

**The Weather
and Climate**

Emergent Laws and Multifractal Cascades

SHAUN LOVEJOY and DANIEL SCHERTZER

CAMBRIDGE

**Qu'est-ce que c'est le
climat?
Un regard sceptique sur les
climato-sceptiques**

Les sceptiques du Quebec,
13 Février, 2013

S. Lovejoy, McGill, Physics

Quelques controverses scientifiques dans l'histoire

L'héliocentrisme, La relativité d'Einstein et le réchauffement anthropogénique dérangent notre sentiment de place et d'importance.

-Copernic: la terre n'est plus le centre de l'univers.

-Einstein: le lieu ou nous habitons n'a pas de sens absolu ni dans le temps ni dans l'espace.

-Le science du climat: il est humiliant de savoir que la planète sur lequel nous proclamons notre domination pourrait se retourner contre nous.

C'est des conflits autour de ce que le monde *devrait être* et comment elle est vraiment.

Nous aimerions croire que ne sommes pas un accident de l'histoire, une fragile éphémère biochimique... que la terre est fait pour nous, que les étoiles tournent pour nous...

Les opposants au science du climat, de l'héliocentrisme et du relativité ne voit pas les choses ainsi.

Ils voient plutôt un complot: les scientifiques engagés dans une conspiration.

Ils inondent le public avec des contre-arguments superficiellement scientifiques....

Ca a commencer avec Copernic:

1473–1543

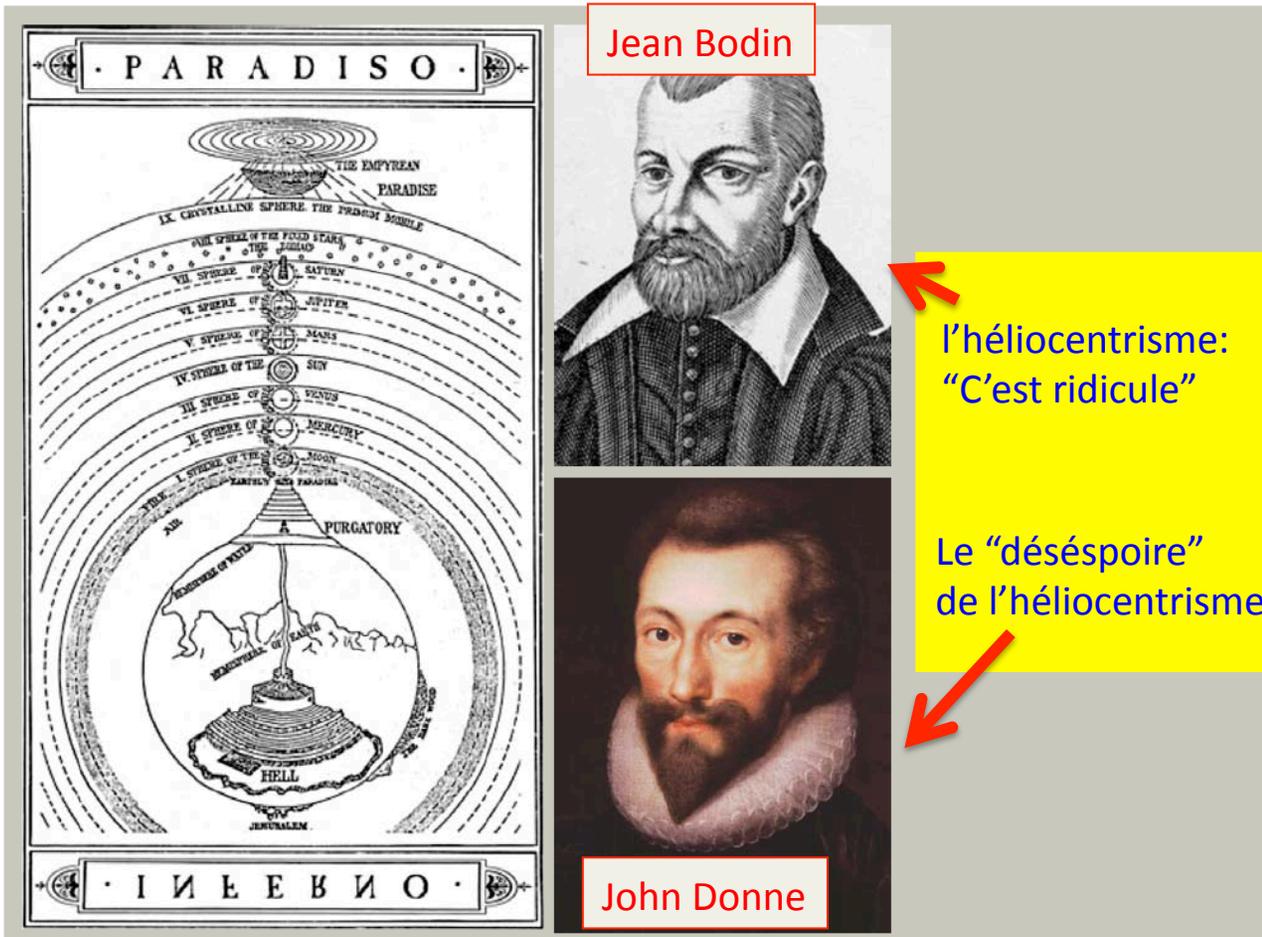
les héliosceptiques...

Les négationnistes à l'aube de la révolution scientifique



Pape Urbain VIII
(1623 - 1644), responsable de
l'arrestation de Galilée

1835: Plus sur l'indexe
1992: Jean Paul II s'excuse



The diagram on the left, titled 'PARADISO' at the top and 'I N E E V I O' at the bottom, depicts a geocentric model of the universe. At the center is Earth, with Jerusalem at the bottom. Above Earth are concentric spheres for the Moon, Mercury, Venus, the Sun, Mars, Jupiter, Saturn, the Fixed Stars, and the Crystalline Sphere. At the very top are the Empyrean and Paradise. Below Earth are Purgatory and Hell. To the right of the diagram are two portraits: Jean Bodin (top) and John Donne (bottom). A yellow text box with red arrows pointing to the portraits contains the following text:

l'héliocentrisme:
"C'est ridicule"

Le "désespoire"
de l'héliocentrisme

Le climat n'est pas ce dont on s'attends

”Le climat c’est ce dont on s’attends, la météorologie c’est ce qu’on reçoit“ -*Lazarus Long*, personnage en *R. Heinlein 1973*

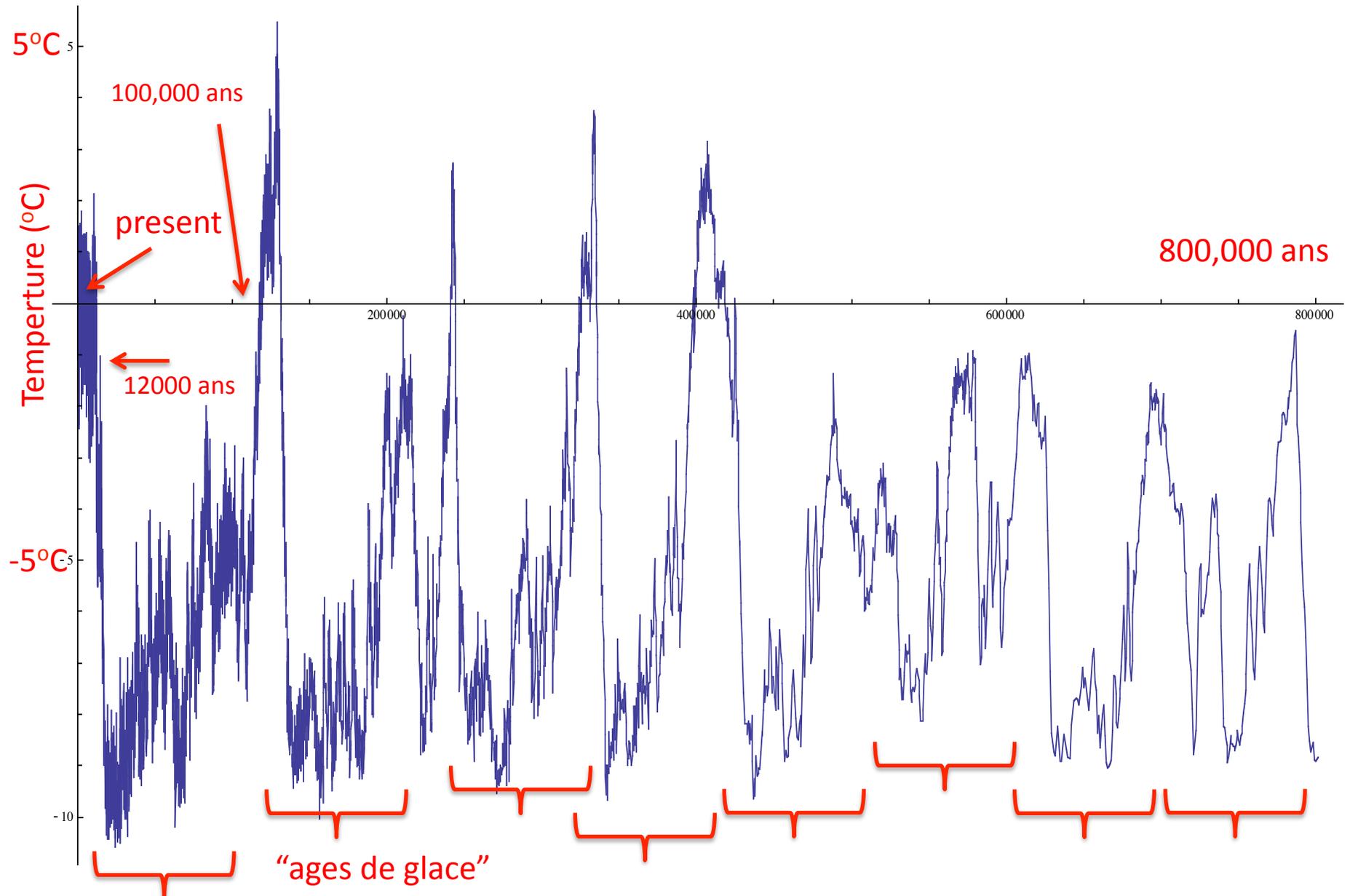
“The climate is what you expect, the weather is what you get”

“Dans un sens étroit, le climat est habituellement définie comme étant la “météorologie moyenne”... La période classique est de 30 ans, tel que défini par l’Organisation Météorologique Mondiale (OMM)...

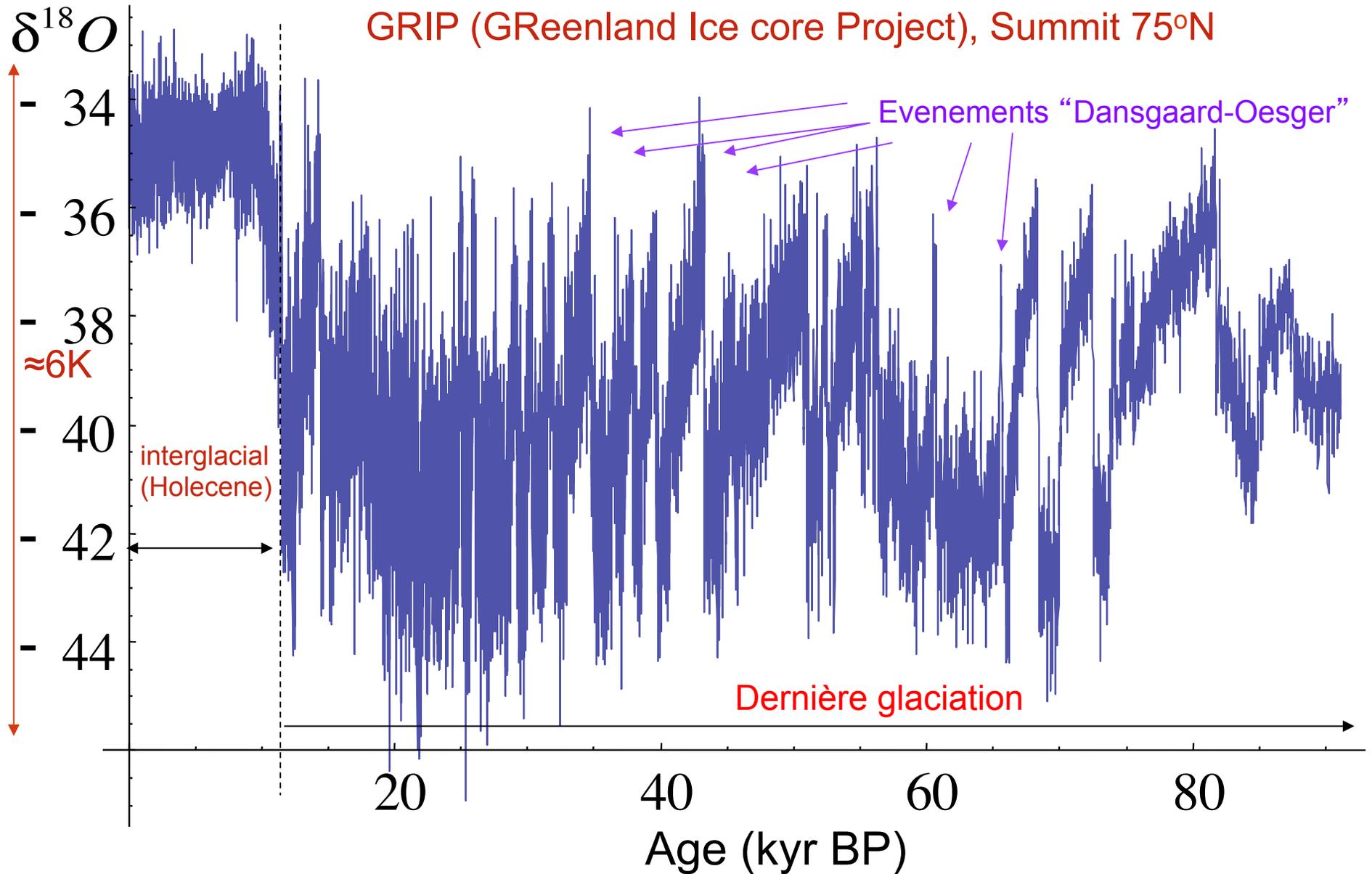
Dans un sens plus large, le climat c’est l’état incluant une description statistique du système climatique”

Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), 2007

EPICA (Antarctique): 800000 avant le present



Évènements, abruptes



Trichotomie:

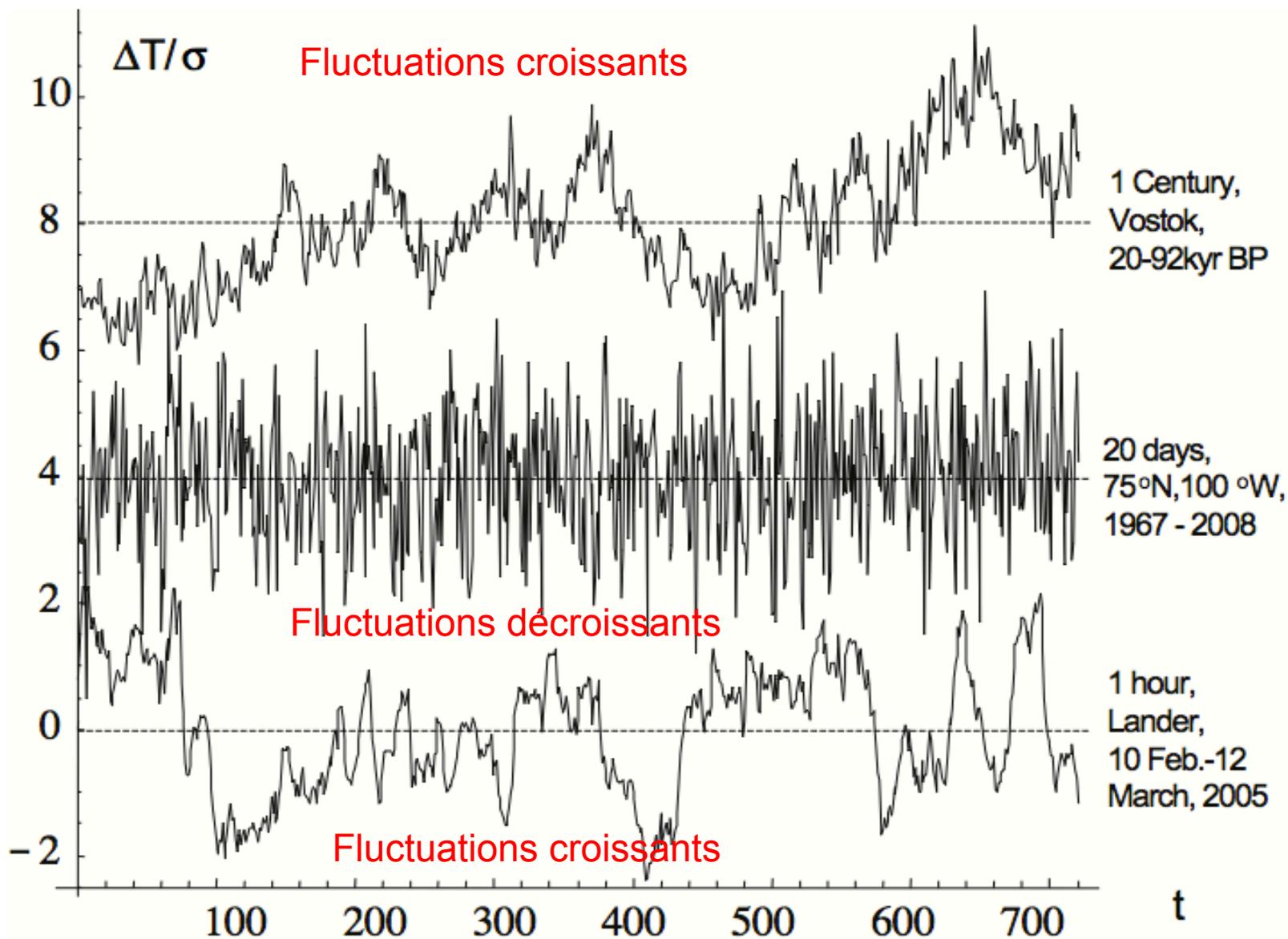
météorologie – macrométéorologie - climat

Temperature

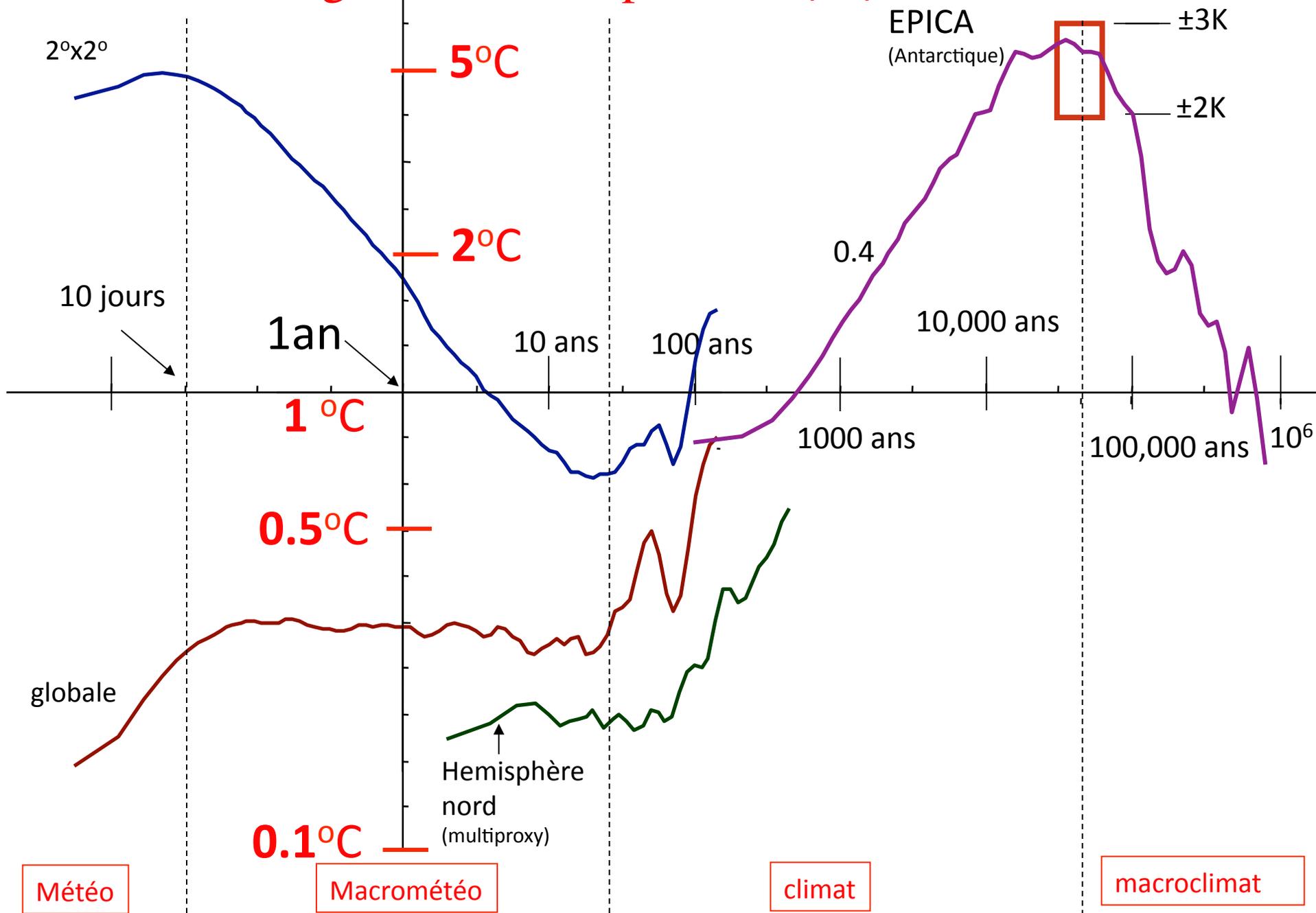
Climat
(30-100 ans à
50,000 ans)

Macrométéo
(10 jours à 30 -100
ans)

Météo
(jusqu'à 10
jours)

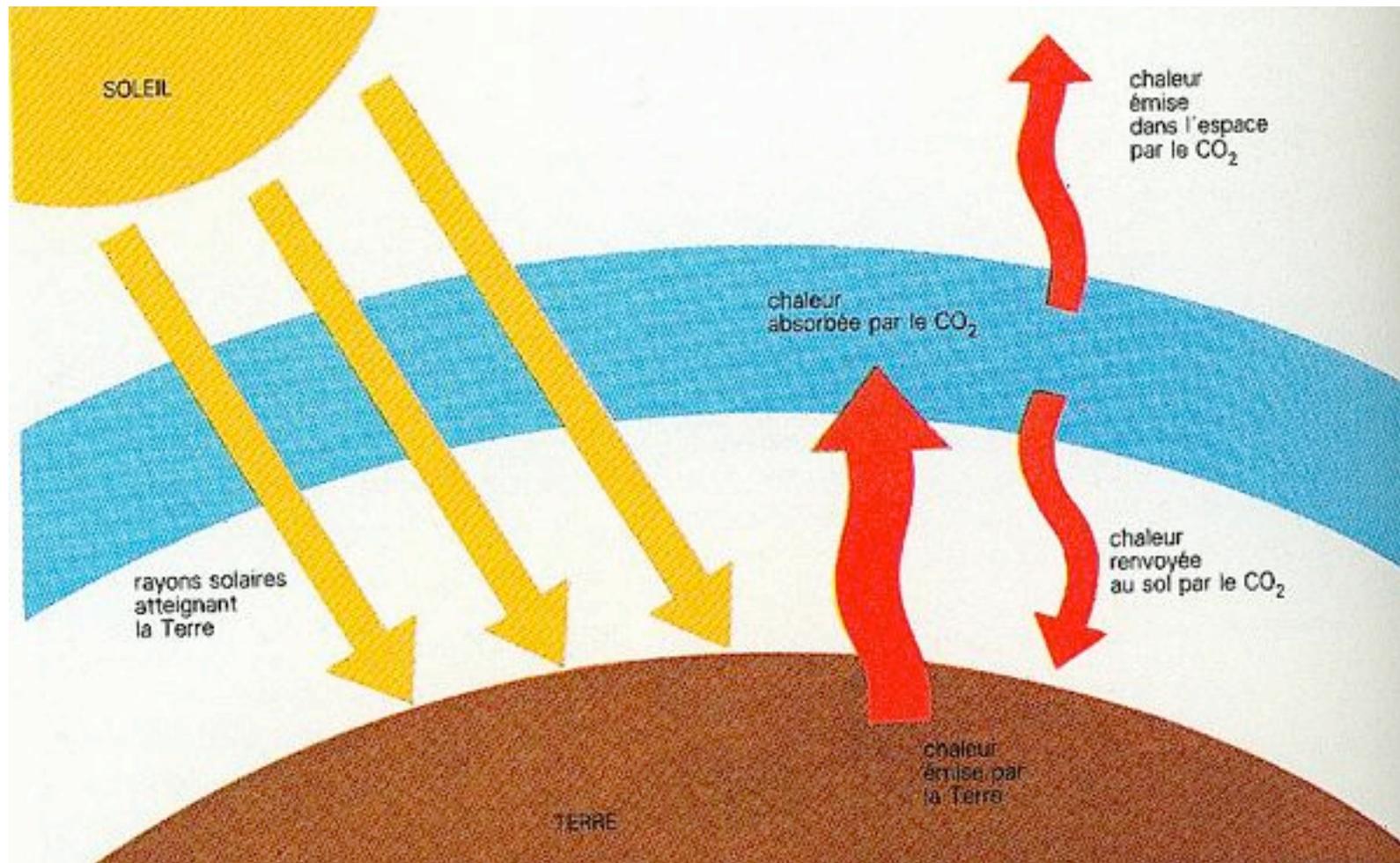


Changement de température (°C)



La théorie du réchauffement anthropogénique

L'effet de serre



Historique de la theorie du rechauffement anthropogenique (1)

1896

Le prix Nobel Swedois Svante Arrhenius a produit le premier estimation de l'effet de doublé la concentration de CO₂ en 1896: 4–6°C de rechauffement, c'est le "sensibilité climatique".

1938

Callender a estimé le rechauffement à 2° C mais sa théorie n'a pas était accepté.

1957

Keeling commence sa series de mesures à Mauna Loa et au pôle sud ce qui montre definitivement l'augmentation systématique due CO₂ dans l'atmosphère.

1960

La theorie du rechauffement causé par le CO₂ été toujours très impopulaire. Les raisons selon Callender:

- a) l'idée qu'un seule facteur pouvait être responsable était jugé "simpliste".
- b) l'idée selon lequel l'action de l'être humain pouvait avoir des consequences aussi vaste étaient repugnant.
- c) Par erreure, les autorités météorologiques se sont prononcés contre la théorie.
- d) Ils ne l'ont pas trouver eux mêmes!

Historique (2)

1975

L'avènement des modèles. Dans les années 1970 les premiers modèles de climat (GCM: "Global Climate Model") produisaient des sensibilités de 2-4° C.

L'enjeux des modèles:

En moyenne, sur toute la terre, jour et nuit, le "forçage" solaire est de 238 W/m².

Sans rétroaction, un doublement du CO₂ donnerait un forçage de 3.7 W/m² ce qui résulterait d'un réchauffement de 1°C ; ce sont des chiffres faciles à calculer et ils ne sont pas disputés. Le débat se porte donc sur les rétroactions.

1979

L'Académie des Sciences des Etats Unis émettent leur premier avertissement du réchauffement globale du aux émissions grandissant de CO₂, citant une gamme de 1.5 4.5°C.

1990

L'équipe qui a fait le forage dans la glace a Vostok (l'Antarctique) a produit un des premiers série de "paleotemperatures" et paleo CO₂ ont pu estimé la sensibilité climatique à 3-4°C.

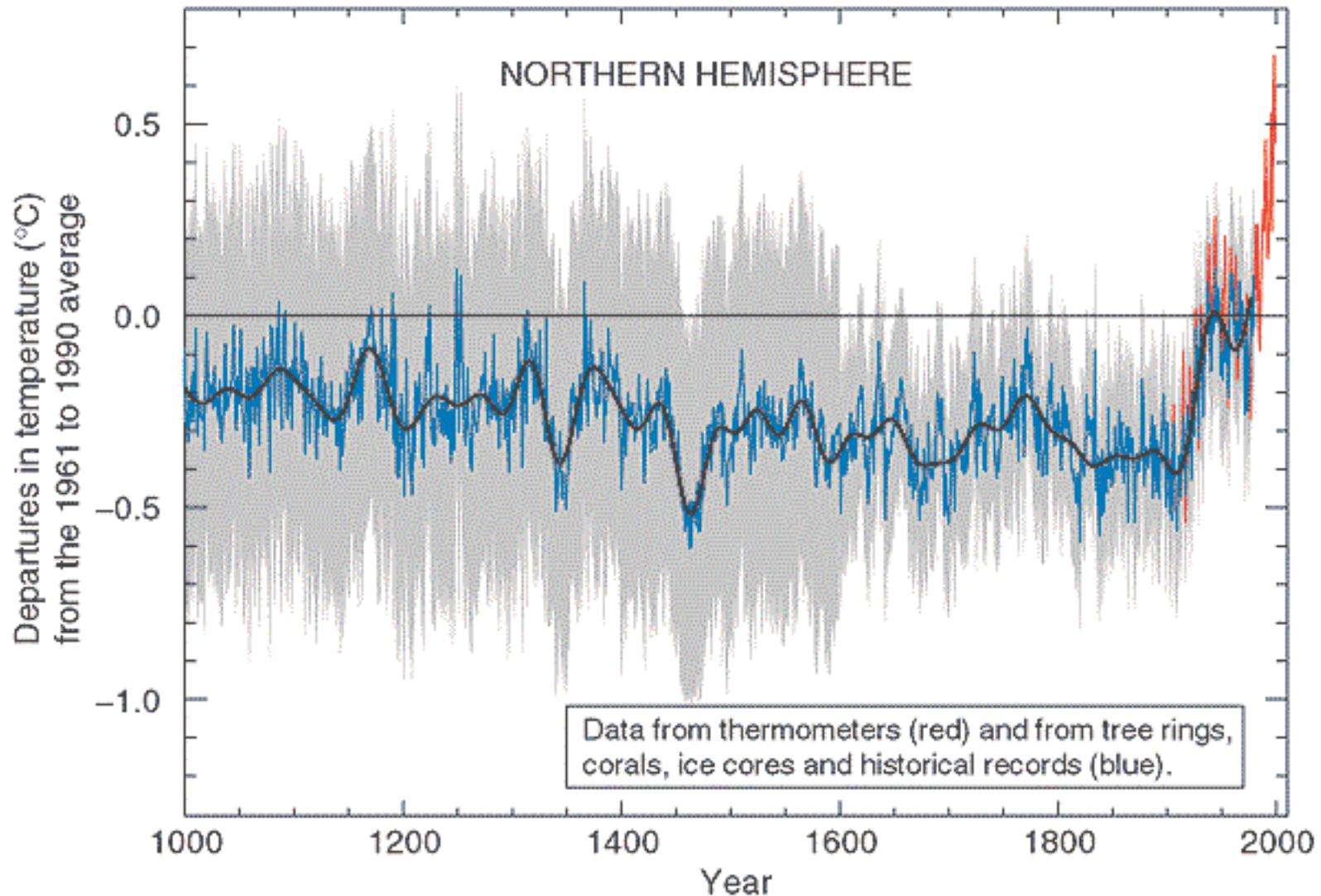
2013

Aujourd'hui, la réponse a un doublement du CO₂ dans les GCM "état de l'art" sont dans la gamme de 2.6-4.1°C, la plupart autour de 3°C. Empiriquement, nous pouvons estimé à 3.08±0.91°C.

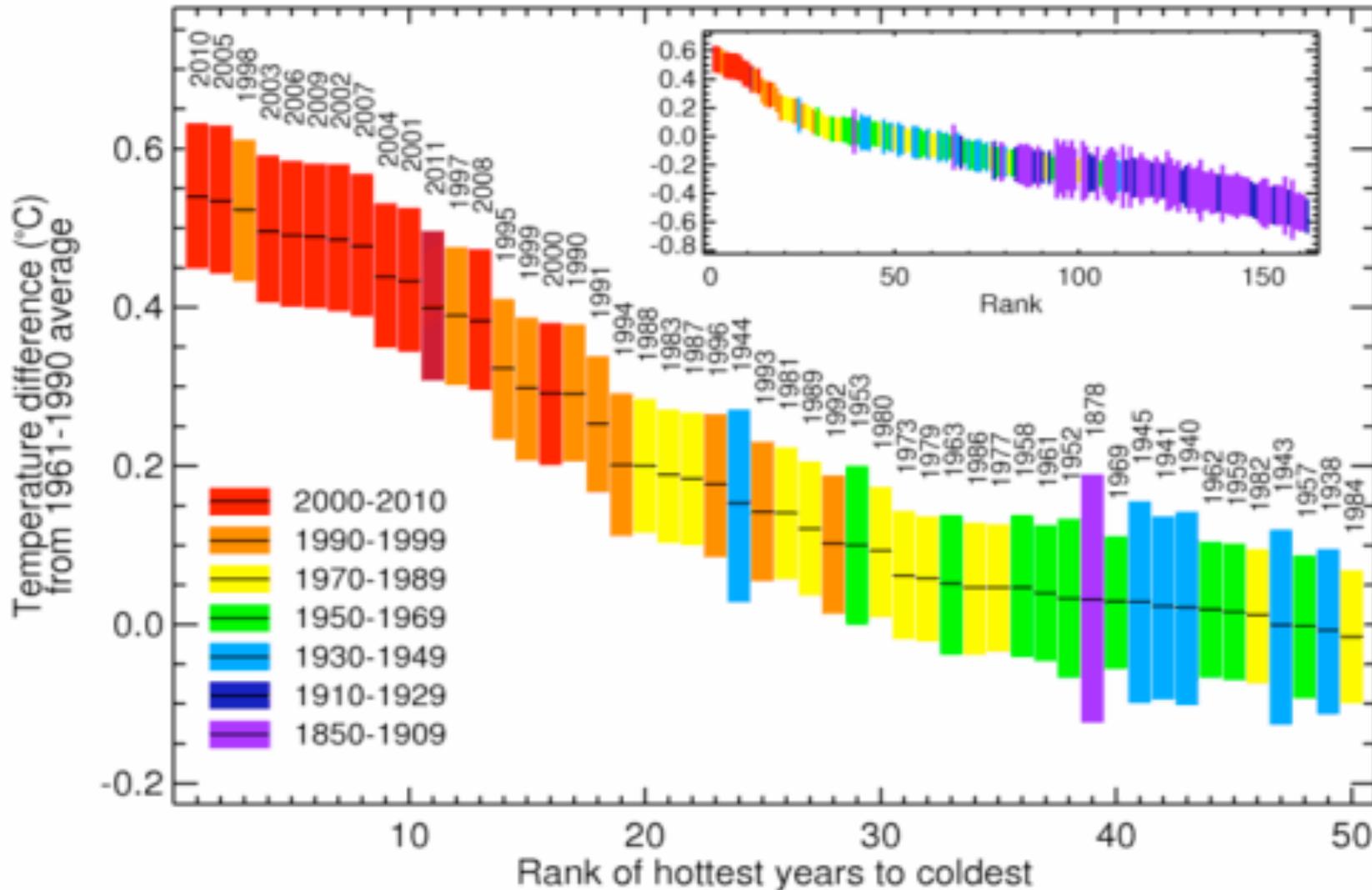
Les evidences du rechauffement

Le “bâton d’hockey”

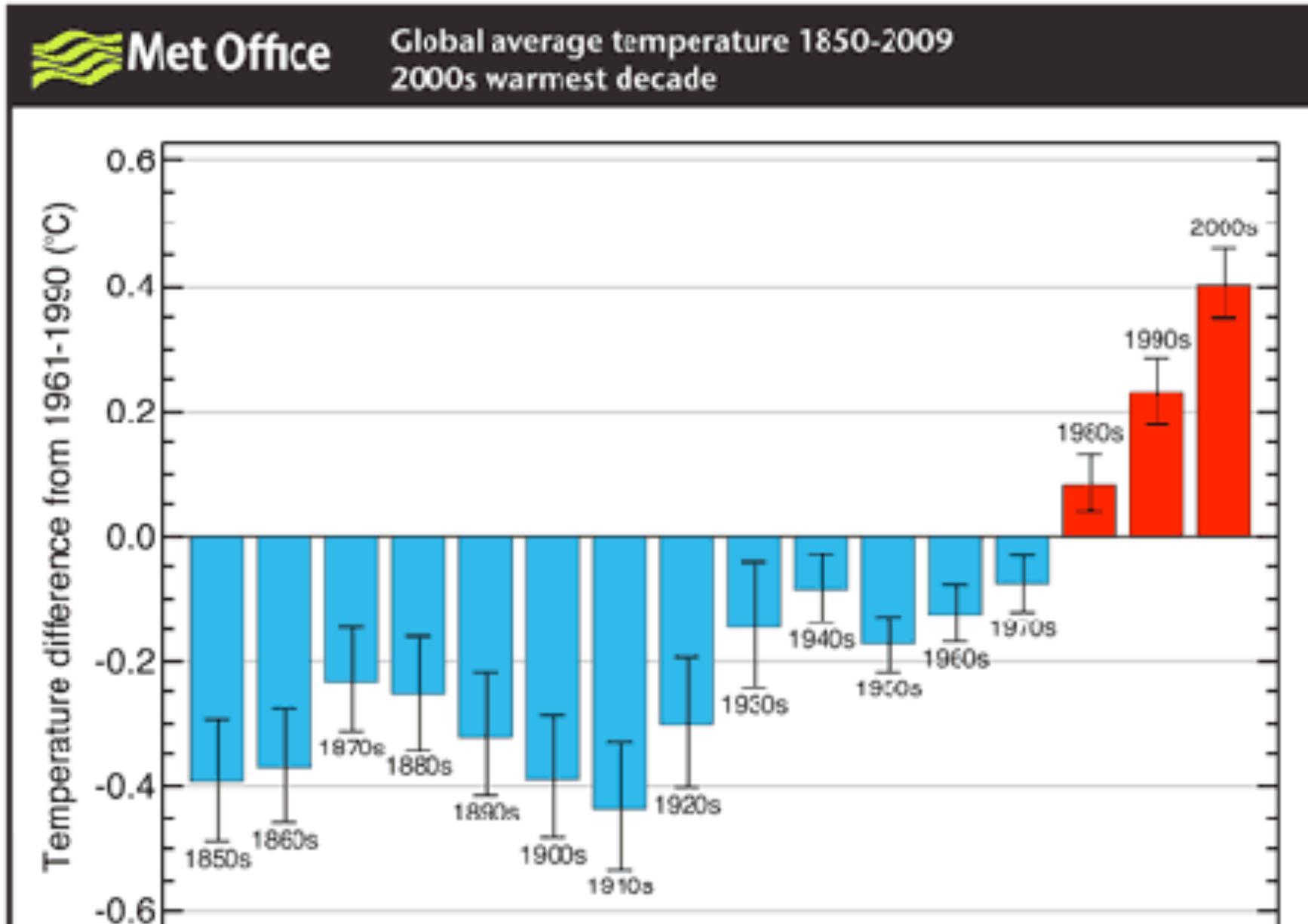
Mann, Bradley, Hughes 1998



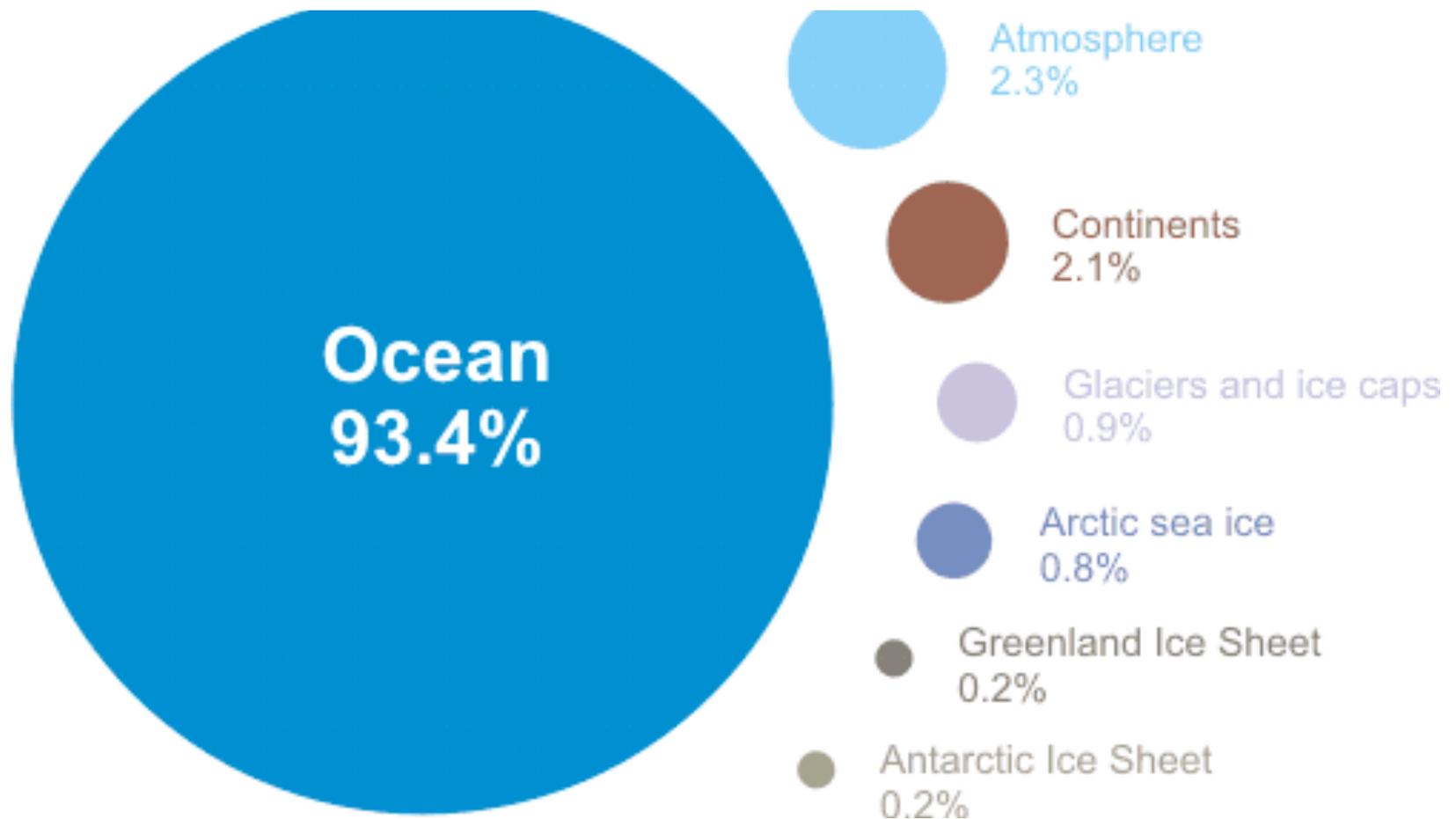
Classement des températures du plus chaud au plus froid ranking



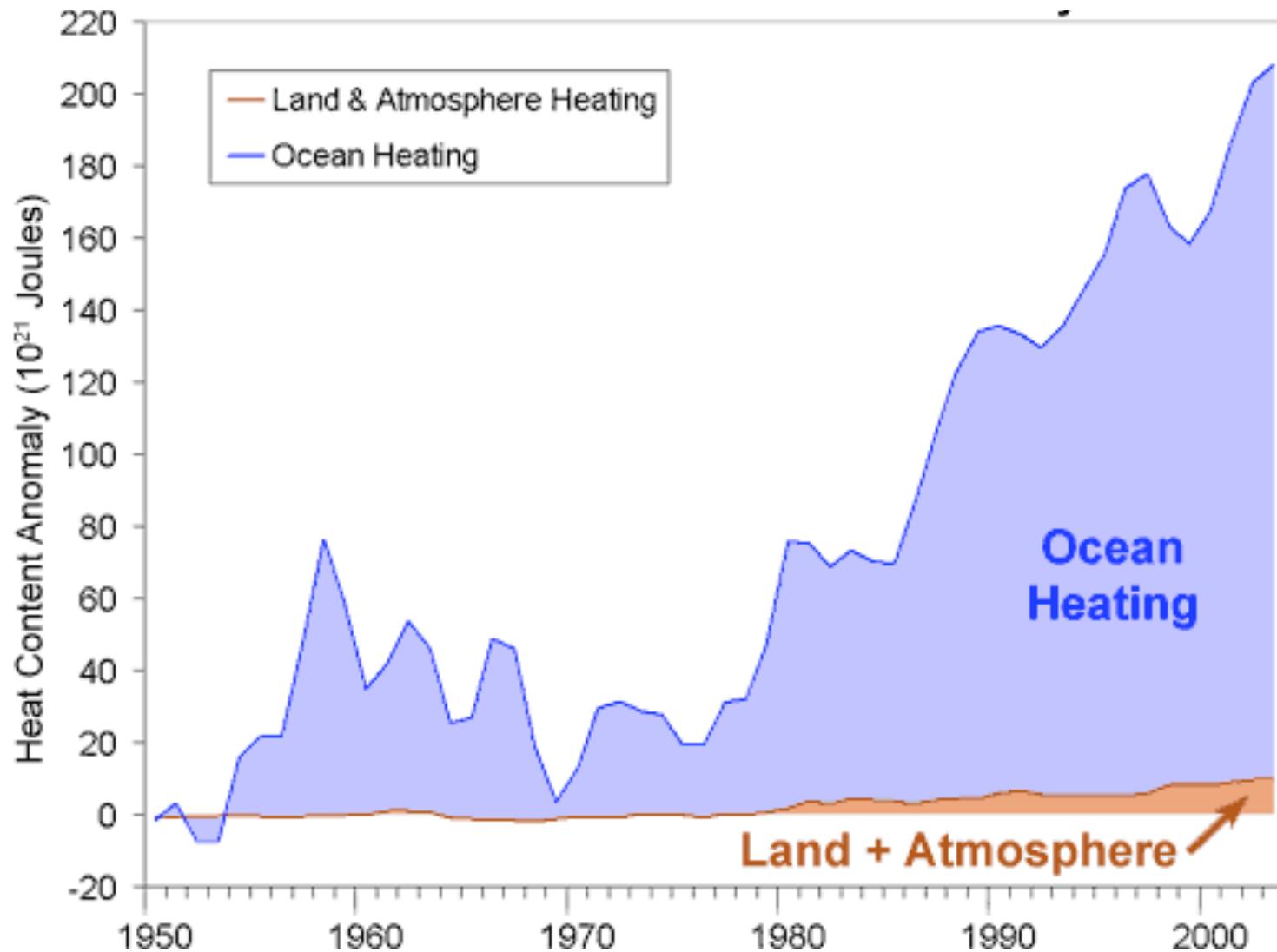
Temperatures: decade par decade



Où va le réchauffement?

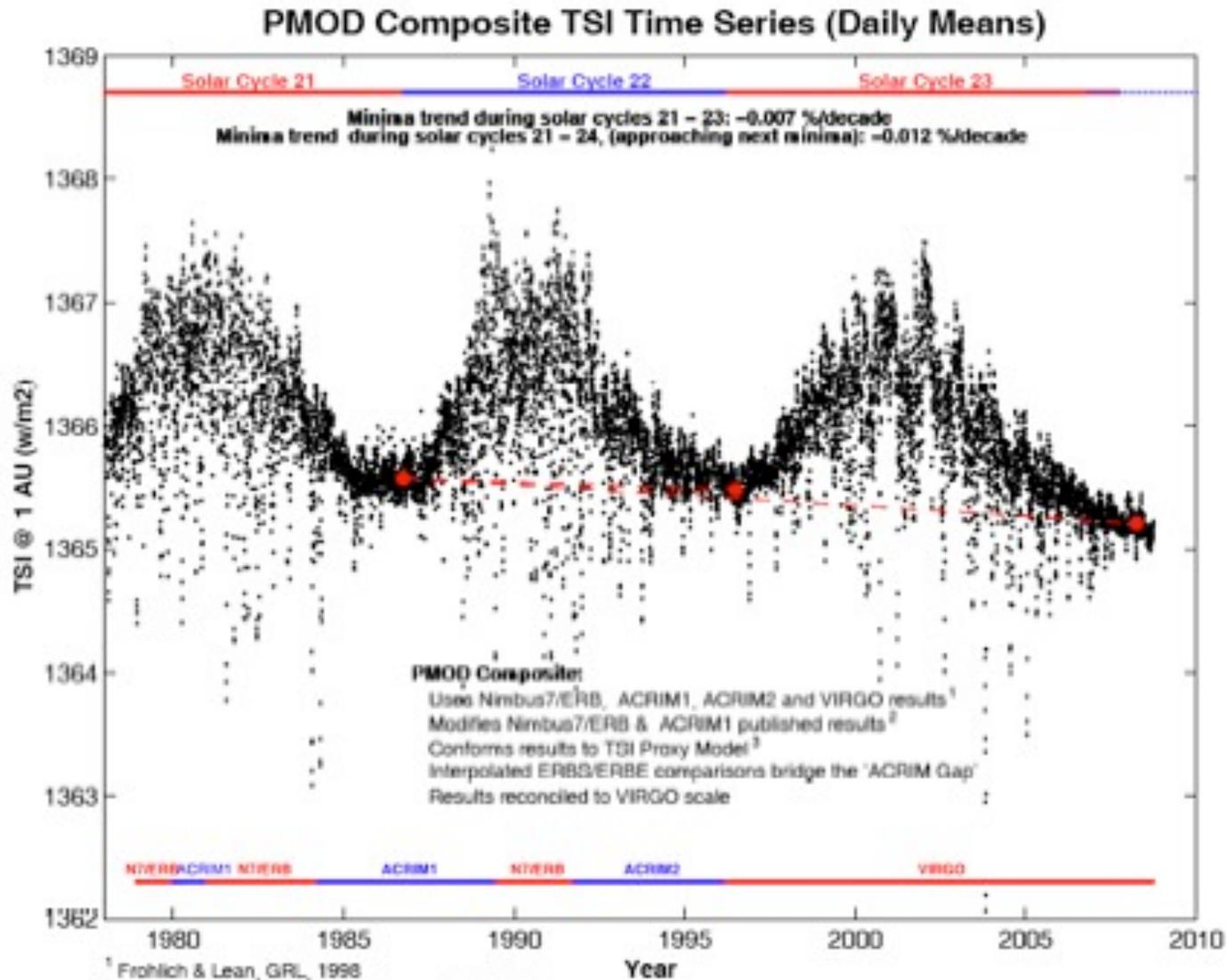


L'anomalie du contenu en chaleur



Ce n'est pas le soleil:

Le rayonnement solaire totale
(par satellite)



¹ Frohlich & Lean, GRL, 1998

² Frohlich, AGU Geophysical Monograph 141, 2004

³ Lean, Beer & Bradley GRL, 1995

rd in 2005^a

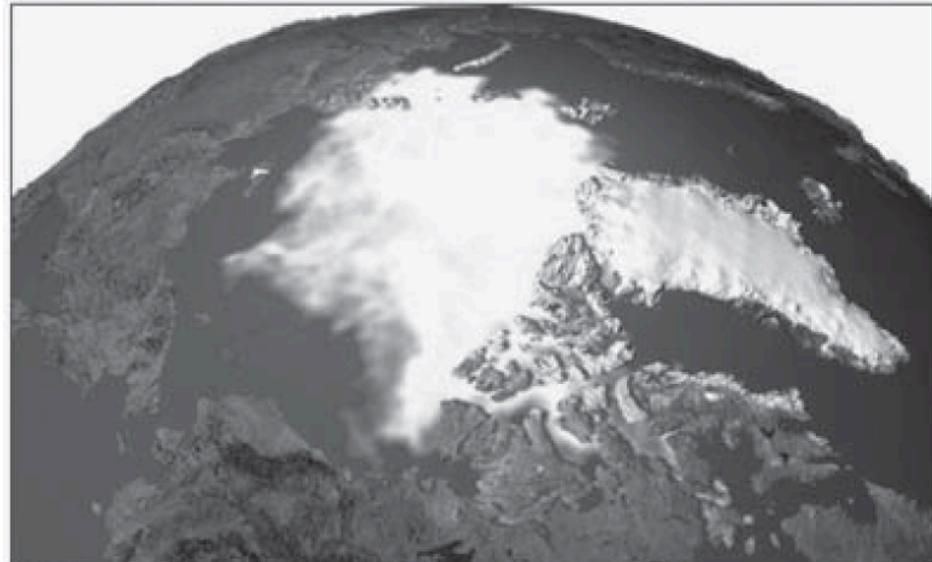
L'arctique

(fonte de la glace de mer)



1979

1979 SSMI Composite Data



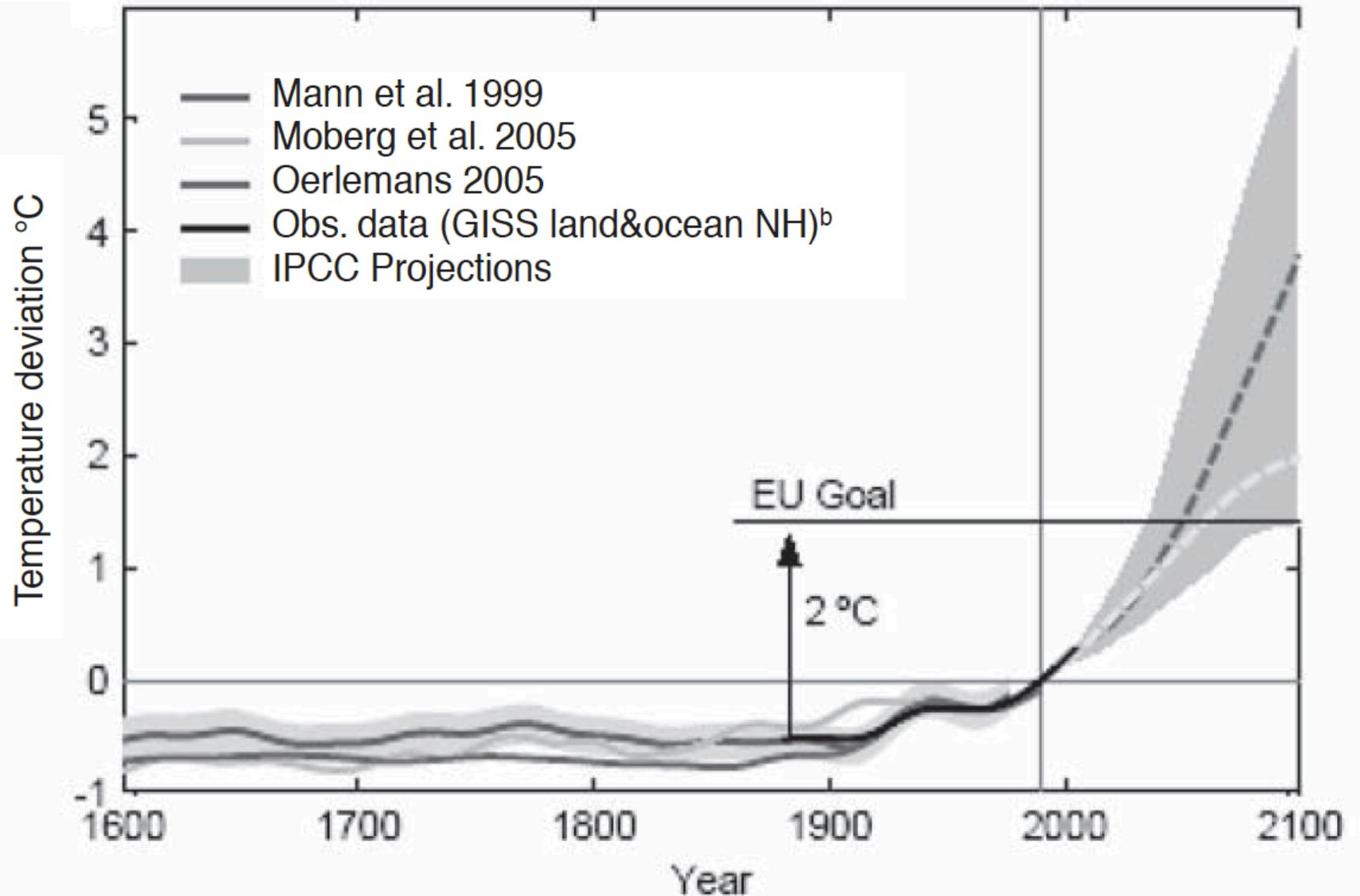
2005

Source: NASA (www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2005/arcticice_decline.html [May 2007]).

THE CLIMATE CHANGE CONNECTION 1070

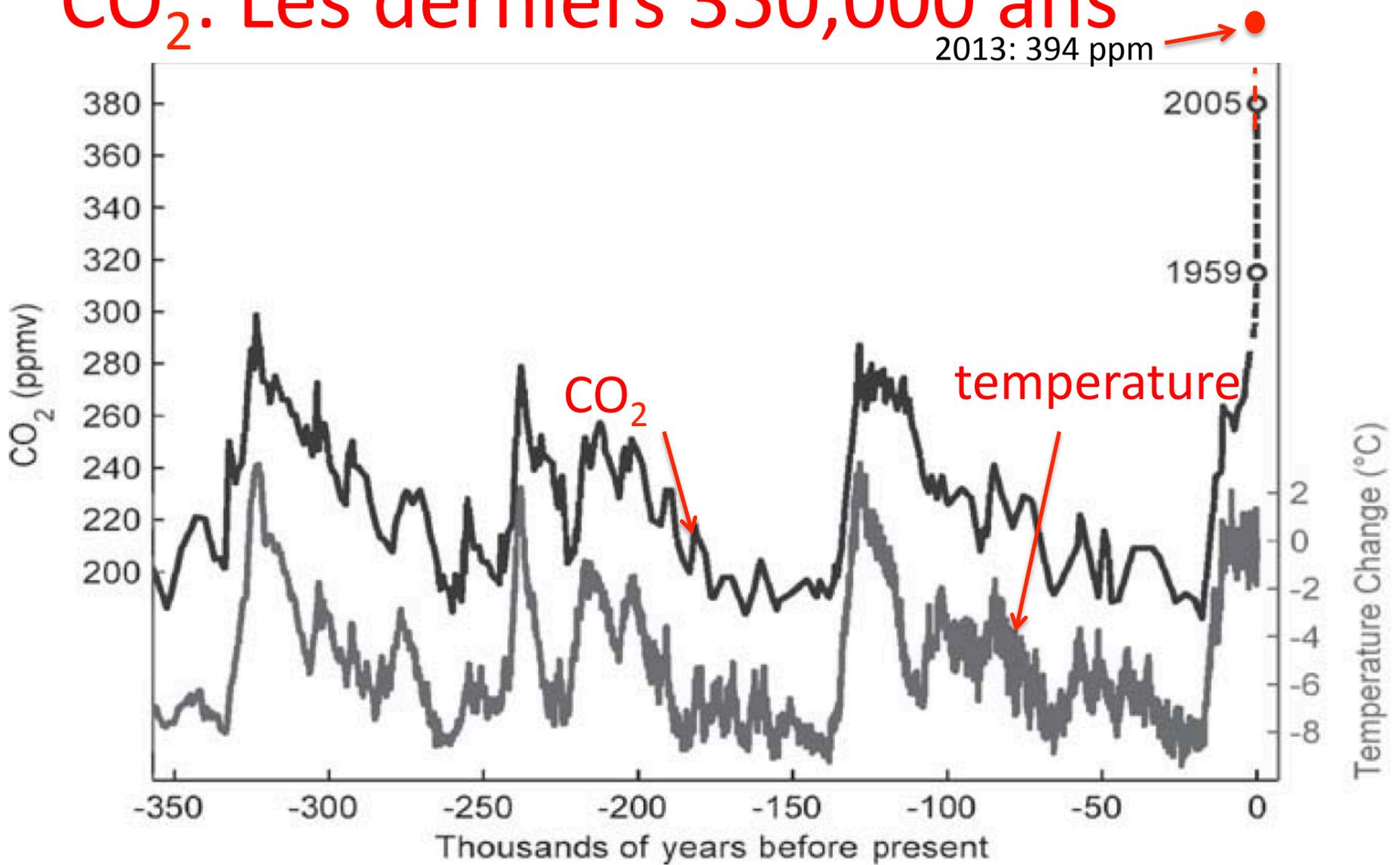
Le 21^{ème} siècle

Global Temperature Projections for the Twenty-First Century^a



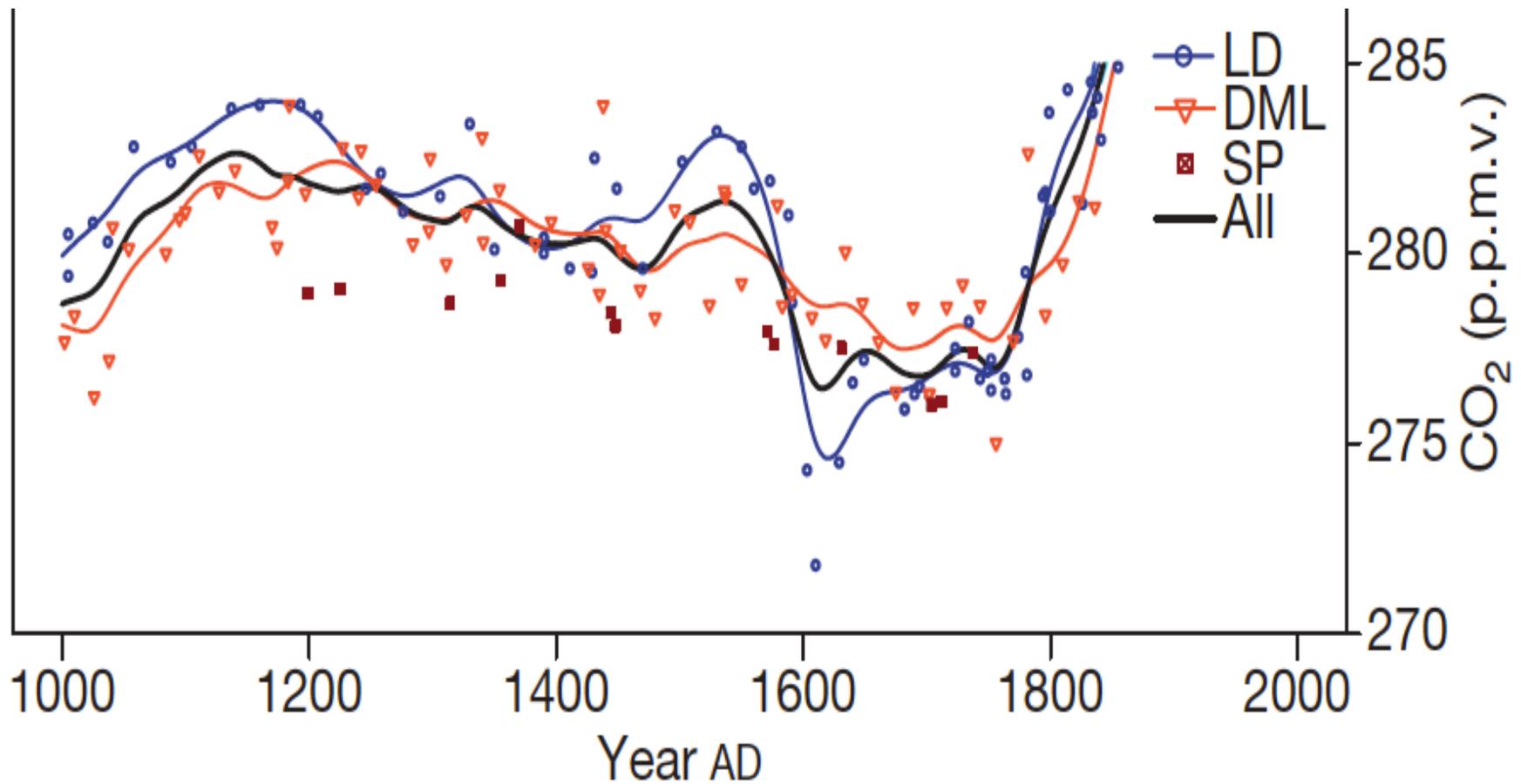
Une (nouvelle) argument simple
(sans GCM's)

CO₂: Les derniers 350,000 ans



Source: J. R. Petit and others, "Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica," *Nature* 399 (June 1999): 429–36.

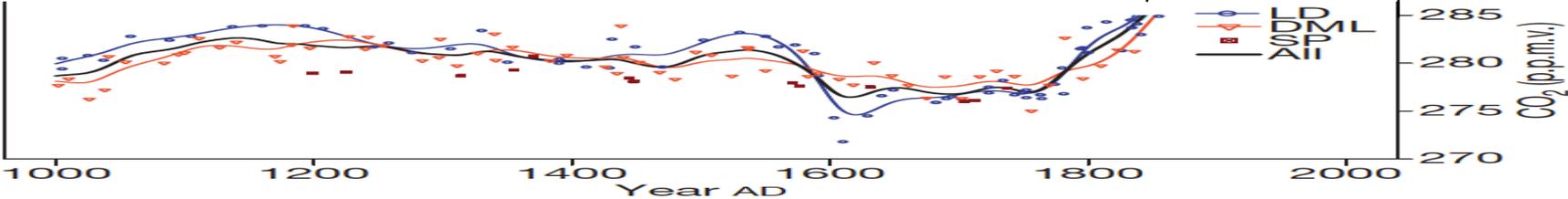
CO₂: Les derniers 1000 ans



Frank, D. C. *et al.* Ensemble reconstruction constraints on the global carbon cycle sensitivity to climate. *Nature* **463** (28) doi:doi:10.1038/nature08769 (2010).

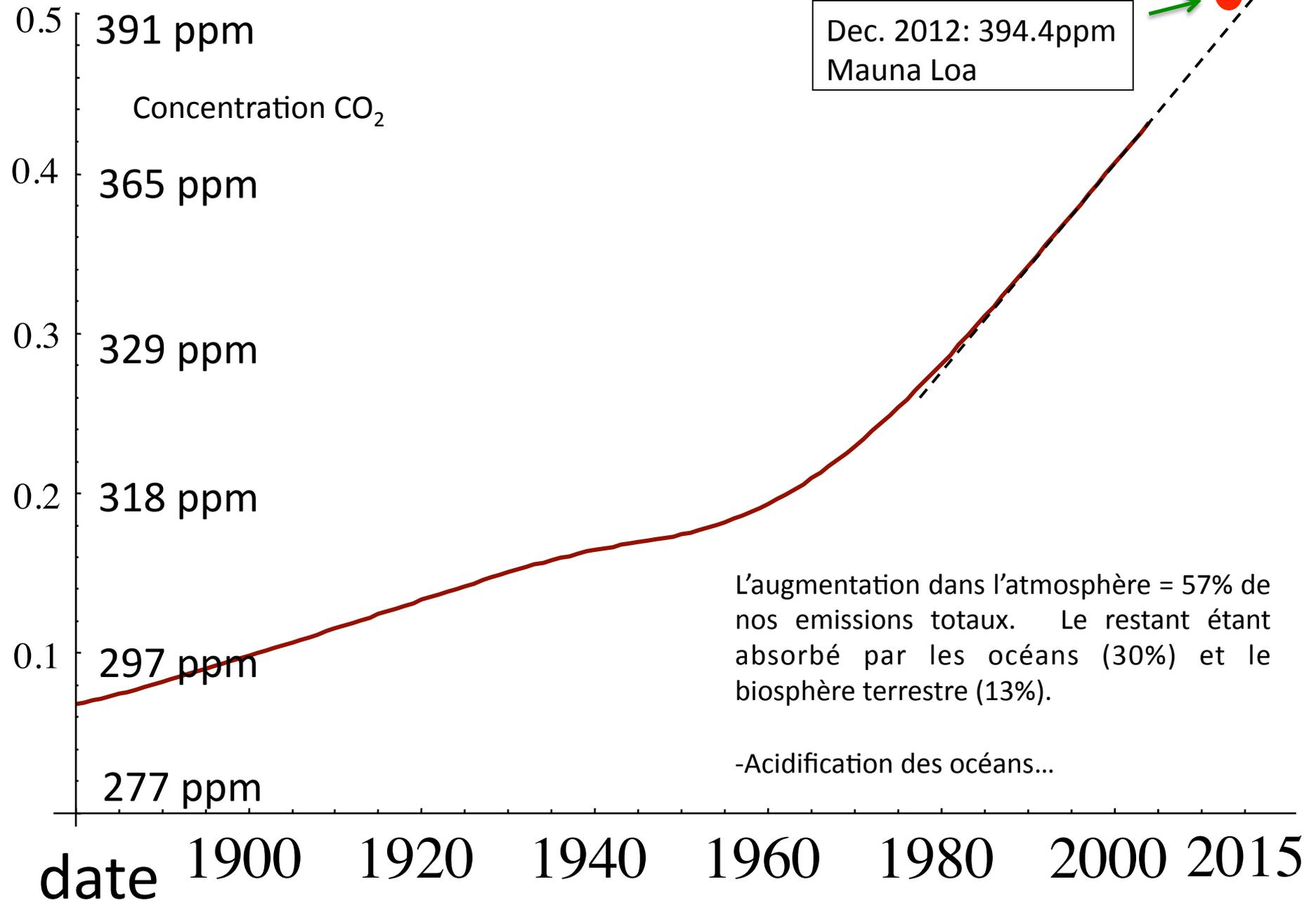
CO₂: Les derniers 1000 ans

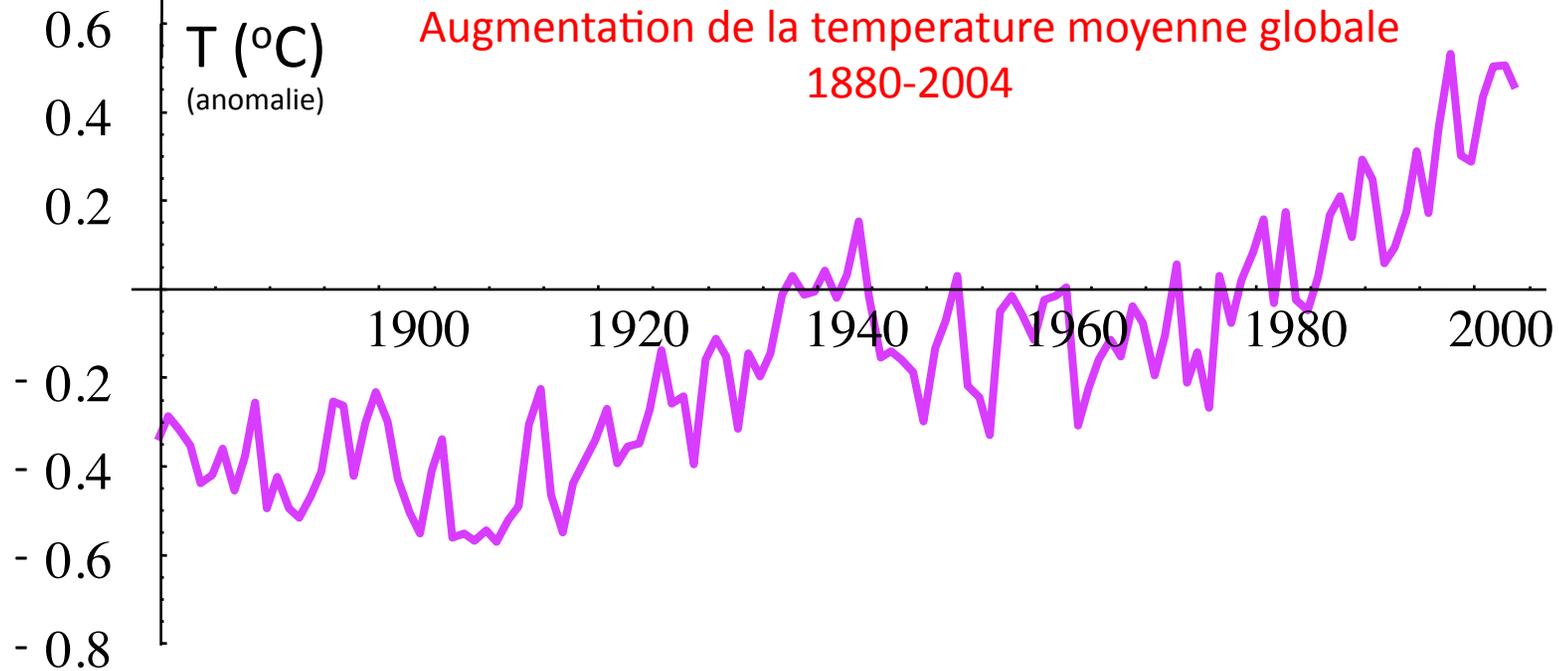
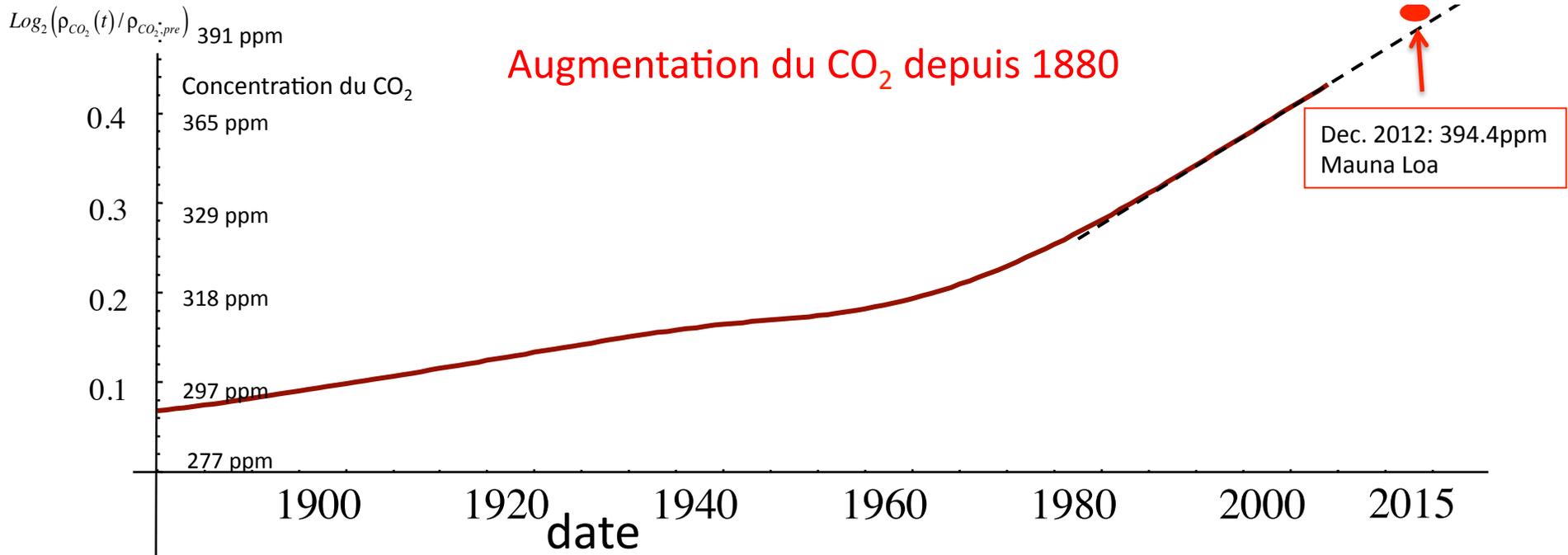
2012: 394 ppm



$$\text{Log}_2 \left(\rho_{\text{CO}_2}(t) / \rho_{\text{CO}_2,pre} \right)$$

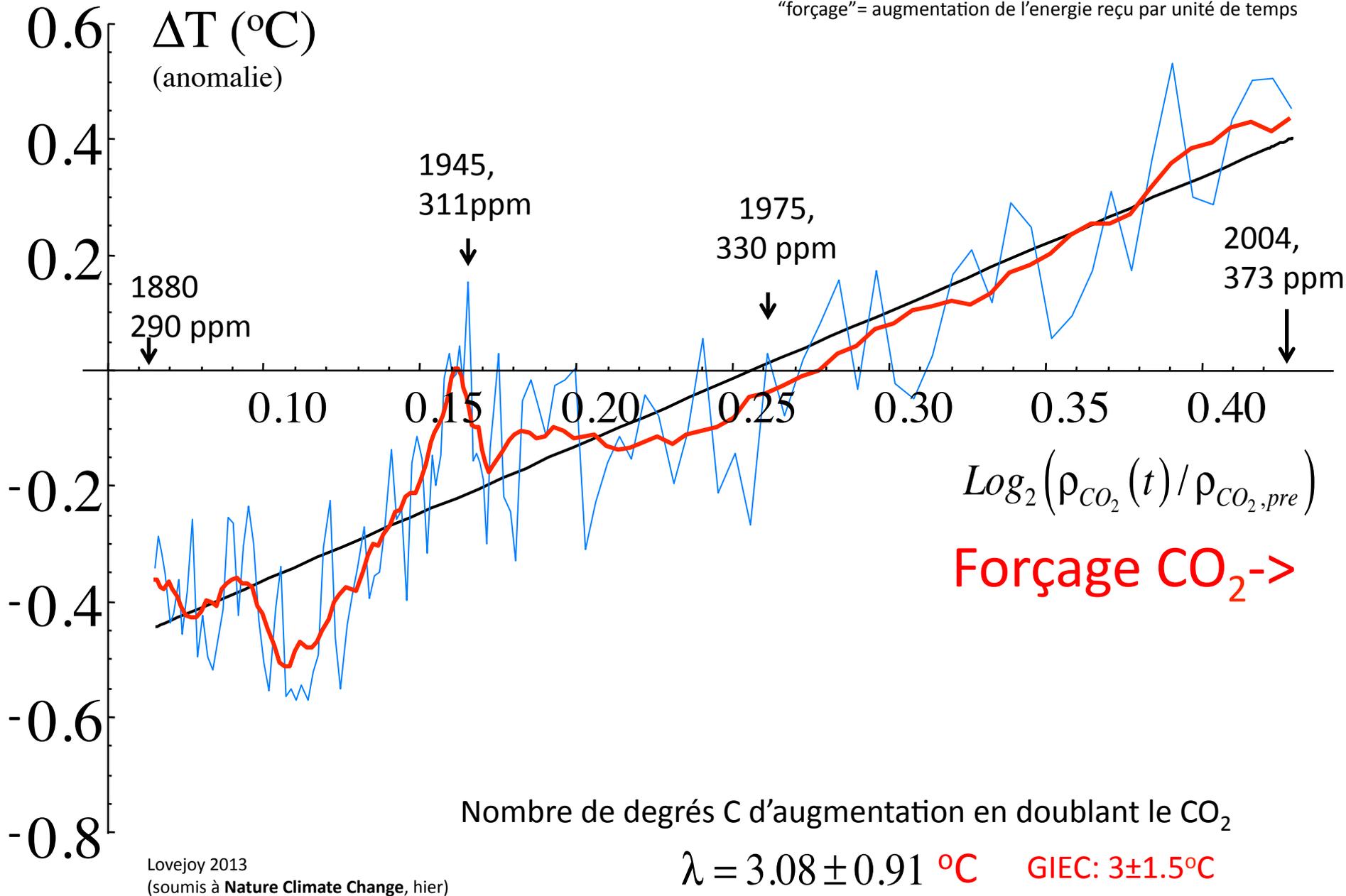
Augmentation du CO₂ depuis 1880



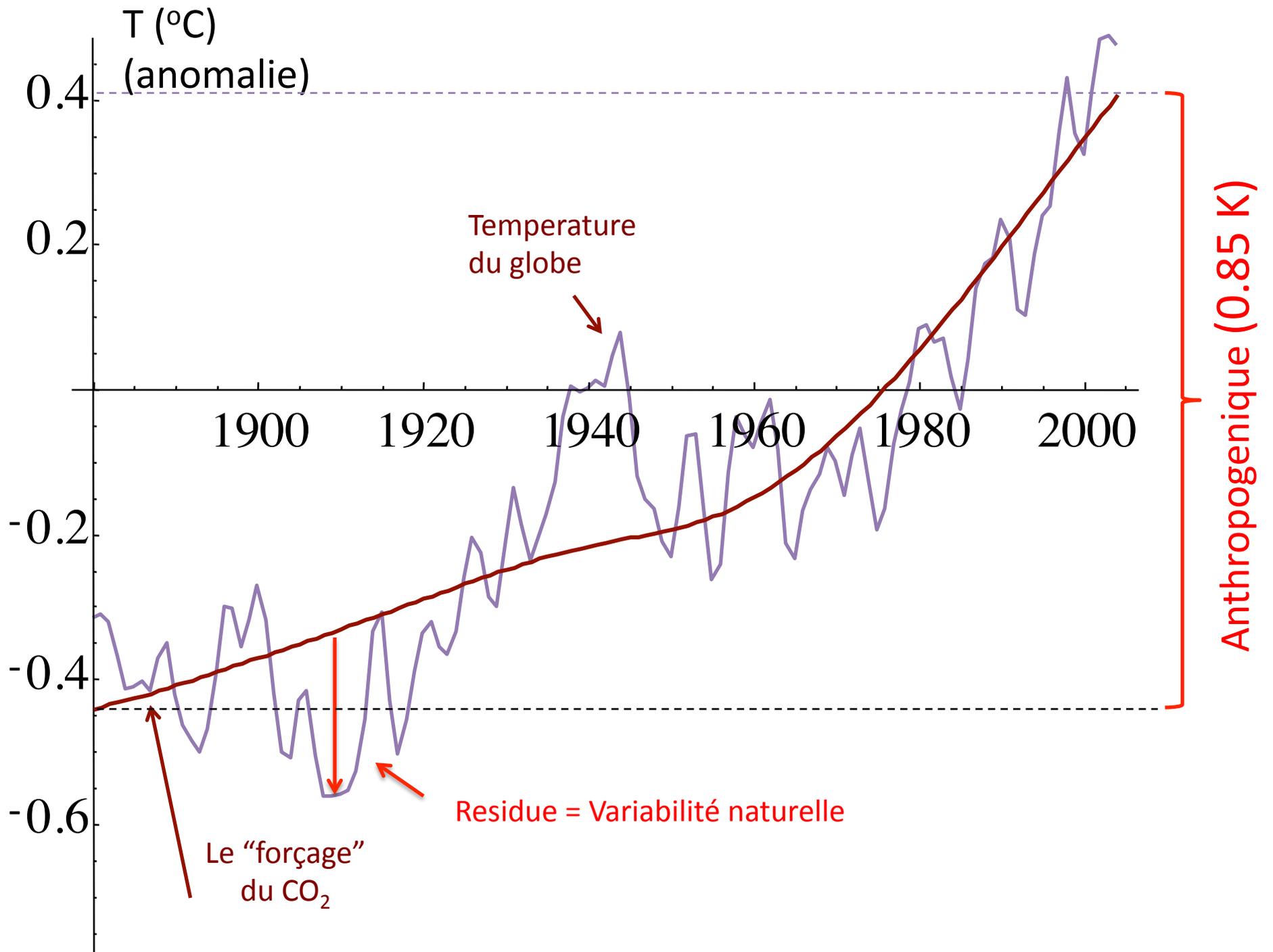


La Temperature est presque linéaire en fonction du forçage du CO₂

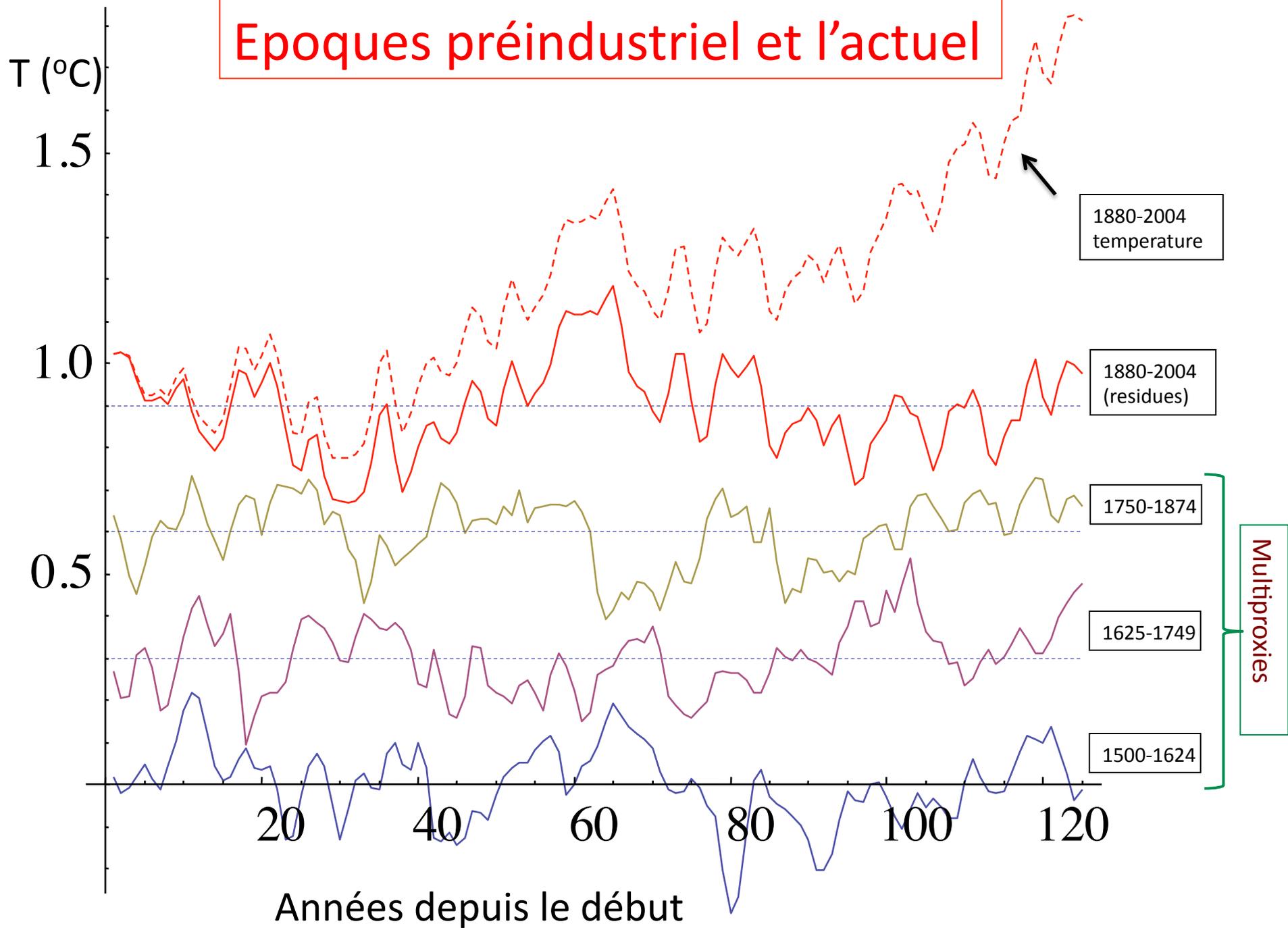
“forçage” = augmentation de l’énergie reçu par unité de temps



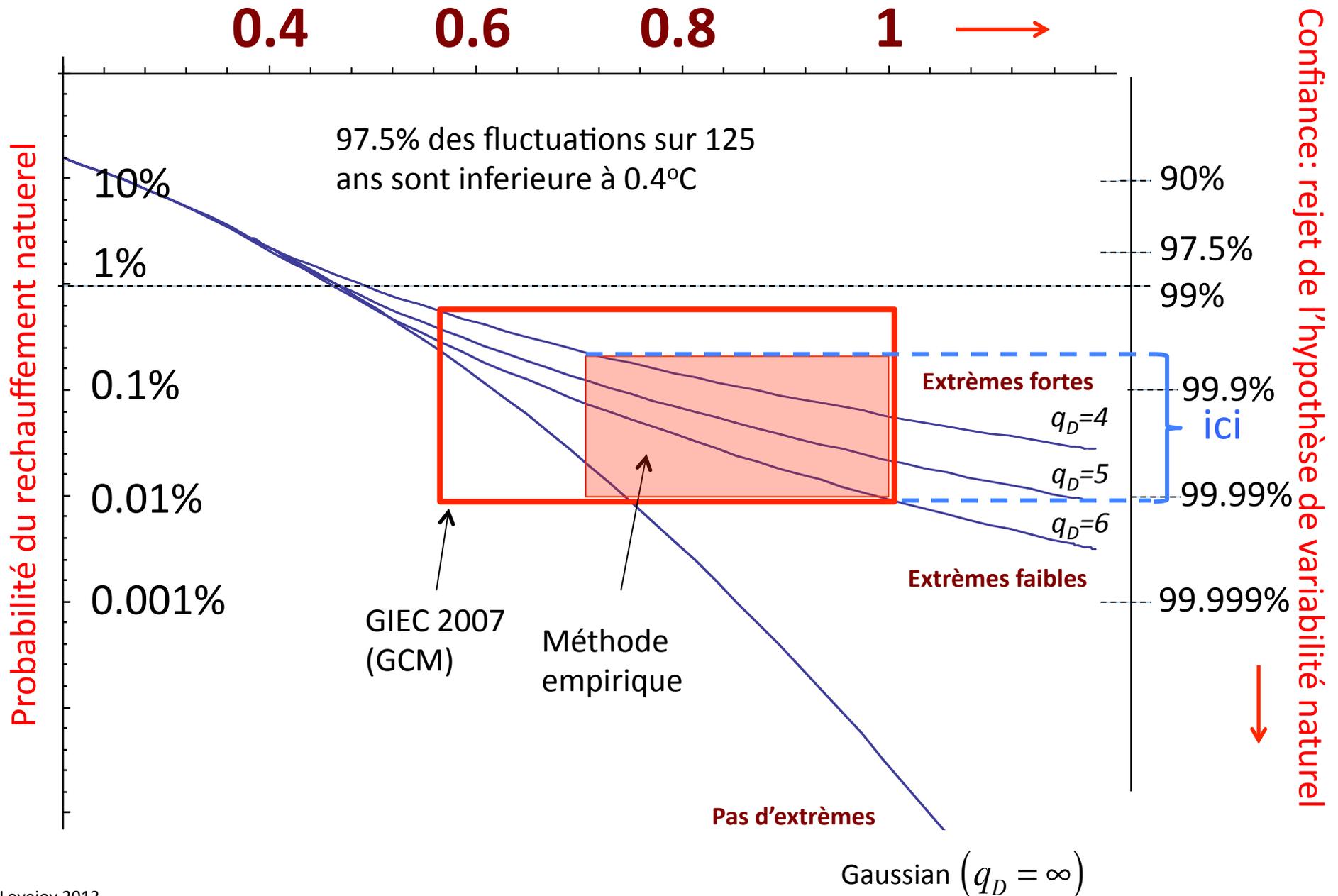
Lovejoy 2013
(soumis à Nature Climate Change, hier)



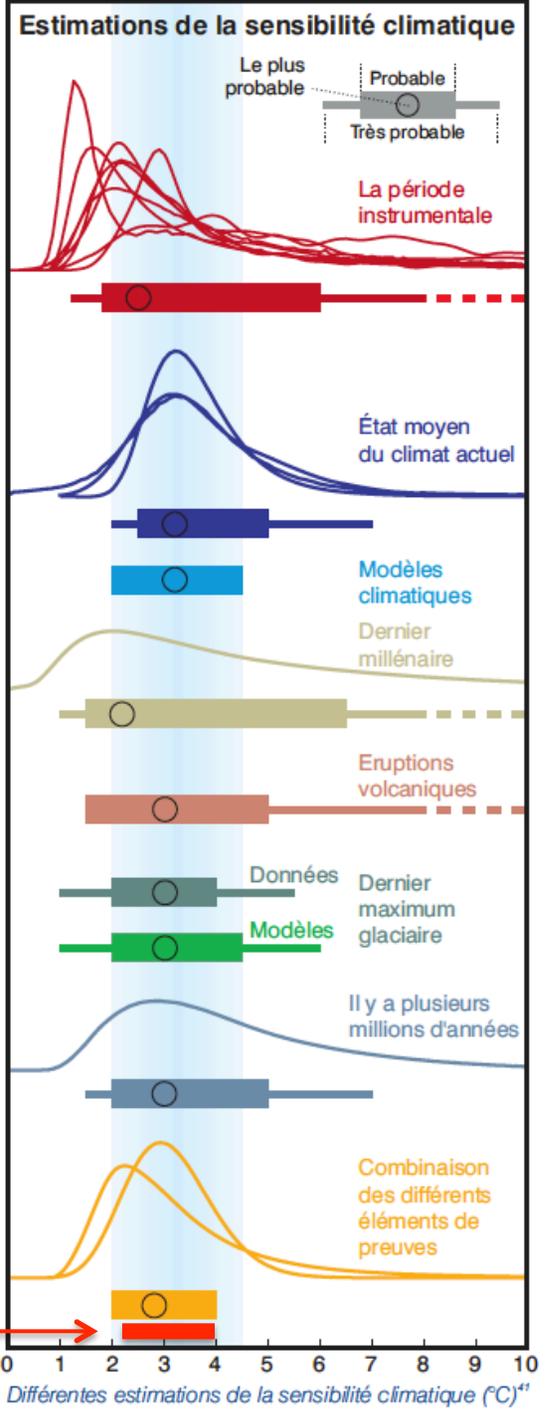
Epoques préindustriel et l'actuel



Rechauffement anthropogénique 1880-2004 (°C)



Divers estimations de l'augmentation de la température par doublement du CO₂



Notre démonstration simple
3.08 ± 0.91 °C

(Knutti et al 2008)

Quelques impacts du CO₂, du rechauffement (1)

Agriculture

Une augmentation du CO₂ peu accélérer la croissance des plantes, mais surtout dans le tropiques, les températures peuvent dépasser leurs limites. Bénéfiques au Québec: "le paradoxe de la biodiversité Nordique".

Santé

Conséquences directes:

-Des hivers plus chauds... mais des étés trop chauds ("îlots de chaleur"): estimation: 5x plus de morts causés par la chaleur que sont sauvés de la froidure.

-Conséquences indirectes:

la migration de maladies (ex. Paludisme) vers les latitudes plus élevées.

La fonte du calotte polaire (rechauffement plus rapide des zones polaires)

-L'ouverture du mer Arctique aurait des bienfaits commerciaux.

-Rétroactions dangereuses: moins de lumière réfléchi dans l'espace, donc plus d'absorption de chaleur, une possible relâche massive de méthane piégé dans le pergélisol fondant,

-La fonte de la glace sur terre (Groenland, Antarctique) causant une augmentation du niveau de la mer.

-Et les ours polaires (!).

Acidification des océans

Il n'y a pas de bienfaits de l'absorption du CO₂ par l'eau, ce qui augmente le pH (acidité) des océans et dissout le carbonate (CaCO₃) dans les coraux et d'autres espèces. Cela pourrait déstabiliser la chaîne alimentaire.

Impacts (2)

Les glaciers fondent

Plus de 60 millions de personnes dépendent sur l'eau douce venant des glaciers.

Le niveau de la mer

Il n'y a pas de bienfaits à l'augmentation du niveau de la mer. Plusieurs parties de la terre sont basses et pourront être affectées par des augmentations modérées. Certaines îles pourront disparaître. L'eau salée a des effets néfastes sur l'agriculture.

L'Environnement

Bienfaits:

- Des forêts pluviales plus vertes
- Des augmentations de végétation dans les hautes latitudes
- Augmentation du phytoplancton à certaines endroits.

Méfais:

- La croissance des zones océaniques à faible oxygène,
- L'augmentation des feux naturels, des zones atteintes de sécheresse,
- Un déclin global de phytoplancton, la disruption des chaînes alimentaires et l'extinction massive d'espèces.

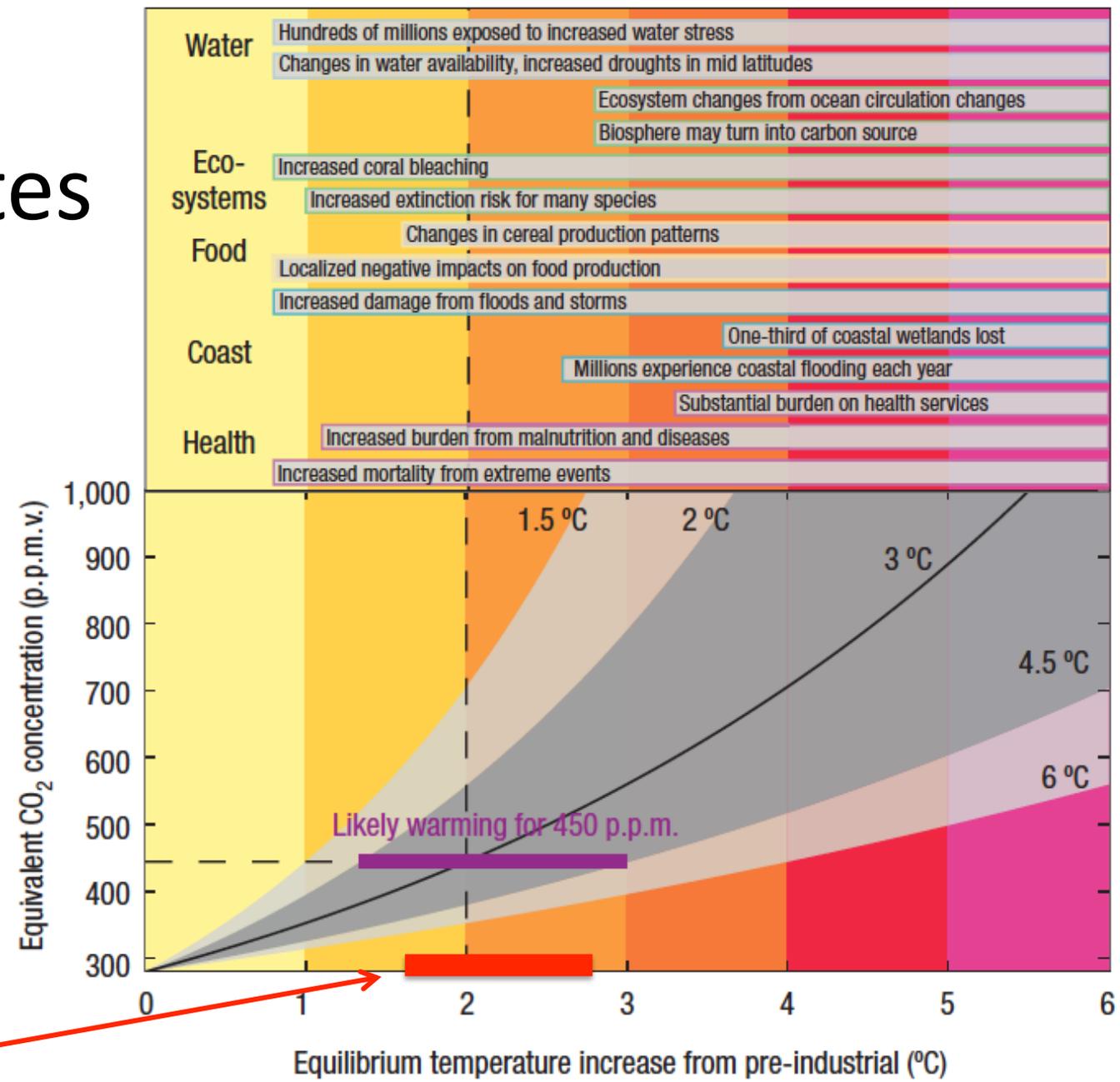
Economique

Les impacts peuvent être catastrophiques et peu de bienfaits ont été proposés. Il est généralement admis que les conséquences négatives seront surtout concentrées dans les pays sous-développés.

A prévoir:

- les disruptions du commerce mondial, du transport, des sources d'énergie et des marchés du travail.
- Des conflits autour des sources d'eau, l'énergie ou nourriture.

Les impacts (3)



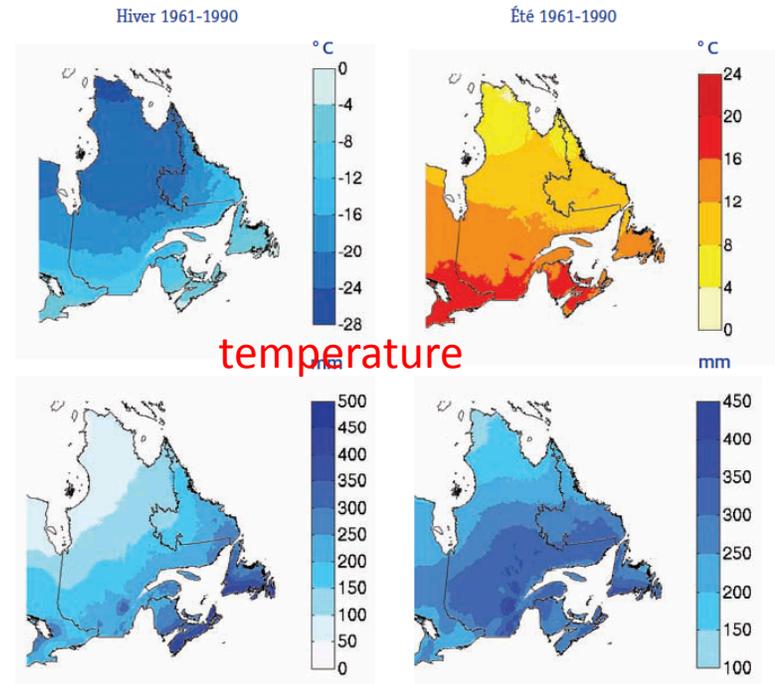
Notre méthode simple:
doublement du CO₂:
3.08±0.91 °C

Pour 450 ppm:
2.2±0.6 °C
(0.6±0.2 °C de plus qu'en
2013)

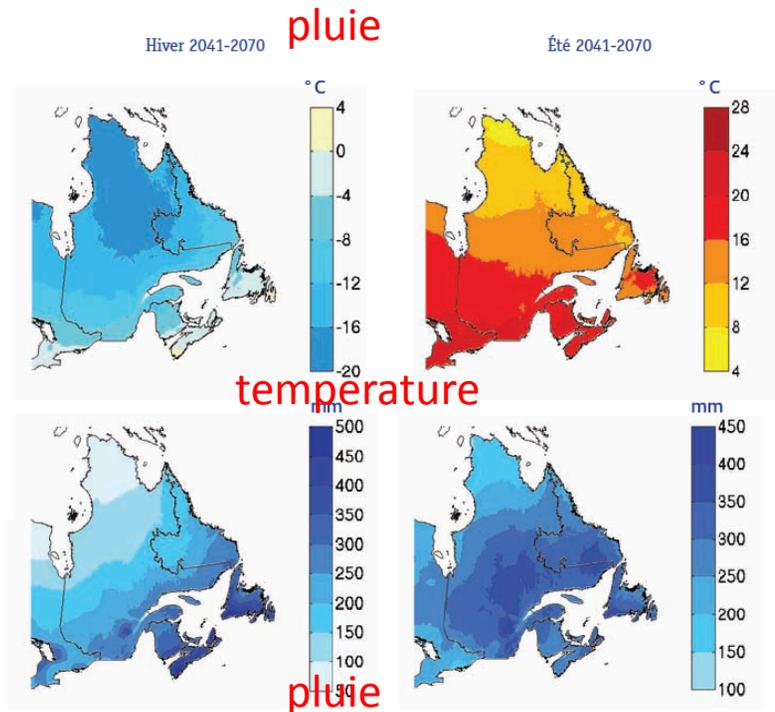
Quelques consequences pour le Quebec

OURANOS
<http://www.ouranos.ca/fr/default.php>

1960-1990



2041-2070



Au Quebec (1)

1. Déjà plusieurs changements du climat récent peuvent être observés.

- Dernières décennies: les températures journalières moyennes dans le sud du Québec ont augmenté de 0,2 à 0,4 °C par décennie, le réchauffement étant plus important pour les températures minimales que maximales.
- Raccourcissement de la saison de gel,
- L'augmentation du nombre de degrés-jours de croissance
- Diminution du nombre de degrés-jours de chauffage.
- Augmentation du nombre de jours avec précipitations de faible intensité.

2. Des changements attendus plus marqués en hiver et au nord.

3. les changements climatiques affecteront directement les infrastructures de toutes les régions du québec

- Pergélisol,
- L'érosion des berges,
- Événements climatiques extrêmes

Quebec (2)

4. Plusieurs activités économiques subiront les effets directs des changements climatiques, avec des conséquences à la fois positives et négatives.

Touchées:

-L'exploitation forestière, la production hydroélectrique, l'agriculture, le tourisme

Effets négatifs:

-Épidémies de ravageurs, feux de forêt, étiages

-Effets positifs: augmentation du potentiel hydroélectrique, une demande réduite d'énergie de chauffage et des gains de productivité végétale.

5. les changements climatiques représentent un défi pour la santé humaine

-vagues de chaleur et des îlots thermiques urbains

-pollution atmosphérique

-feux de forêt ou de friche

-tempêtes estivales et hivernales et de l'exposition aux rayons ultraviolets (UV),

-ressources hydriques

-maladies zoonotiques

Quebec (3)

6. Certains écosystèmes sont davantage vulnérables.

-La région Arctique sera possiblement la plus touchée

-Les changements climatiques vont venir s'ajouter aux autres pressions exercées par les activités humaines sur les écosystèmes et la biodiversité.

7. l'adaptation aux changements climatiques permet d'envisager de nombreuses solutions afin d'en atténuer substantiellement les impacts négatifs.

Quelques raisons légitimes de climato-scepticisme

(valable jusqu'à 2005 au plus)

- 1. Les modèles sont grossiers, ne sont pas prouvés, n'ont pas été validés.
- 2. Les observations historiques démontrant le réchauffement ne sont pas fiables.
- 3. D'autres données contredisent le réchauffement.
- 4. Même si la terre se réchauffe, ça pourrait être à cause de facteurs naturels.

1. Les modèles sont grossiers, ne sont pas prouvés, n'ont pas été validés.

Il est vrai qu'il manquait (jusqu'à récemment!) une démonstration simple du réchauffement anthropogénique, indépendante de ces modèles très complexes.

Cependant, aujourd'hui les modèles ont été beaucoup validés par la méthode du "hindcasting" (retro-prévision) où nous utilisons des données du passé pour prévoir l'évolution historique. Il en sort qu'un de leurs points les plus forts, c'est exactement de pouvoir reproduire les effets des émissions, le réchauffement.

2. Les observations

L'effet "d'îlot de chaleur": que les emplacement des thermometres étaient devenue progressivement biaisé par le development des villes aux alentours.

Ca pourrait être contrecarré par l'effet "parc" que les emplacements urbains étaient davantage dans les parcs plutôt frais.

Par 2007, suffisamment d'études ont étaient fait ce propos pour conclure que le bias de la temperature globale étaient $<0.005^{\circ}\text{C}$.

3. D'autres données contredisent le réchauffement

Il s'agit d'une conclusion hâtive d'une analyse de données satellites (en micro-ondes) de J. Christy et R. Spencer au début des années 1990.

Par 2005, quatre erreurs distinctes ont été identifiées dans leurs analyses – des erreurs de signes, un manque de prise en compte de la dégradation des orbites, des erreurs de calibration entre satellites différents de la même série, et une contamination de leurs estimations par la température de la stratosphère.

Aujourd'hui l'analyse de ces données montre plutôt un réchauffement.

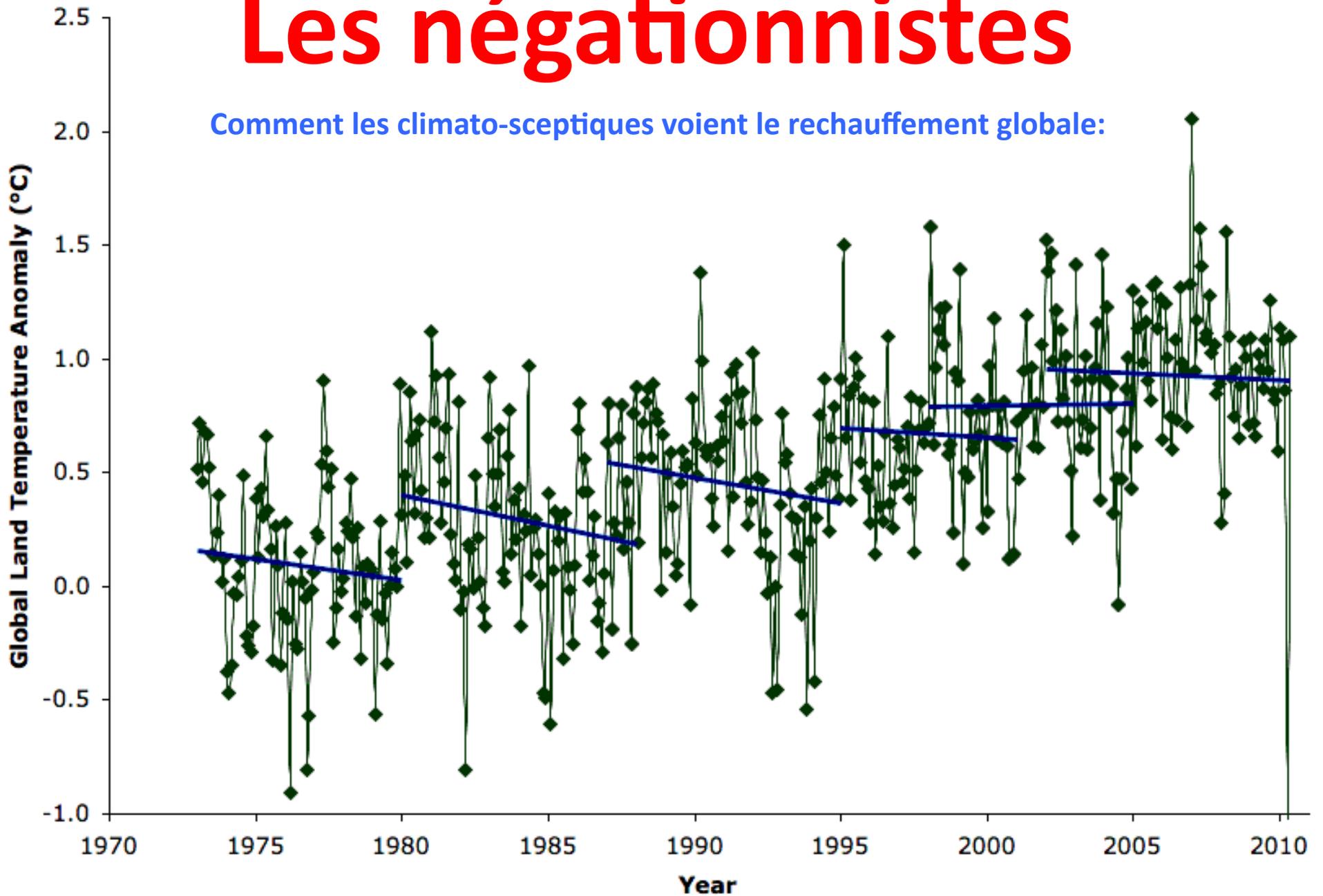
4. Variabilité naturelle

Le “bâton de hockey” démontre que le réchauffement est particulièrement fort et rapide.

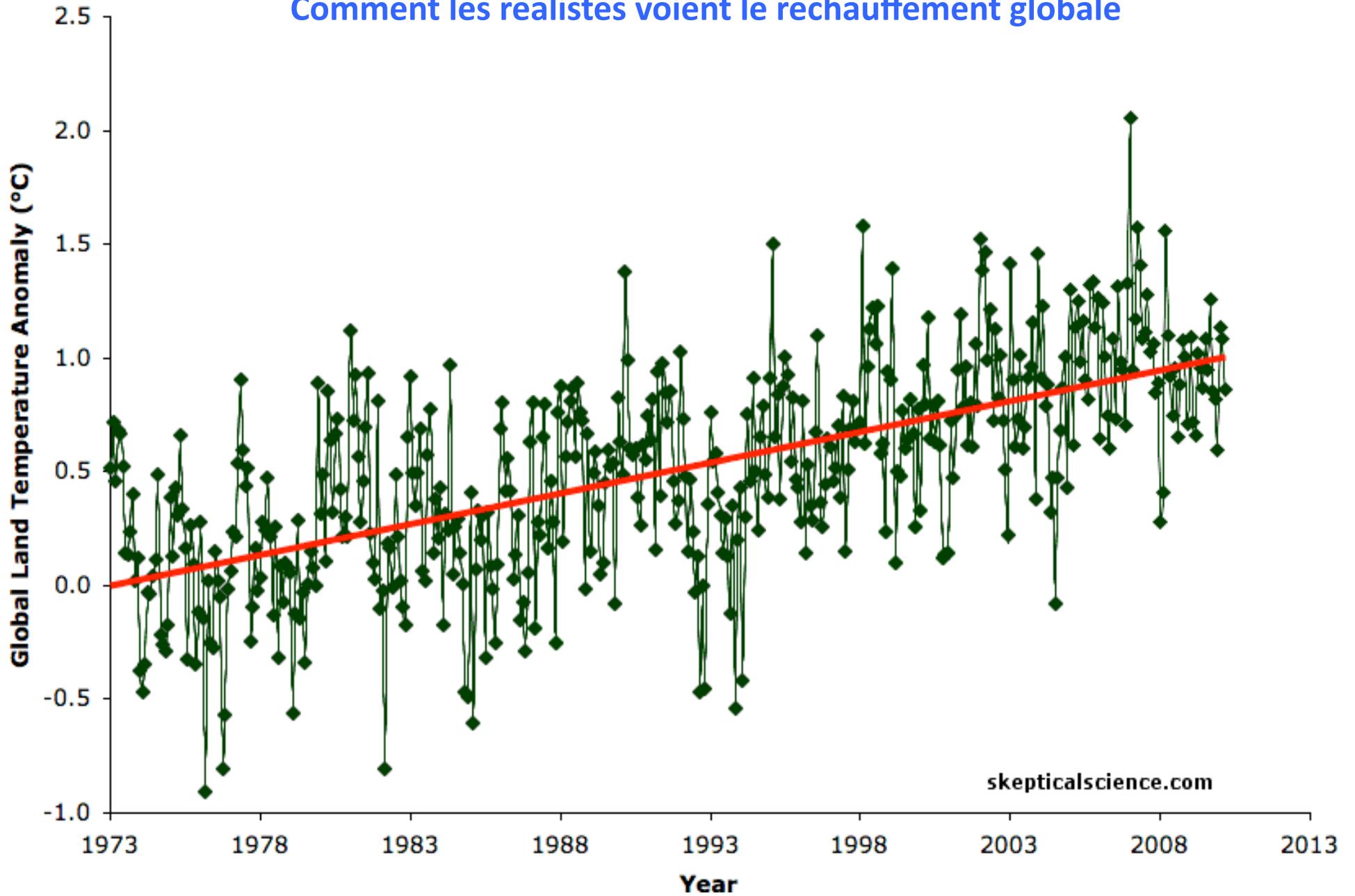
L'analyse précédente démontre que c'est très improbable (<1% de probabilité) que ça soit causé par la variabilité naturelle.

Les négationnistes

Comment les climato-sceptiques voient le réchauffement globale:



Comment les realistes voient le rechauffement globale



Le scepticisme illegitime: Les Négationnistes (1)

Quelques exemples venant de fuites au medias...

En Avril 1998, l'Institut Marshall, Le Science and Environmental Policy Project, et ExxonMobil ont lancé une campagne de \$20 million pour:

- Trouver des "scientifiques réputés" qui sémeront de la doute par rapport au rechauffement anthropogénique.
- Partir une campagne de publicité autour de l'idée que le rechauffement n'est ni réel ni menaçant.
- Pour faire du lobbying au congrès au Etats Unis dans ce sens.

En 2007, l'American Enterprise Institute (subventionner surtout par l'industrie pétrolière) :

À offert \$10,000 + dépenses de voyages a des scientifiques qui dénigreront par écrit le rapport du GIEC.

En 2012, l'Institut Heartland:

- À subventionné la littérature négationniste:
 - payé un certain nombre de personnes actives sur internet pour affirmer des opinions *climatosceptiques*,
 - payé des scientifiques pour rédiger des rapports soumis à des décideurs, ou publics, en affirmant de telles opinions.
- Commencer une campagne pour inciter les écoles d'enseigner leur propagande à la place de la science du climat.

Le scepticisme illegitime: Les Négationnistes (2)

Les mêmes tactiques qu'utilise l'industrie du tabac, des créationnistes et les négationnistes du holocauste

- De "miner" les citations: de soutenir leur position par la citation hors contexte des courtes phrases de scientifiques réputés.
- D'amplifié les désaccords mineurs dans la communauté scientifique pour ridiculiser les scientifiques.
- De monté en épingle des petites erreurs d'individus pour mettre en question la fiabilité de l'entreprise scientifique entière.

D' autres indices d'illégitimités

- Les listes de membres des groupes créationnistes et climato-sceptiques ont beaucoup de chevauchement.
- Leurs dogmes anti-scientifiques trouvent expression dans les mêmes médias:aux Etats Unis: Fox News, Glenn Beck, Rush Limbaugh. De plus en plus créationisme et climato-scepticisme font même combat.

Les conséquences politiques

“..à cause des incertitudes profondes surtout par rapport au cycle hydraulique, nous ne pouvons toujours pas exclure la possibilité que le changement du climat anthropogène serait catastrophique pour l’humanité pendant 21^{ème} siècle - ou plutôt quelque chose auquel nous pouvons facilement s’accommoder...”

-- T. Palmer Président de la Société Royale, 2012

“...due to profound uncertainties, primarily with the hydrological cycle, we are still unable to rule out the possibility that anthropogenic climate change will be catastrophic for humanity over the coming century, or something to which we can adapt relatively easily...”

Base materiel des croyances à propos du climat

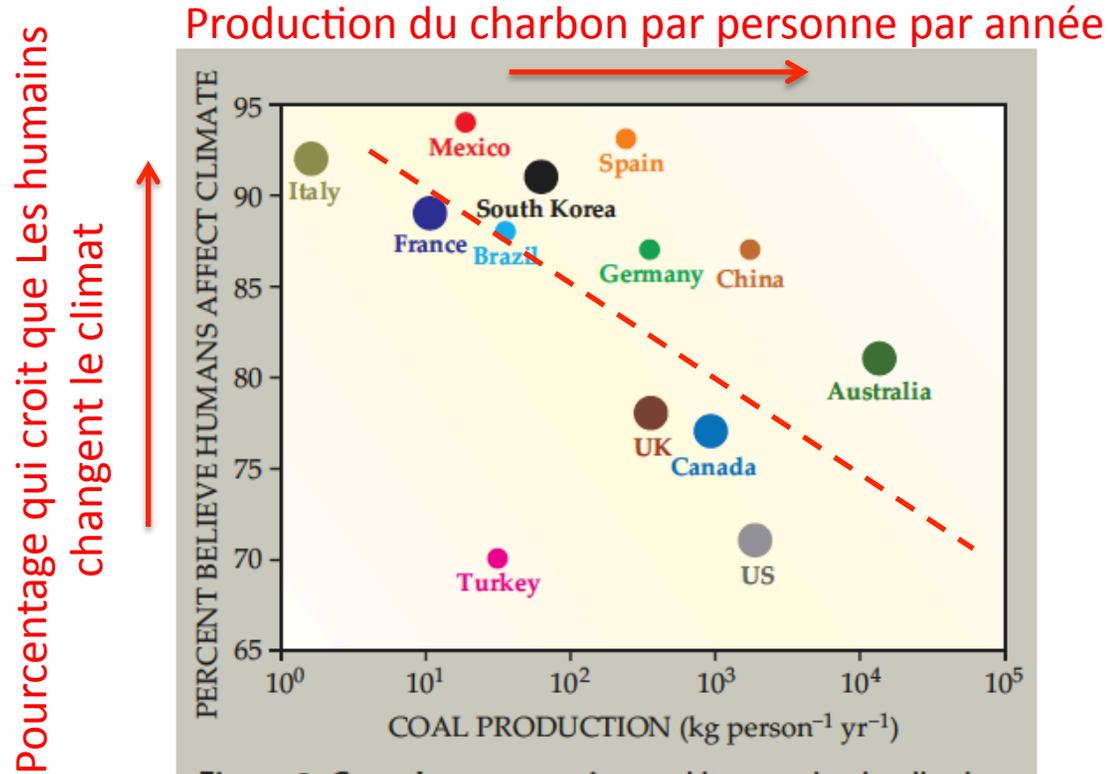
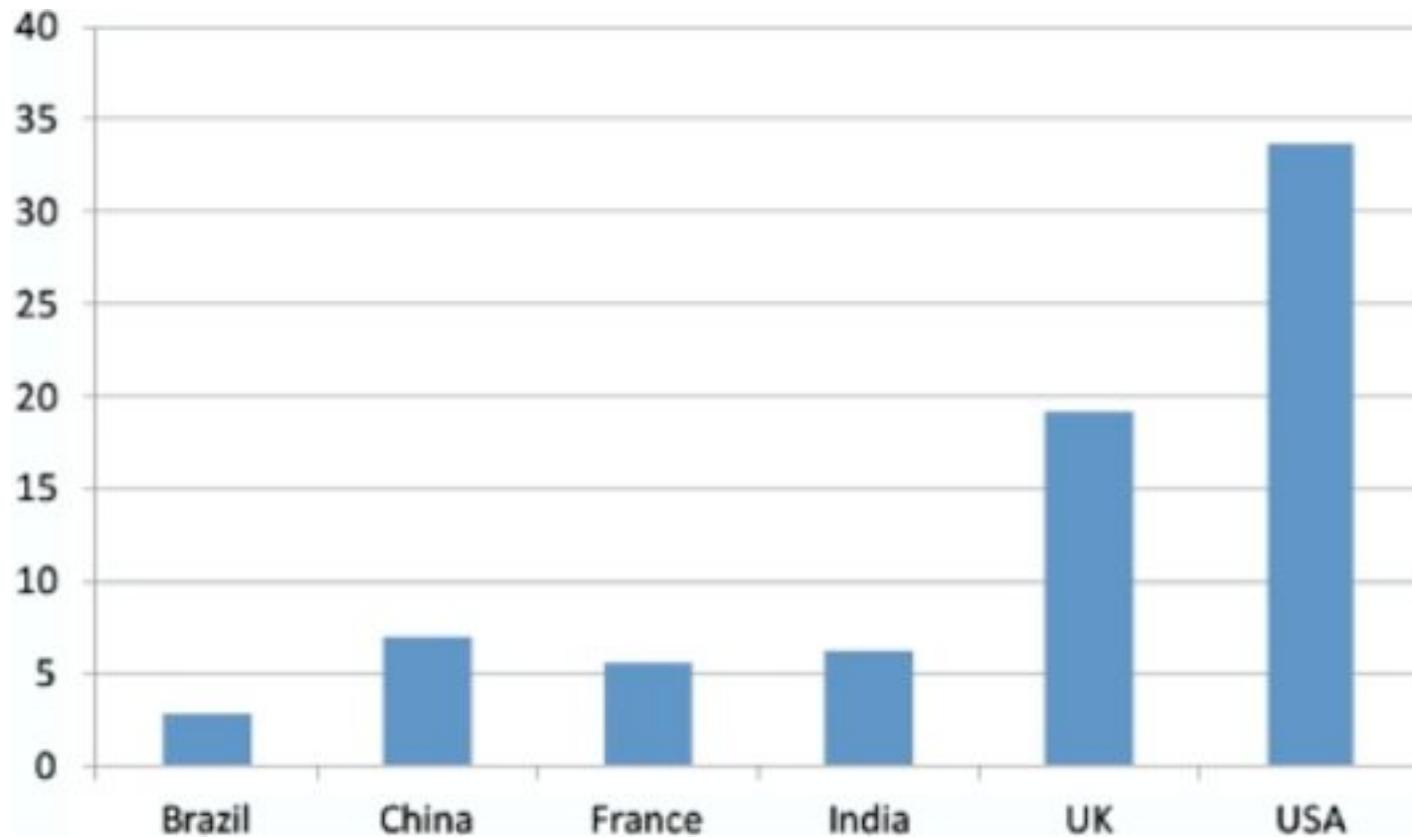


Figure 3. Greenhouse warming and its perceived policy implications challenge widely held libertarian ideals and provoke economic fears, as evidenced by the negative correlation between acceptance of anthropogenic climate change and coal production, especially among the wealthiest nations.¹⁷ Large dots show nations where more than 80% of survey respondents had heard "a lot" or "some" about global warming; small dots show nations where 70–80% had. The vertical axis is the percentage of respondents who agree that humans affect climate, not necessarily who accept the greenhouse theory.

Les medias

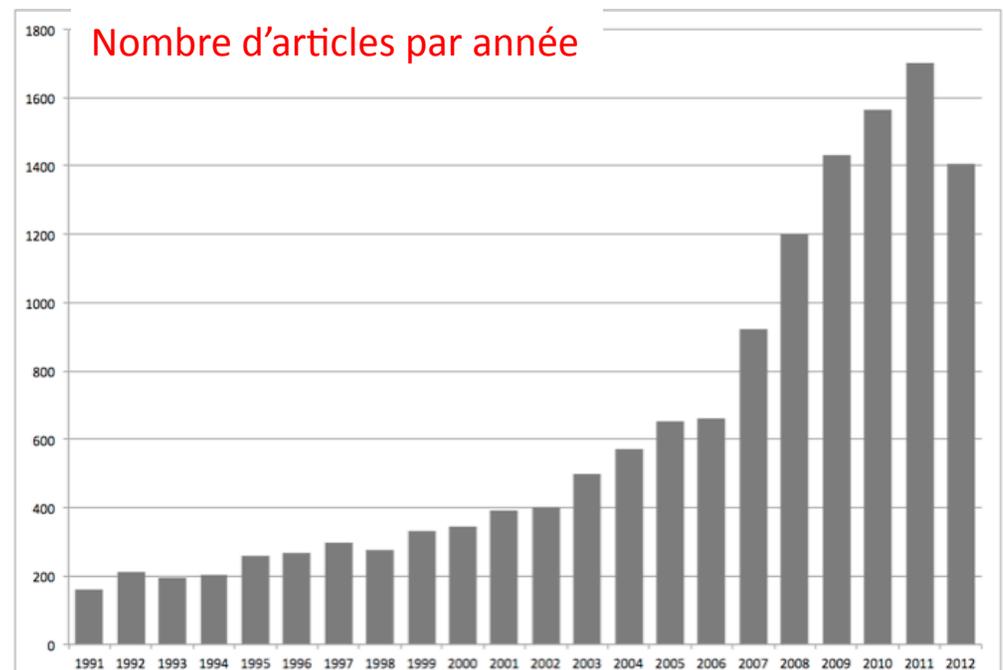
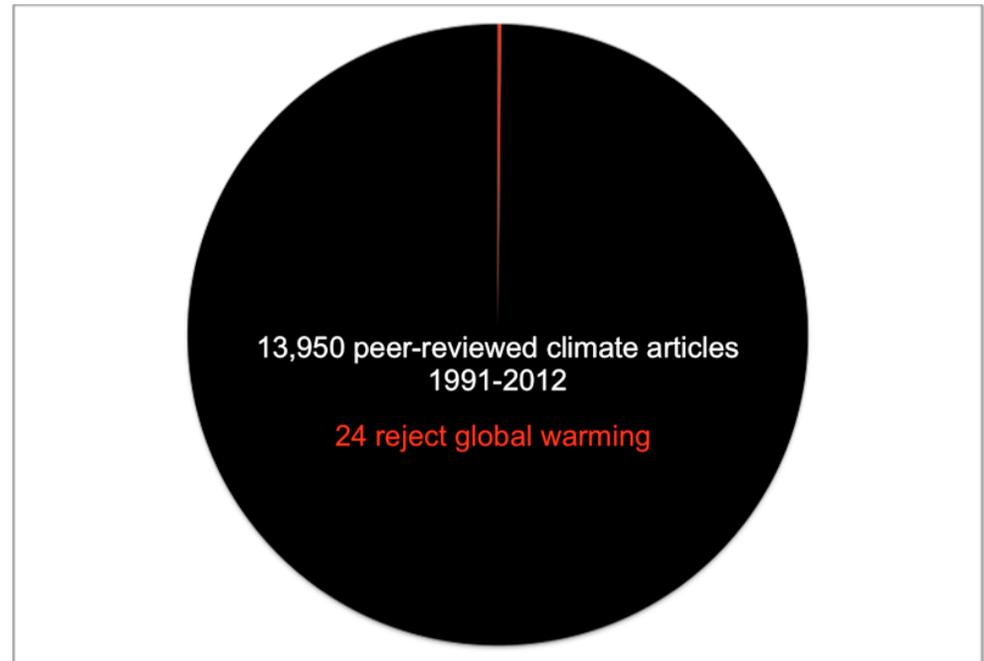


Pourcentage d'articles "climato-sceptiques" publiés par pays (Le Monde, 2010)

La littérature scientifique

1991-2012:
33,690 auteurs, 13,950 articles
- seulement
24 rejettent le rechauffement
globale anthropogénique

[Source: James Lawrence Powell.](#)



Le Québec est une société distincte jusque dans sa perception des changements climatiques !

Alec Castonguay, L'actualité, 2010

Pourcentage de la population ne croyant pas que
l'activité humaine soit la principale cause du
réchauffement climatique:

Au Québec :	15 %
À Montréal :	14 %
À Québec :	22 %
En Ontario :	34 %
Au Manitoba et en Saskatchewan :	52 %
En Alberta :	44 %
Dans les provinces atlantiques :	22 %
Aux États-Unis :	59 %

(Sondage: CROP 2010)

En 2012, les climato-
sceptiques représenteraient:

10% des Québécois
15% des Canadiens
25% des Américains

(enquête d'Érick Lachapelle, politologue à
l'Université de Montréal)

Au Canada



Le Canada, pays Voyou du climat

- La destruction du Fond Canadien pour la Science de l'Atmosphère et du Climat (2010)

-Le musellement des scientifiques fédéraux

-Retirement du Canada de l'accord de Kyoto (2011)

-En 2011 l'augmentation des émissions de CO₂ depuis 1990 était de 33% (le plus de tout les pays signiataires). Aucun plan précis existe pour diminuer les émissions au Canada.

-Promotion d'une développement accélérer des sable bitumineux:

“une exemple de developpement durable et socialement responsable”

– Joe Oliver, Ministre des ressources naturelles (2011)

Que Faire?

Même si nous arrêtons nos émissions, la température va continuer d'augmenter pendant un certain temps. Il faudrait donc une combinaison de mitigation et d'adaptation.

- **-Mitigation:**
- -"Decarbonisation de l'économie"
- -Developpement durable
- -Croissance quantitatif economique: possible?
- -Future du capitalisme?
- **-Adaptation**