement moyen de vapeur d'eau

Distribution géographique et saisonnière du *changement relatif des précipitations* entre 2000 et 2100, scénario RCP8.5

Décembre à février

Juin à septembre



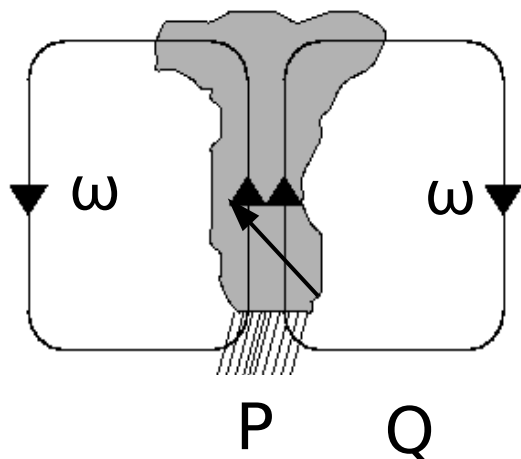
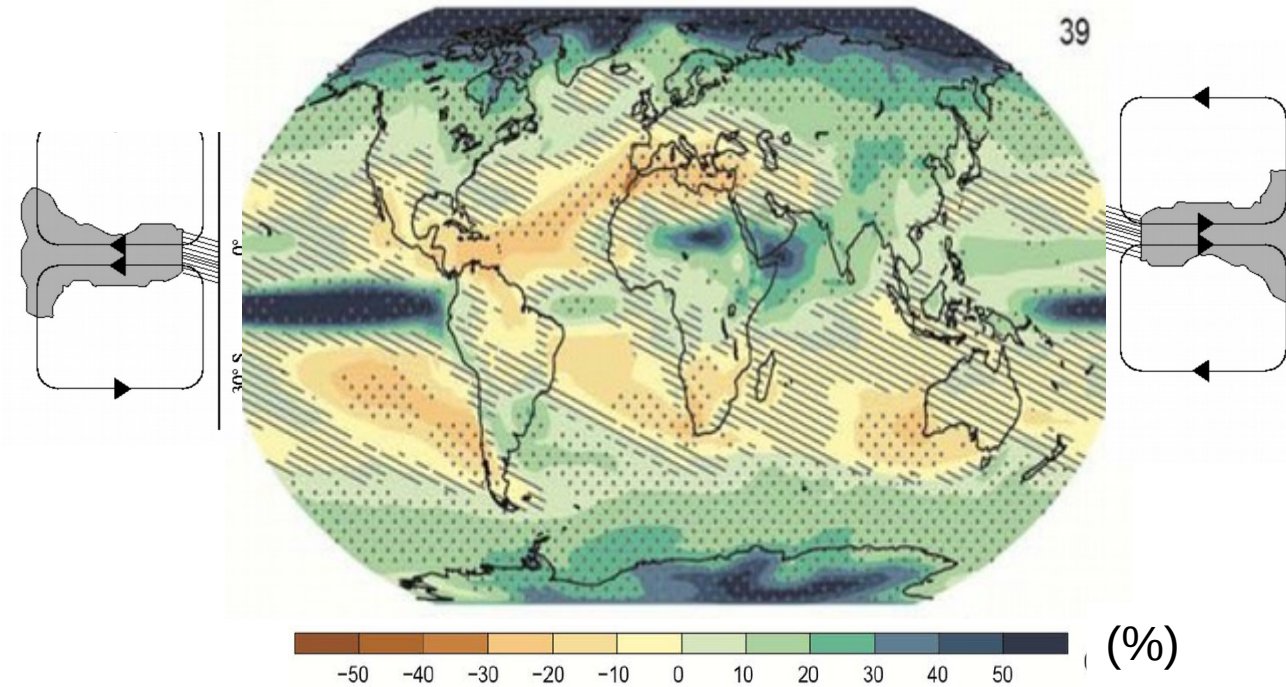
Signal/bruit faible



Signal/bruit élevé et modèles en accord

39 modèles CMIP5

Changements des précipitations: distribution géographique



Variation des
précipitations

$$\Delta P \approx \omega \Delta Q + Q \Delta \omega$$

Variation

thermodynamique

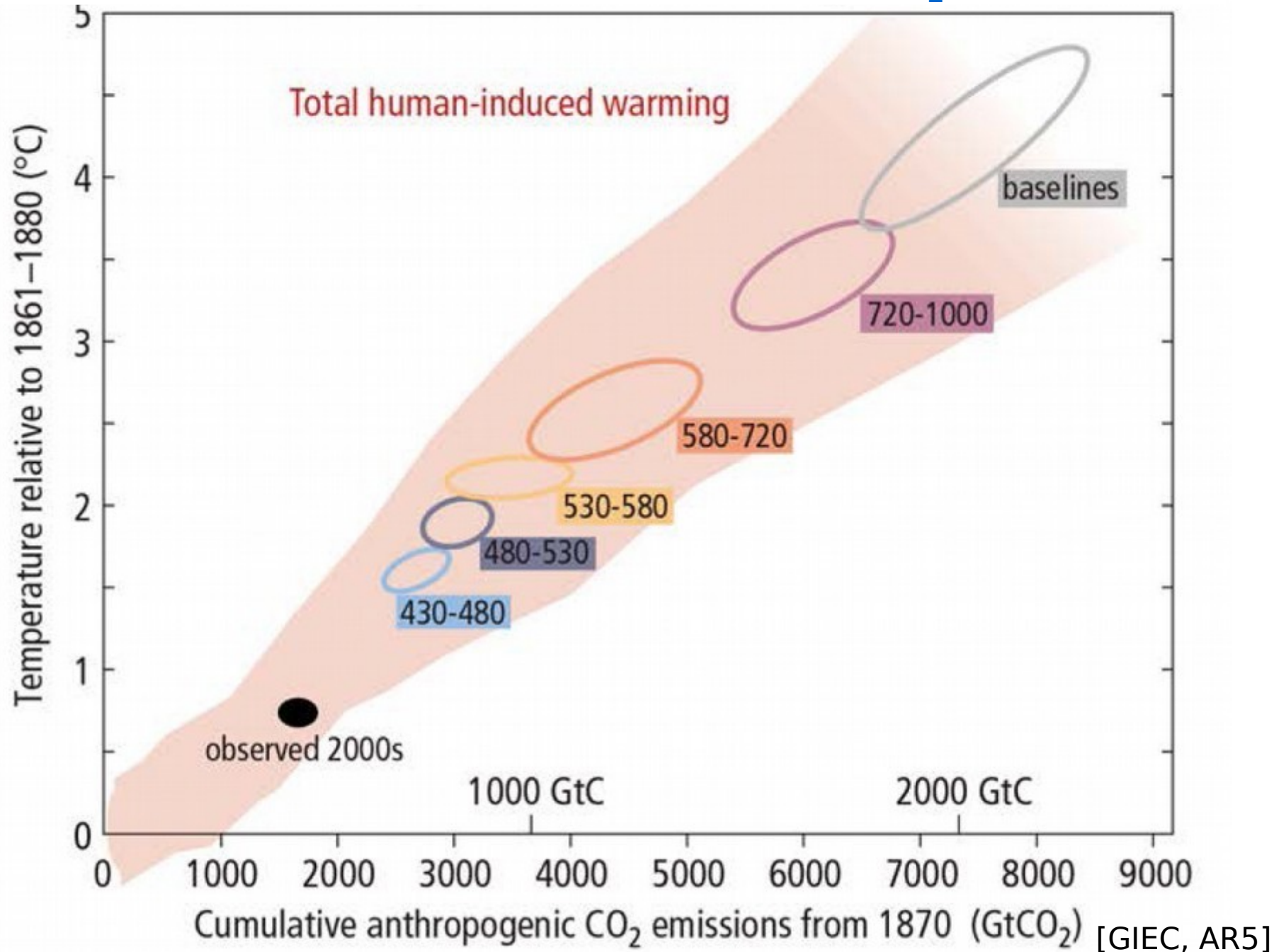
Variation

dynamique

Événements extrêmes: tendances passées et futures

Phénomène	Probabilité depuis 1950	Contribution humaine	Probabilité au début / fin du XXI ^e siècle
Périodes/vagues de chaleur plus fréquentes et/ou plus longues sur la plupart des terres émergées	Probable dans de grandes parties d'Europe, d'Asie et d'Australie	Probable	Non évalué / Très probable
Augmentation de la fréquence, intensité et/ou du nombre des épisodes de précipitations abondantes	Probablement plus d'augmentations que de diminutions sur les terres émergées	Degré de confiance moyen	Probable sur de nombreuses régions / Très probable sur certaines régions
Augmentation de l'intensité et/ou de la durée des sécheresses	Faible confiance à l'échelle mondiale, probable dans certaines régions	Faible confiance	Faible confiance / Probable à l'échelle régionale ou mondiale
Augmentation de l'activité cyclonique tropicale de forte intensité	Faible confiance à l'échelle séculaire, pratiquement certain pour Atlantique Nord	Faible confiance	Faible confiance / Plus probable qu'improbable dans certains bassins

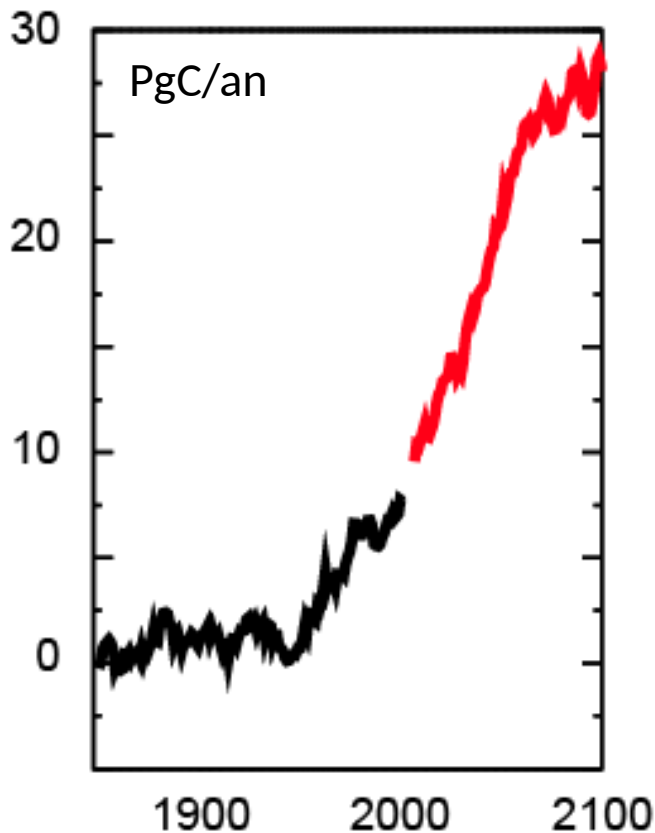
Accroissement de température versus les émissions cumulées de CO₂



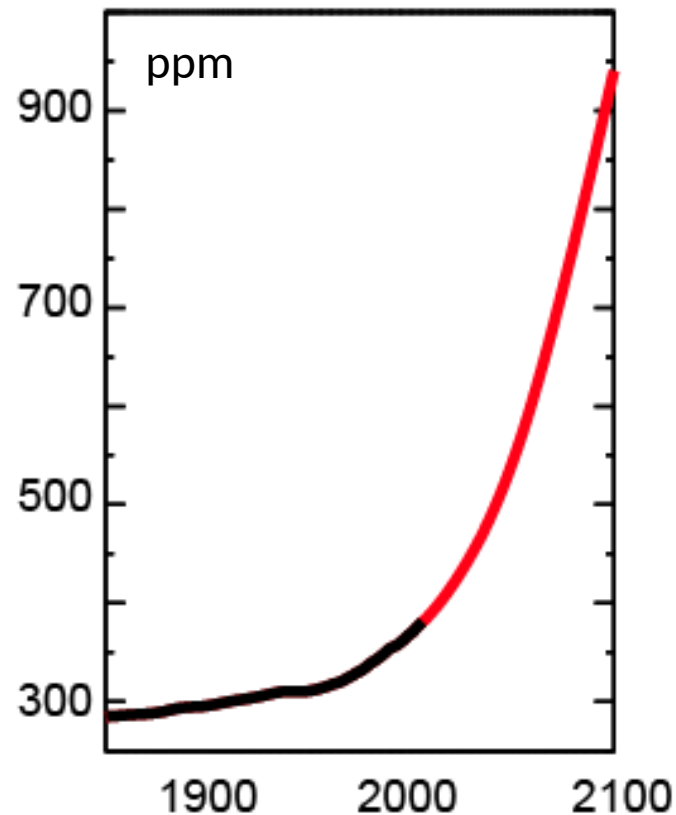
Des temps de réponses longs. Les raisons de l'objectif du zéro émission

>> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent

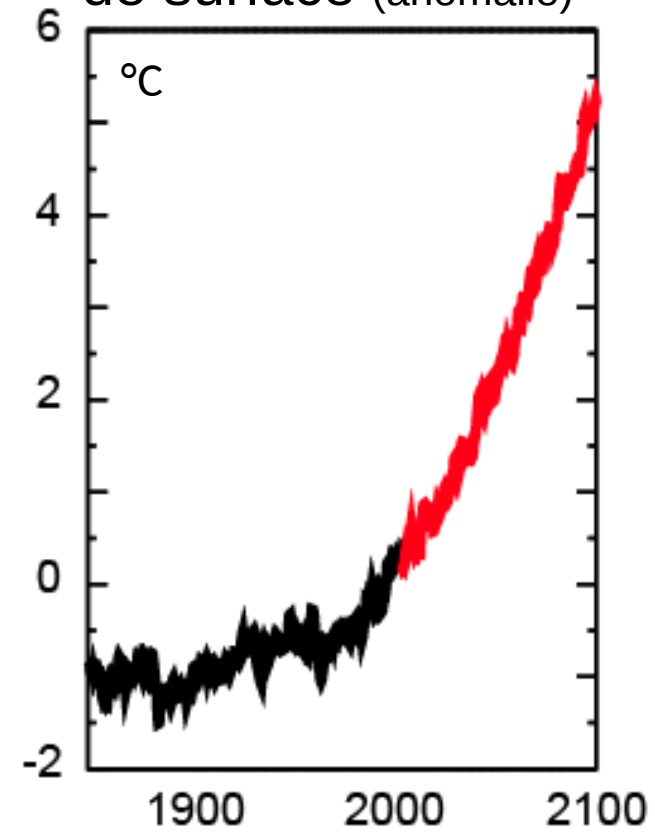
Émission de CO₂



Concentration de CO₂



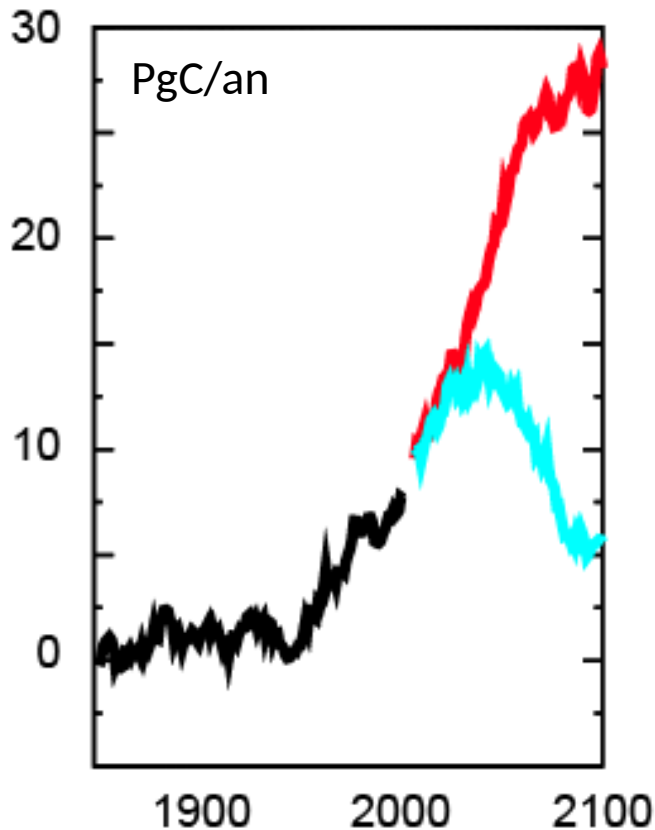
Température moyenne
de surface (anomalie)



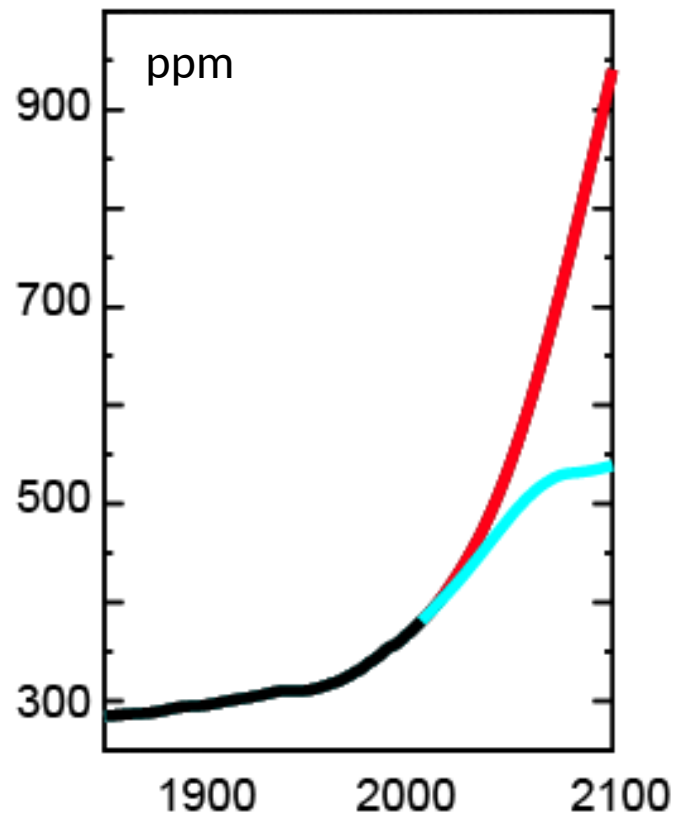
Des temps de réponses longs. Les raisons de l'objectif du zéro émission

- >> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent
- >> **Scénario Médian** : pour stabiliser les concentrations à 550 ppm, il faut décroître fortement les émissions. Mais les températures continuent à augmenter

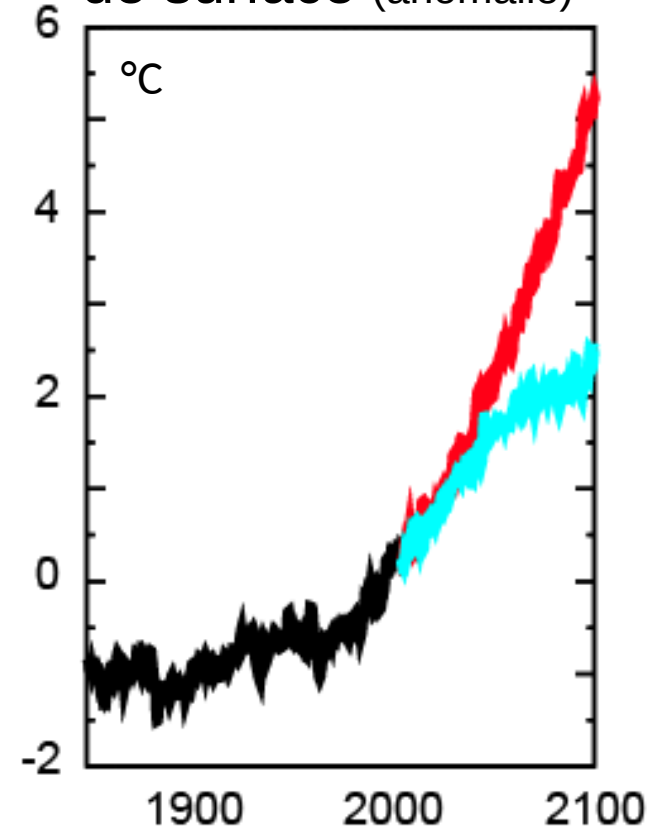
Émission de CO₂



Concentration de CO₂



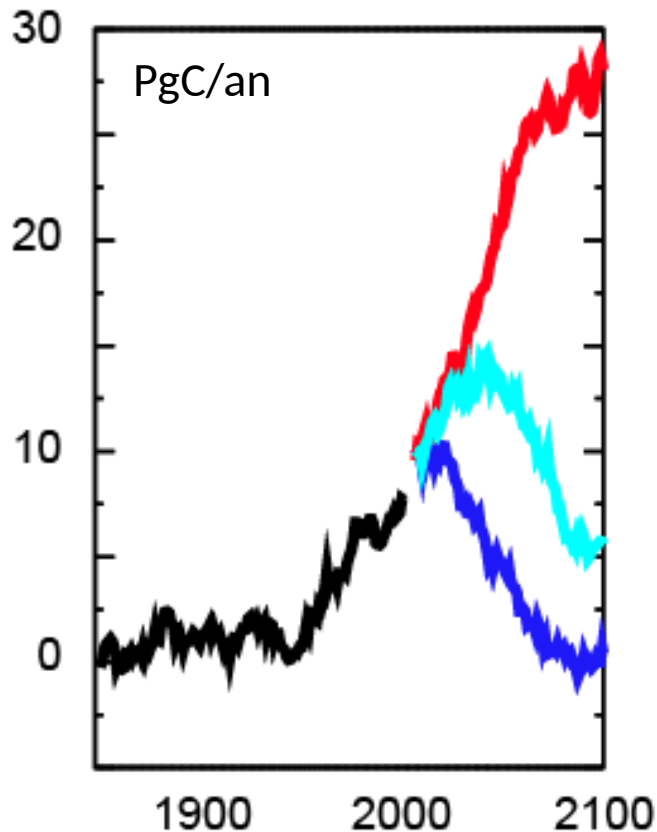
Température moyenne de surface (anomalie)



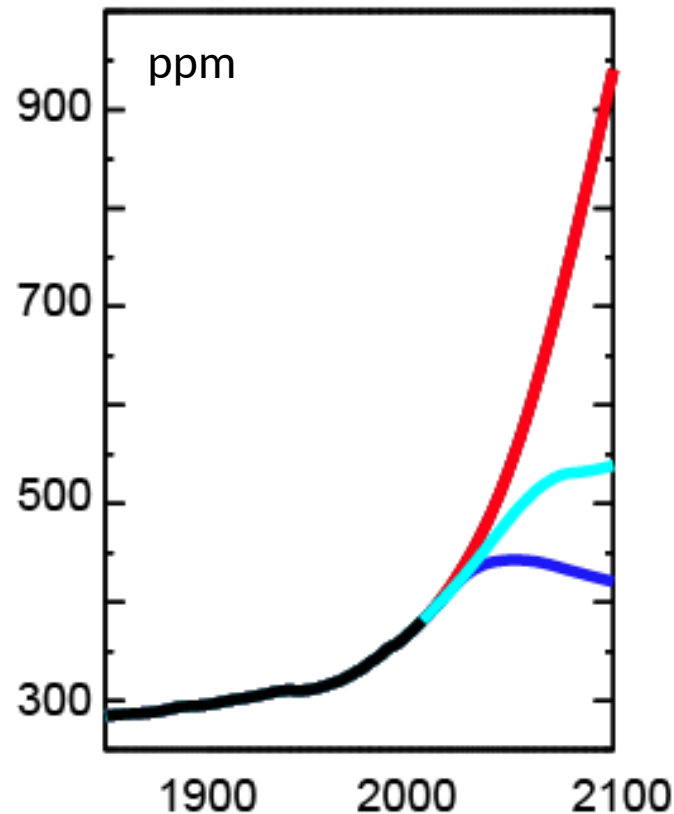
Des temps de réponses longs. Les raisons de l'objectif du zéro émission

- >> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent
- >> **Scénario Médian** : pour stabiliser les concentrations à 550 ppm, il faut décroître fortement les émissions. Mais les températures continuent à augmenter
- >> **Scénario Bas** : pour limiter le réchauffement à 2°, il faut limiter la concentration à moins de 450 ppm et amener les émissions à 0 avant la fin du siècle.

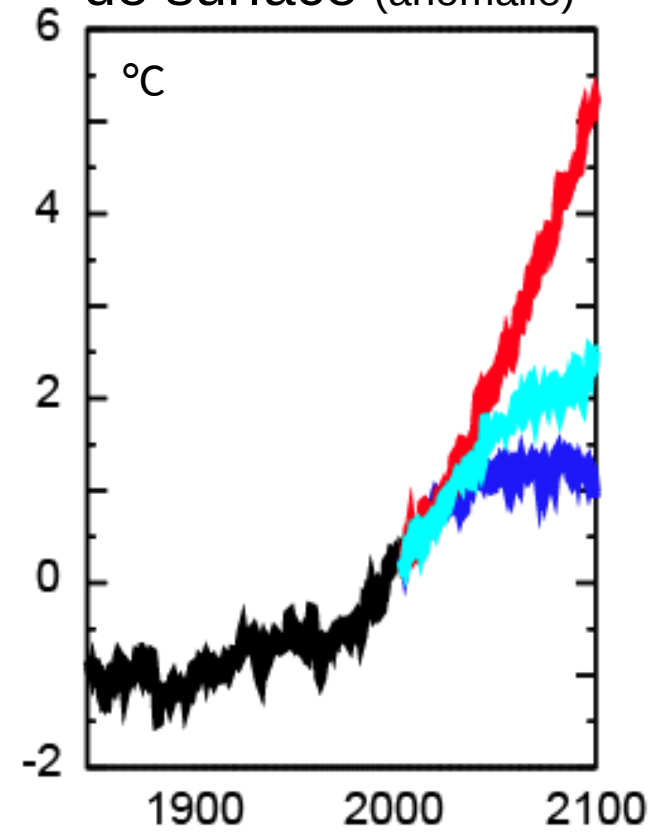
Émission de CO₂



Concentration de CO₂



Température moyenne de surface (anomalie)



Plan

- I. Le rôle des activités humaines sur le réchauffement récent
- II. Projections des climats futurs
- III. Changement climatique et variabilité naturelle
- IV. Quelques exemples de désinformation
- V. Conclusion

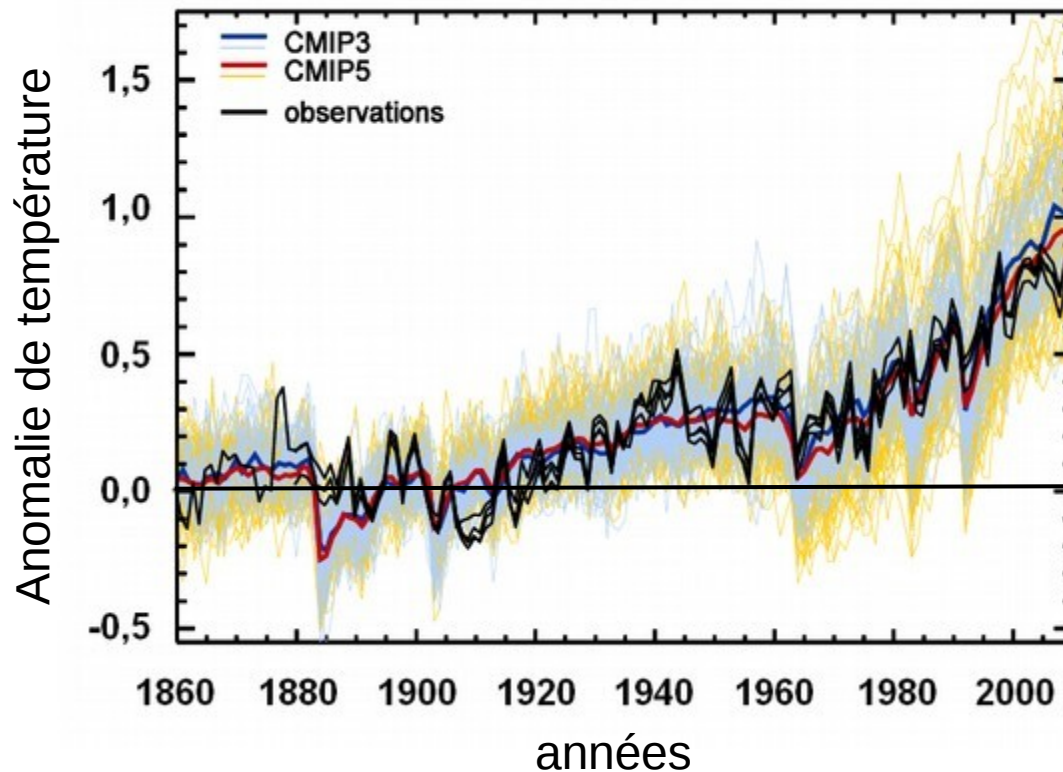
Variabilité interne et variations dues à des forçages

Les variations climatiques ont plusieurs origines:

$$\text{Variations} = \boxed{\text{Variabilité interne} + \text{Réponse aux forçages naturels}} + \text{Réponse aux forçages anthropiques}$$

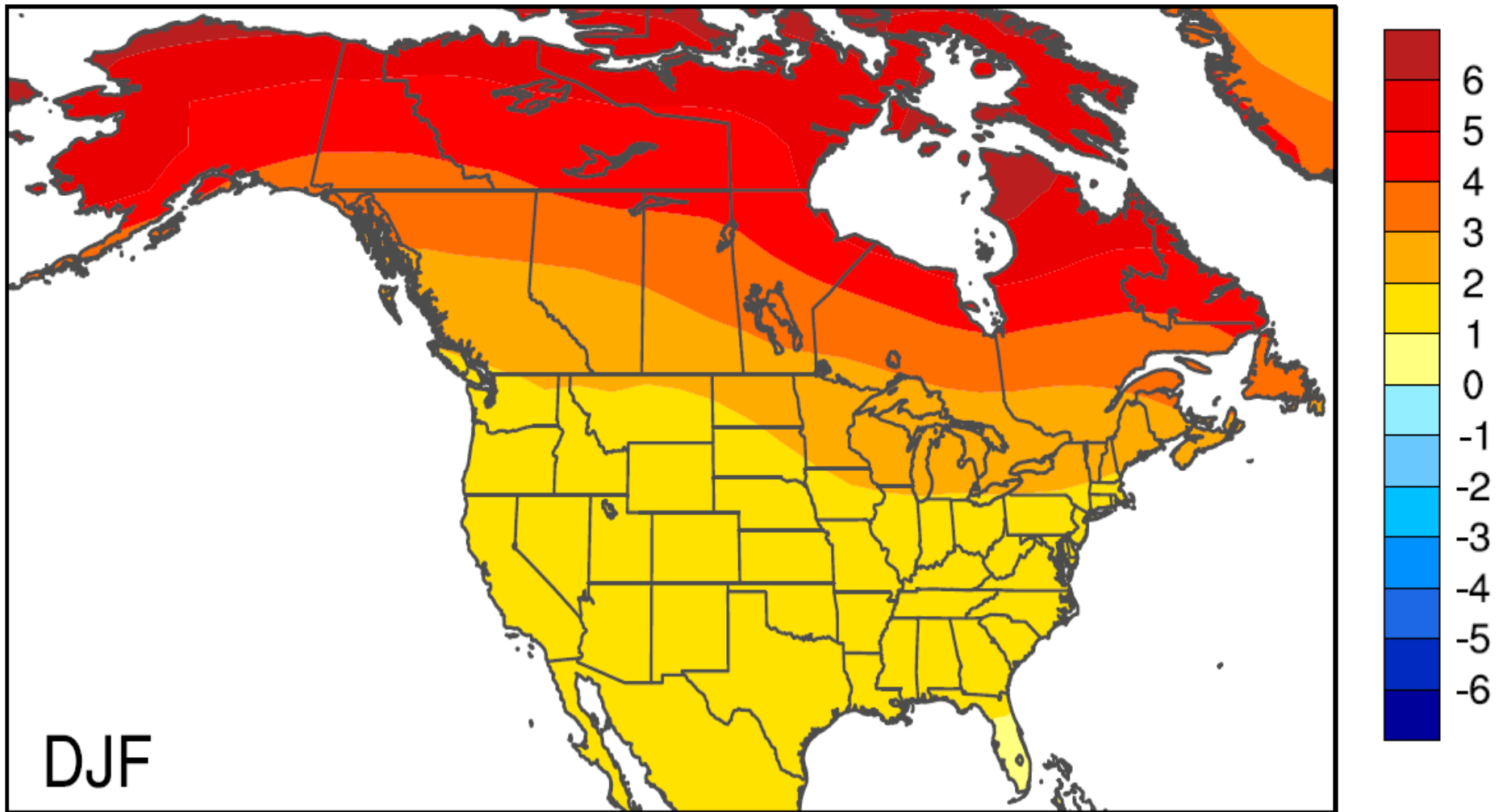
Variabilité naturelle

Simulations avec *forçages naturels et anthropiques*



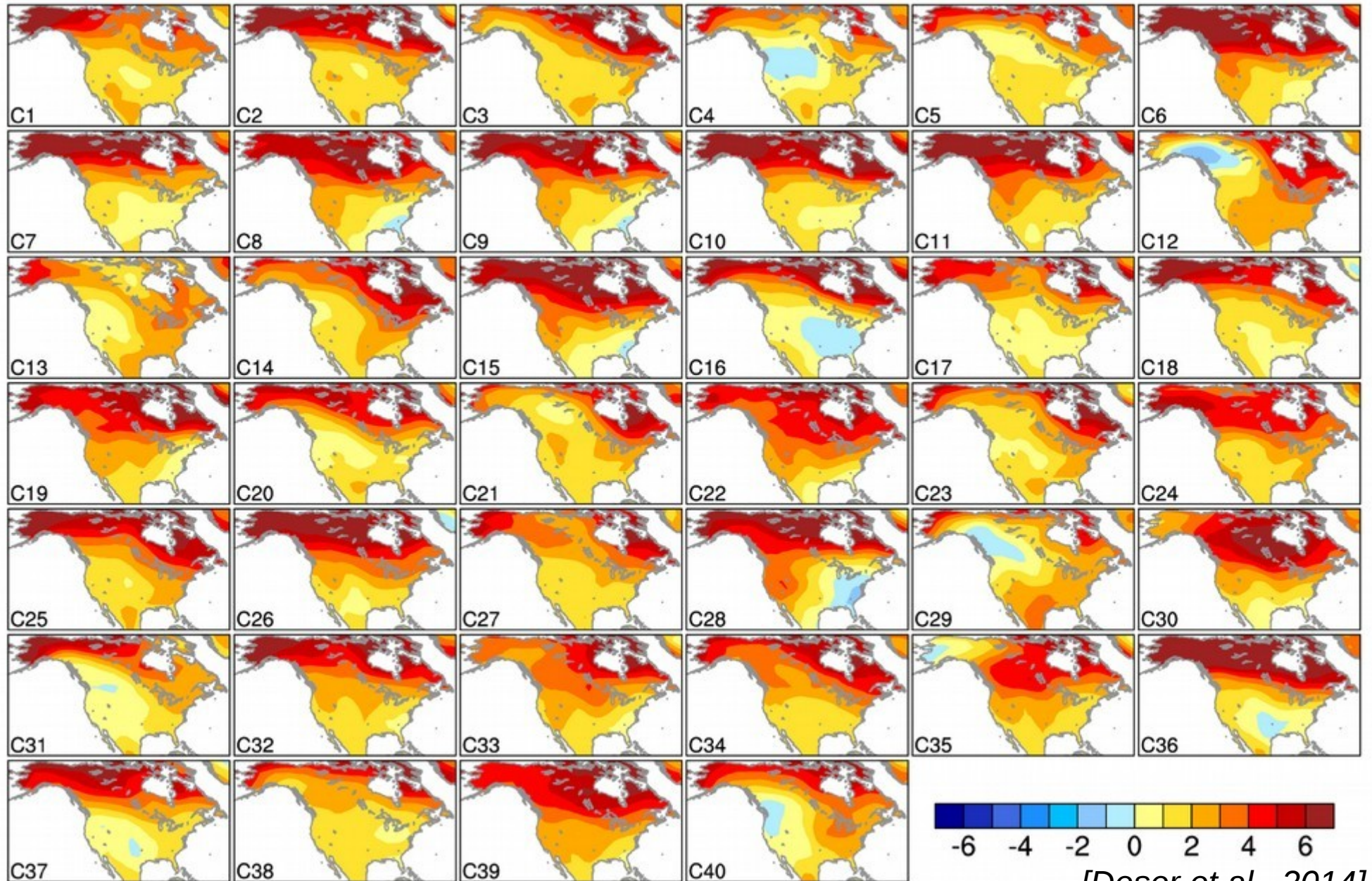
Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ($^{\circ}\text{C}/50$ ans)
pour un scénario « intermédiaire - haut »



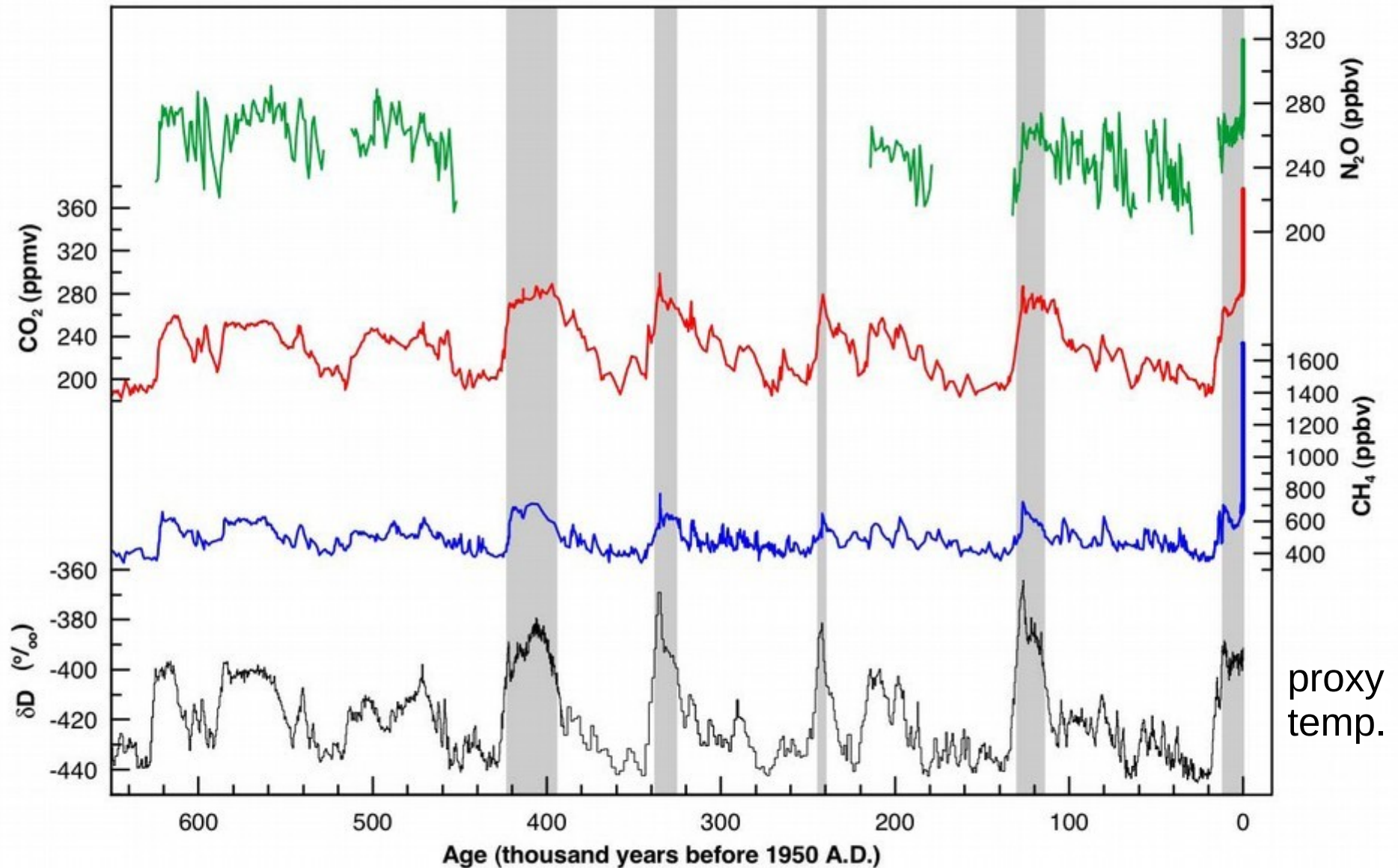
Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ($^{\circ}\text{C}/50$ ans)



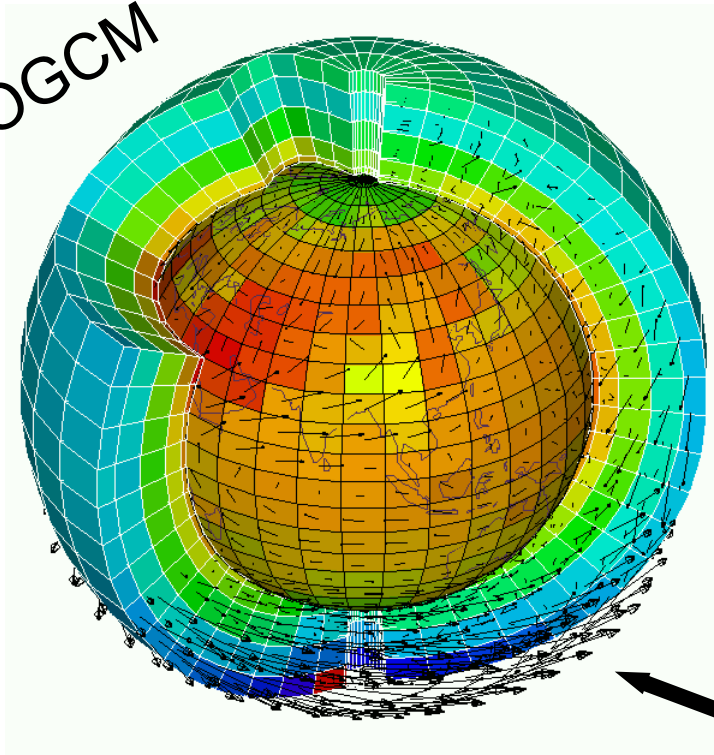
[Deser et al., 2014]

Reconstructions à partir de carottages glaciaires et d'observations récentes

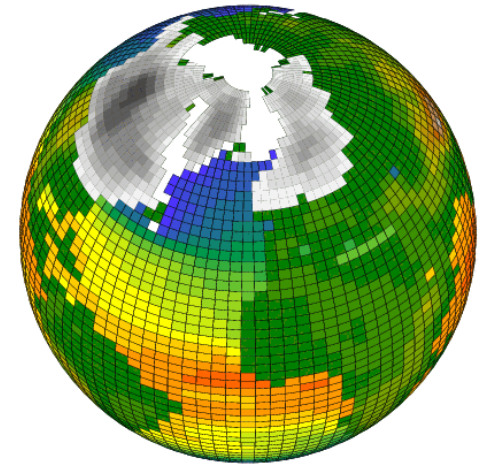


Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

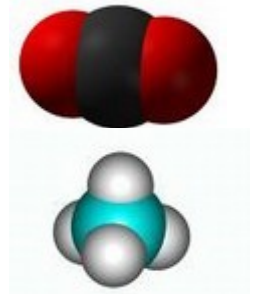
AOGCM



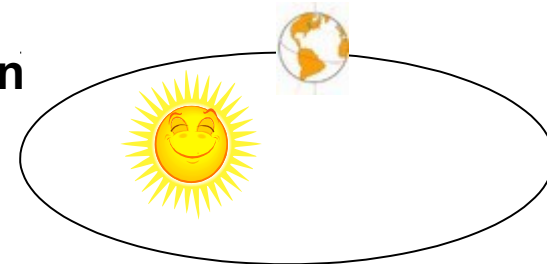
Calottes
glaciaires



Composition
atmosphérique
CO₂: 185 ppm
CH₄: 350 ppb...



Insolation
21ky BP

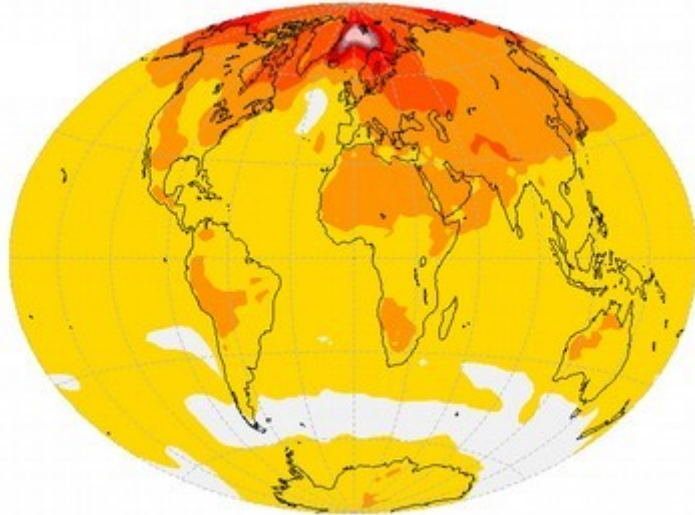


Forçage en gaz à effet de serre ~ climat futur
Autre forçage majeur: calottes glaciaire

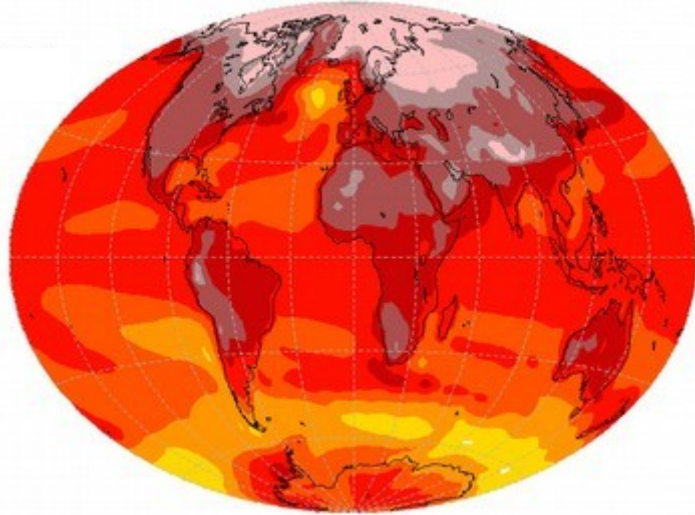
Comparaison futures - paléoclimats

Différence entre **2100** et **1990**

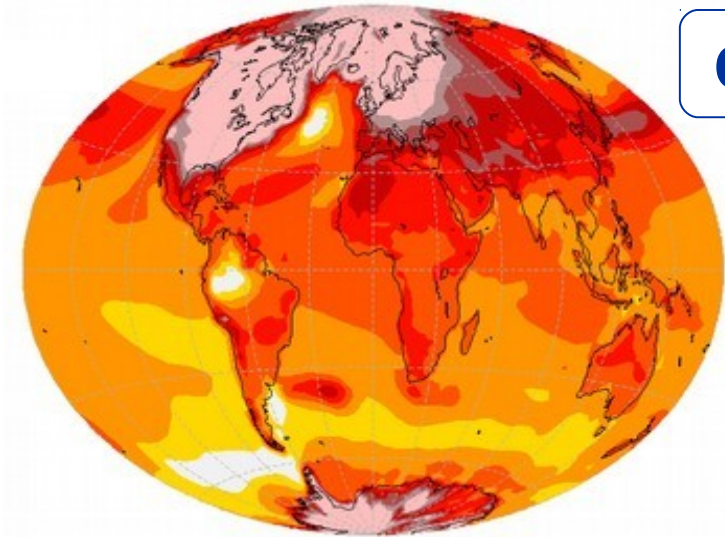
RCP2.6



RCP8.5

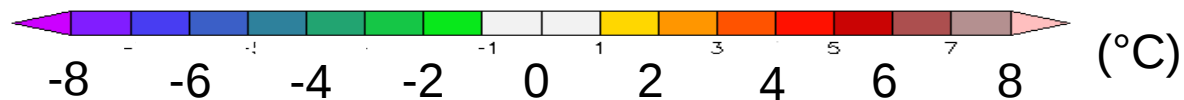


Différence entre la période **actuelle** et celle **dernier maximum glaciaire**



Glaciaire

Modèle : IPSL-CM5A-LR

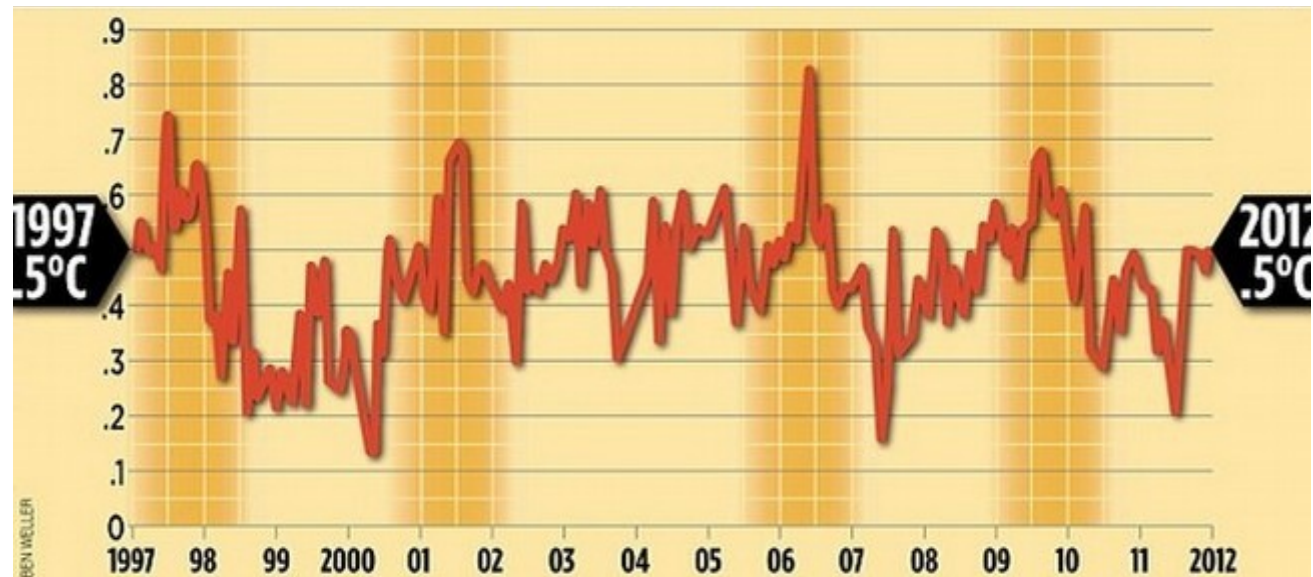


Plan

- I. Le rôle des activités humaines sur le réchauffement récent
- II. Projections des climats futurs
- III. Changement climatique et variabilité naturelle
- IV. Quelques exemples de désinformation
- V. Conclusion

Doute ou tromperie ?

Négation du réchauffement climatique

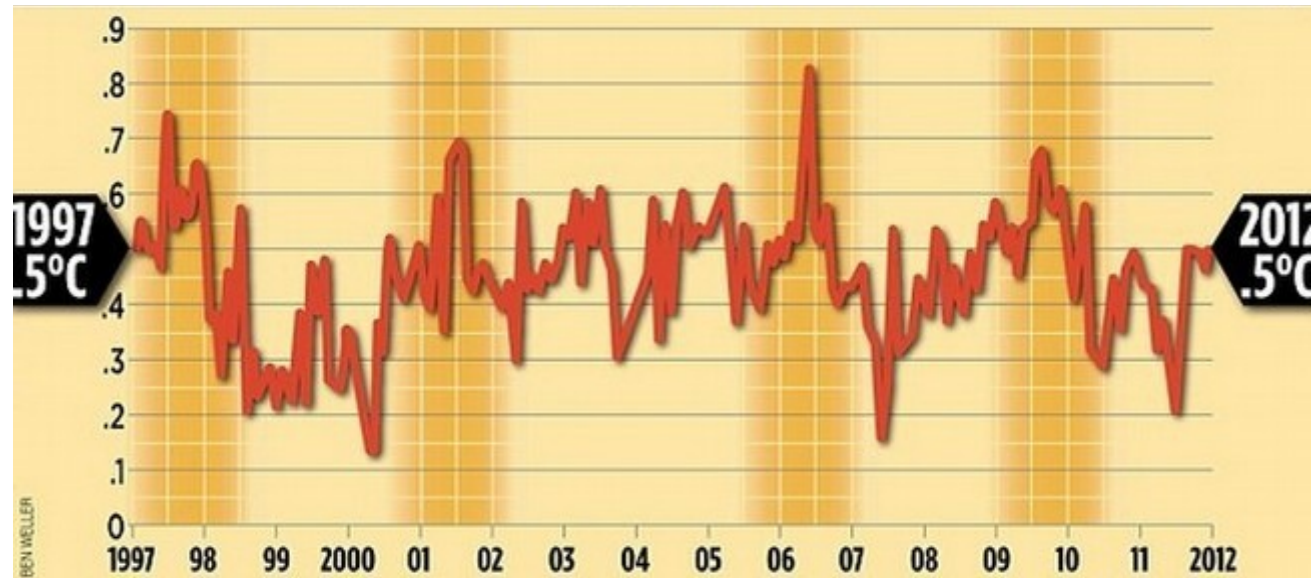


« Autrement dit, depuis 1997, les variations de températures observées ne permettaient pas de constater de réchauffement climatique »

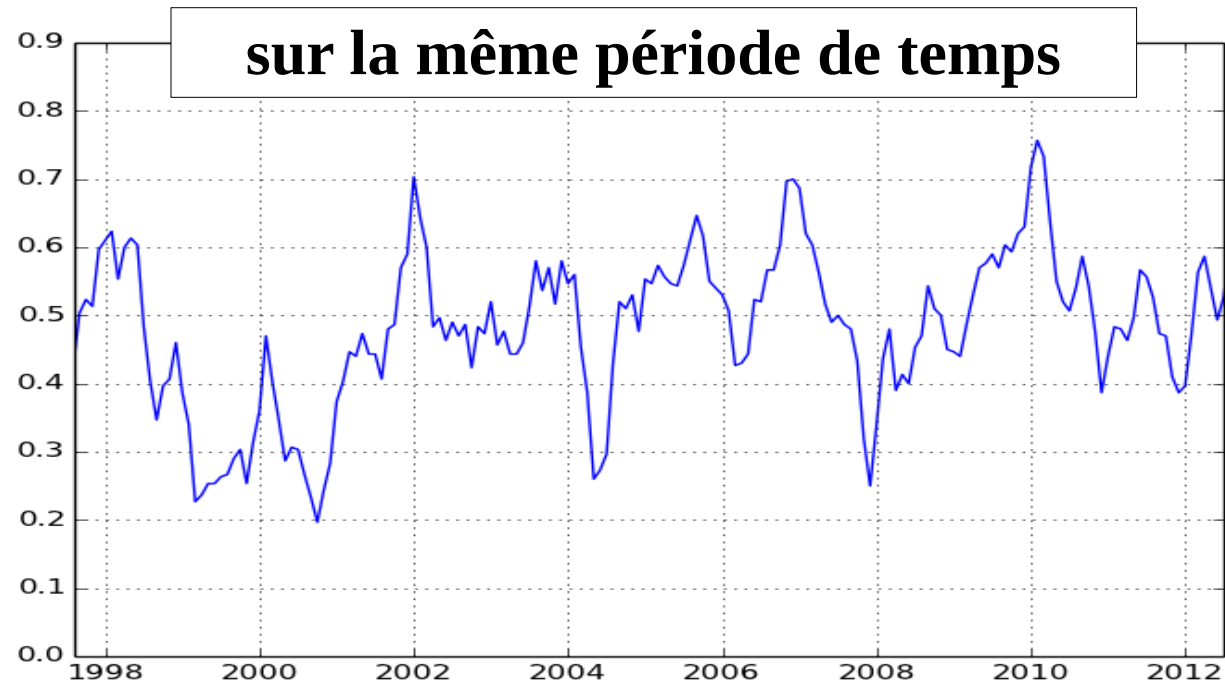
Doute ou tromperie ?

Négation du réchauffement climatique

Résultat montré



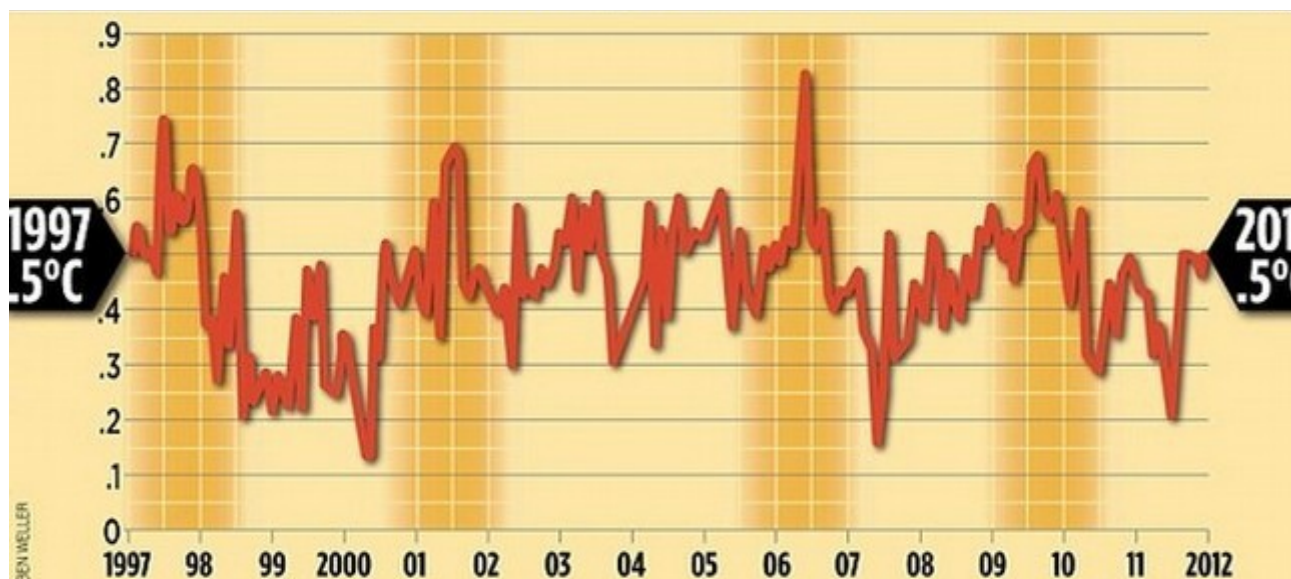
Résultat que l'on obtient à partir des données publiques du GISS (NASA)



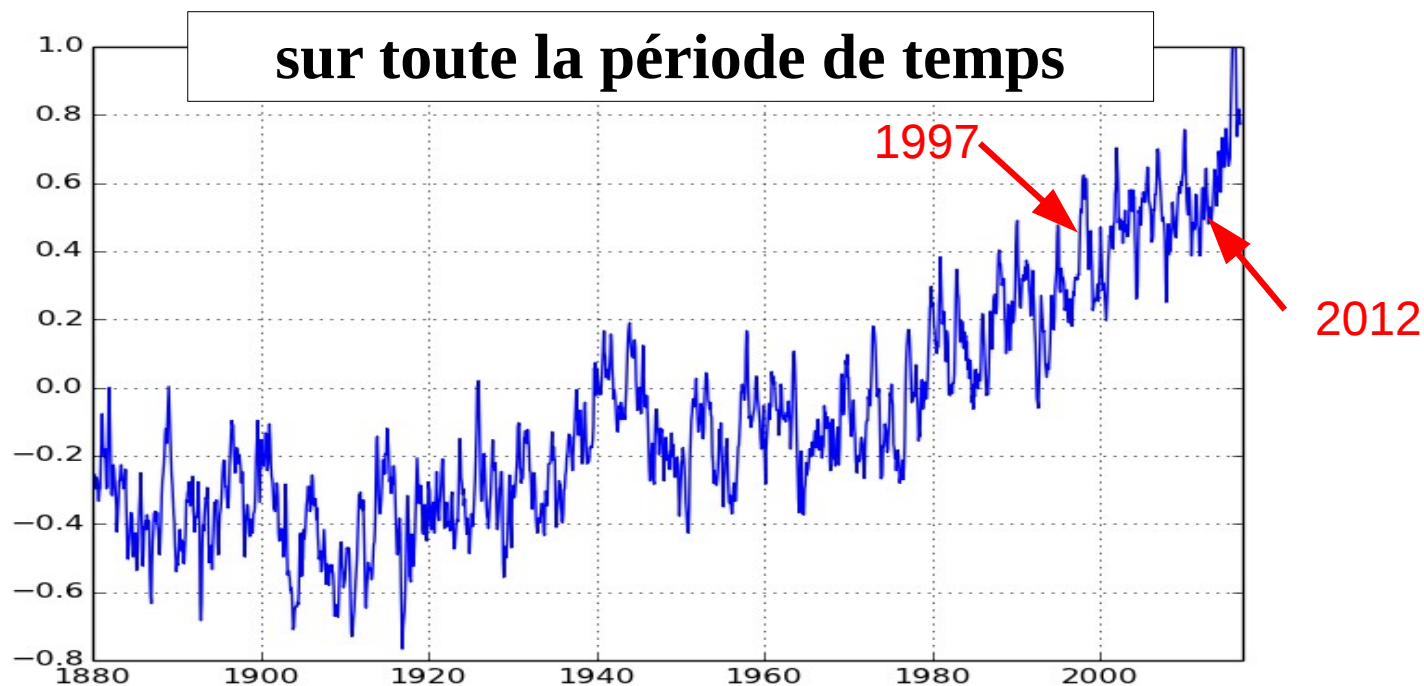
Doute ou tromperie ?

Négation du réchauffement climatique

Résultat montré



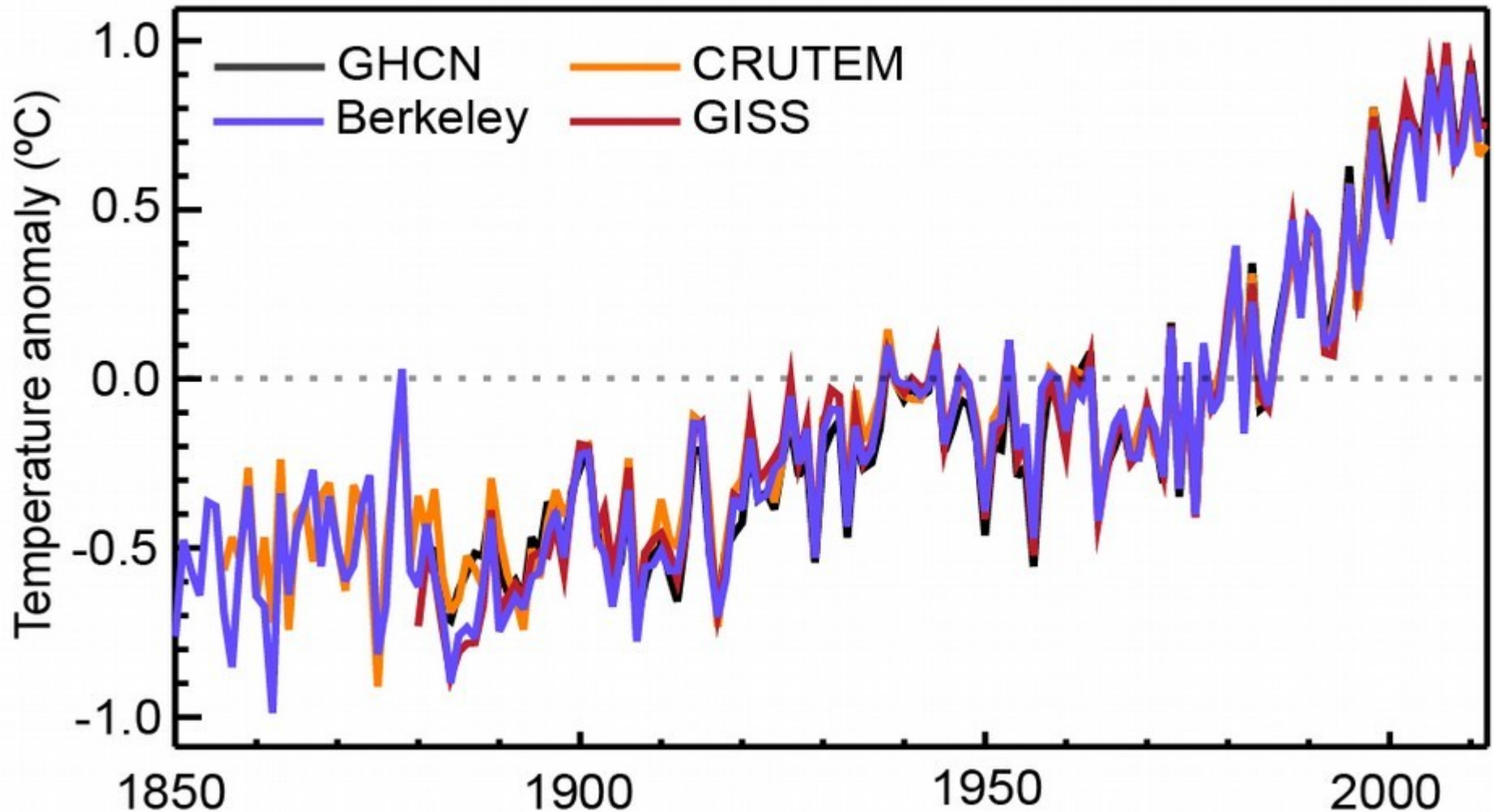
Résultat que l'on obtient à partir des données publiques du GISS (NASA)



Doute ou tromperie ?

Remise en cause du réchauffement climatique

Des physiciens de Berkeley ont voulu montrer que les physiciens du climat se trompaient... et ont finalement obtenu les mêmes résultats.



Doute ou tromperie ?

Vers un refroidissement ?



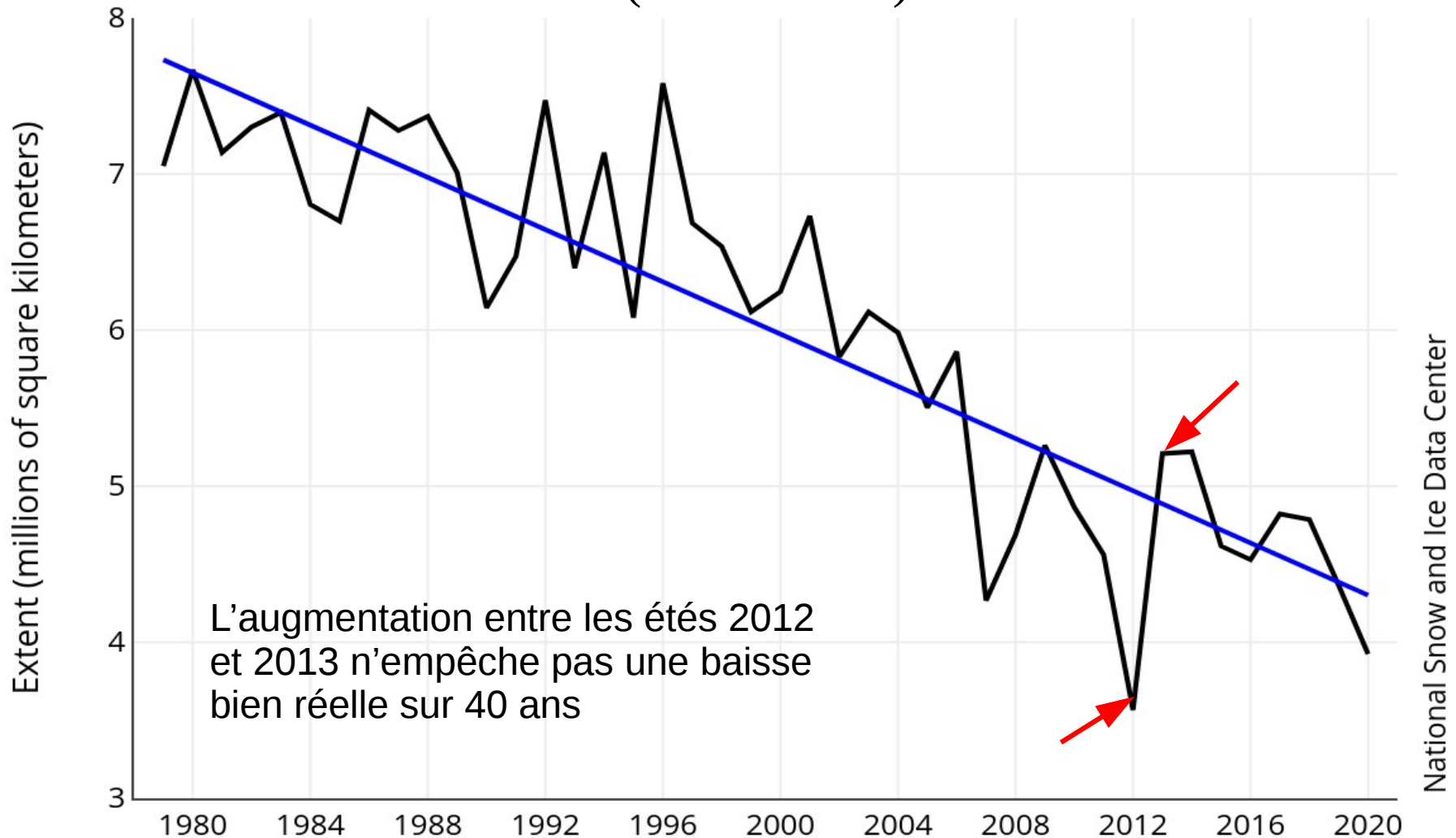
"Réchauffement global ? Non, nous sommes en voie de refroidissement, revendiquent les scientifiques" [... En Arctique la banquise] *aurait effectivement augmenté de 60% par rapport à la même période l'année passée.*

http://www.gentside.com/r%e9chauffement-climatique/rechauffement-climatique-une-pause-et-le-debut-d-039-un-refroidissement-global_art54496.html

Doute ou tromperie ?

Vers un refroidissement ?

Extension de la glace de mer en arctique au mois de septembre
(1979 - 2020)

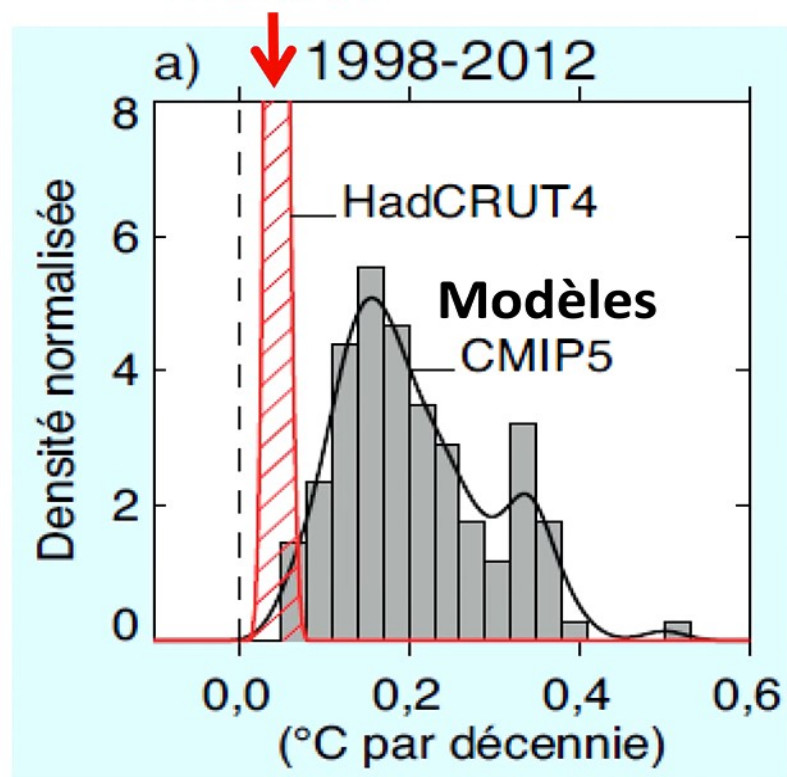


F. Gervais : incompétence et désinformation

Le rapport SR1.5 du GIEC contredit par sa propre figure !

« Estimated anthropogenic global warming is currently increasing at 0.2°C (*likely* between 0.1°C and 0.3°C) per decade »

Mesures



Pas de réchauffement significatif dans une période correspondant à pas moins de $\sim 1/3$ des émissions depuis le XIXème siècle

Les modèles prévoient 2 à 10 fois plus

Alarmisme des modèles invalidé

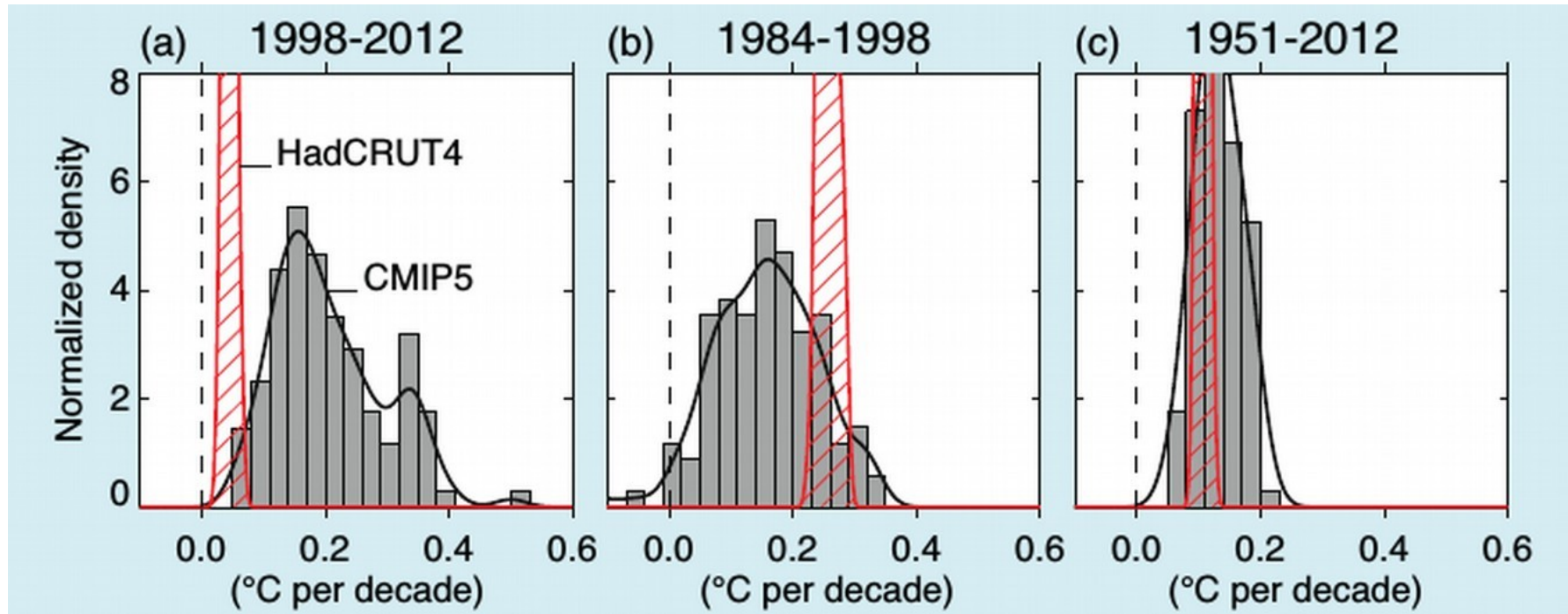
Figure 1(a) de l'encadré RT.3 du rapport AR5 du GIEC

François Gervais - L'urgence climatique est un leurre

https://www.youtube.com/watch?v=iK3G8wqqp_k ; entre les minutes 29 et 31

F. Gervais : incompétence et désinformation

La figure originale complète (partie supérieure)



Histogrammes de l'évolution de la température moyenne de la surface de Terre, exprimé en °C/décennie, estimée sur trois périodes de temps différentes à partir d'observation (en rouge) et de résultats de modèles climatiques (en gris). Figure extraite du résumé technique du 5^e rapport du GIEC.

Cette figure est destinée à montrer l'importance de la variabilité naturelle, même sur des périodes de 30 ans. F. Gervais

- déforme et détourne totalement cette figure
- ridiculise toute une communauté scientifique
- trompe son auditoire au lieu de l'amener à réfléchir.

J'ai fait un courrier à ce sujet: <http://www.lactualitechimique.org/Reflexion-de-J-L-Dufresne-suite-a-la-publication-de-la-recension-du-livre-de-F-Gervais>

Conclusions

- L'accroissement de la température globale et le rôle dominant des activités humaines sont maintenant bien établis, compris
- Les questions relatives aux changements climatiques évoluent: passage de l'alerte à la quantification, la description et l'anticipation des risques associés
- Il y a un saut d'ordre de grandeurs sur les exigences vis-à-vis des modèles climatiques. Importance de la représentation des processus et de la compréhension des phénomènes climatiques
- Plus on s'intéresse aux phénomènes régionaux, aux courtes échelles de temps (décennies) ou aux phénomènes extrêmes, plus les incertitudes et la variabilité naturelle deviennent importants

Quelques ressources

Livres:

- Le climat à découvert - CNRS Editions

Revue:

- « La Météorologie Revue de l'atmosphère et du climat »
<https://meteoetclimat.fr/la-meteorologie/presentation-de-la-revue/>

Web:

- GIEC: www.ipcc.ch
- Le climat en questions: <http://www.climat-en-questions.fr/>
- OCE, Office of Climate Education: <https://www.oce.global/>

Vidéo:

- Vidéos courtes (SPOC) - Niveau Licence
https://www.canal-u.tv/producteurs/ipsl/videos_courtes_spoc_niveau_licence
- Vidéo d'une conférence sur les Mécanismes de l'effet de serre :
<https://pedagogie.ac-rennes.fr/spip.php?article2337>

DVD:

- C'est pas sorcier: Effet de serre: coup de chaud sur la planète

An aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range. The terrain is rugged and covered in thick white snow, with some rocky outcrops visible. The sky is a deep, clear blue. In the lower-left quadrant, a faint rainbow is visible, adding a touch of color to the scene. The overall atmosphere is serene and majestic.

Merci de votre attention