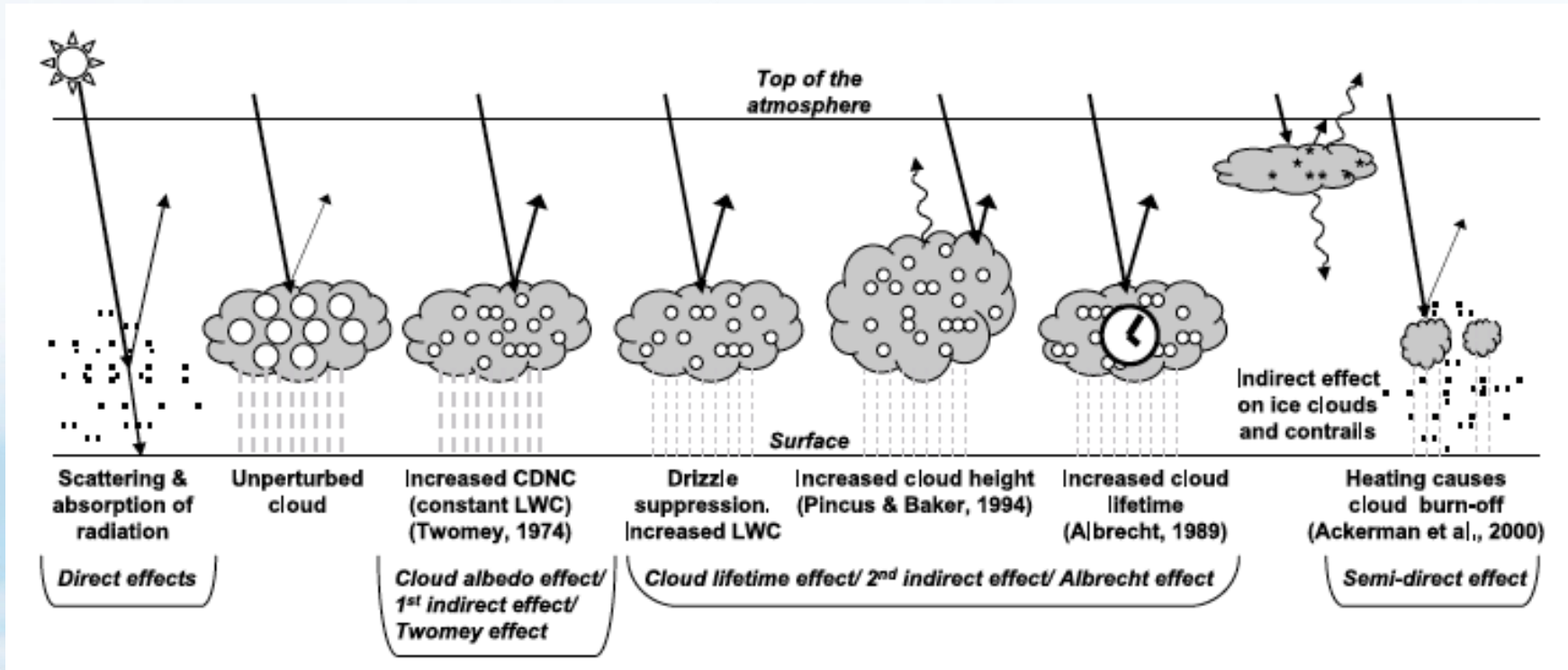


# Eléments de base sur l'énergie au 21<sup>è</sup> siècle



**Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech 2019**  
**Partie 4 - Quel climat pour demain (bis) ?**

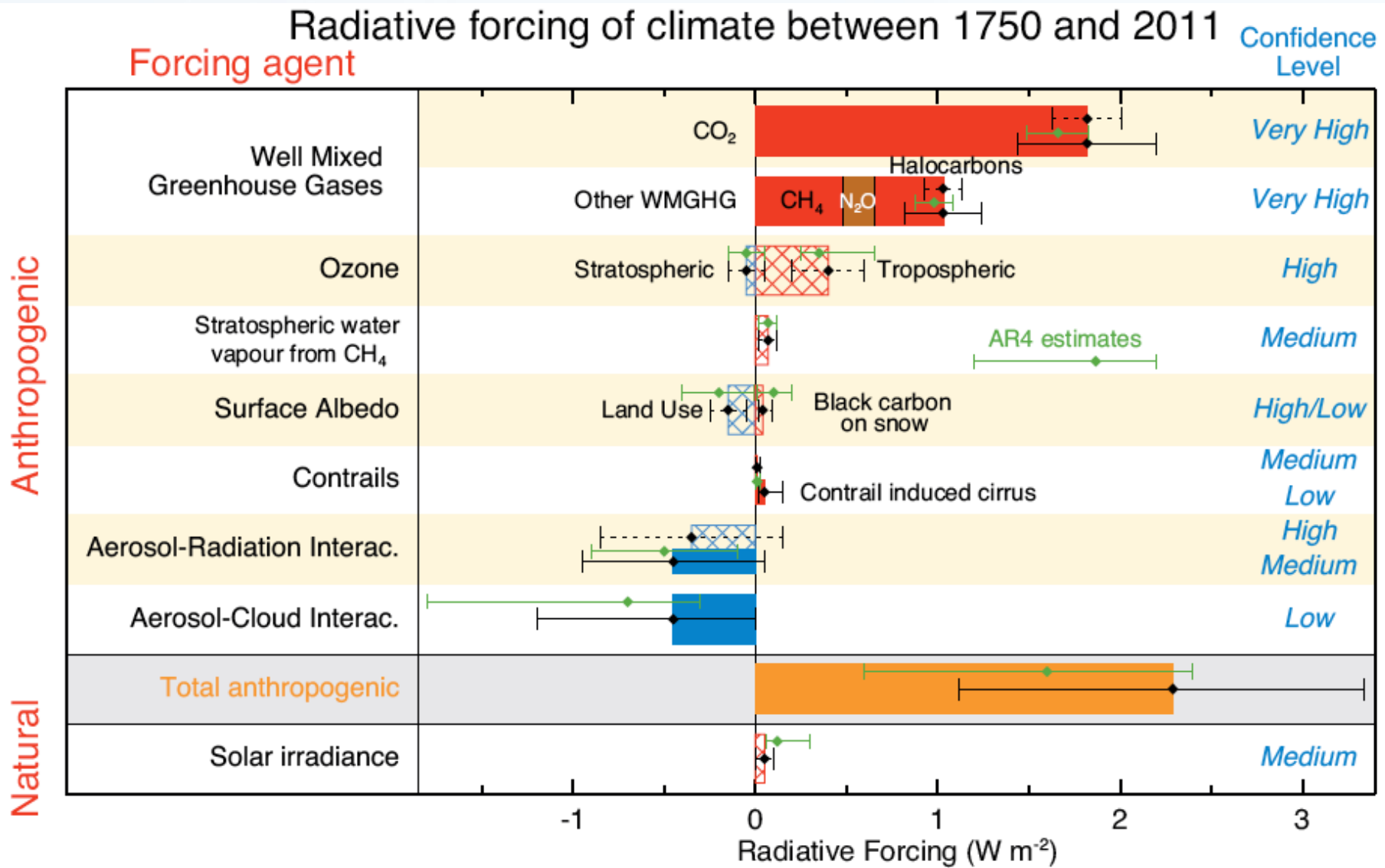
# Chaud seulement, ou froid aussi ?



**Effet d'autres émissions humaines : les aérosols ou précurseurs d'aérosols.**

**Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007**

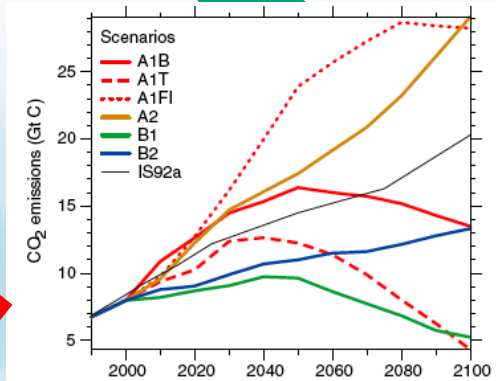
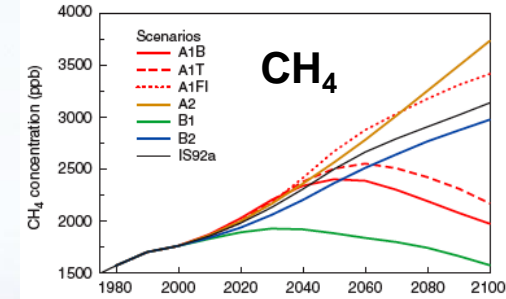
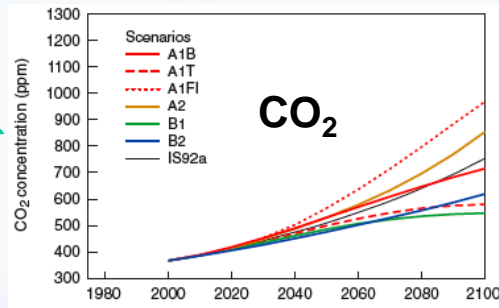
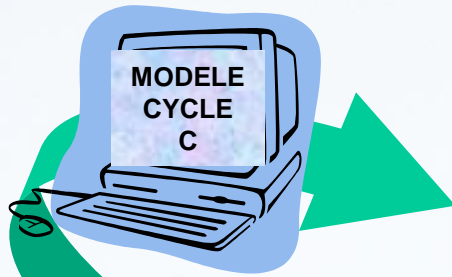
# Les gaz chauffent ; les aérosols refroidissent... quel bilan ?



Contribution de chaque impact humain au forçage radiatif à fin 2011. Total : 3 W/m<sup>2</sup>, à comparer à un chauffage solaire moyen de 235 W/m<sup>2</sup> au niveau du sol (source GIEC, 2014)

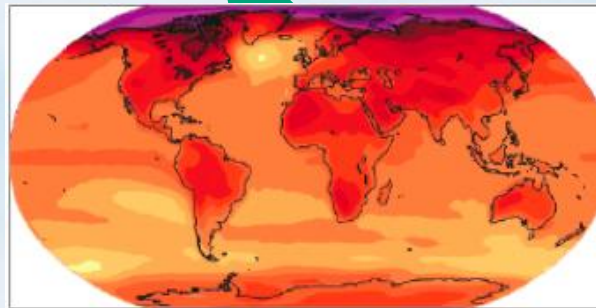
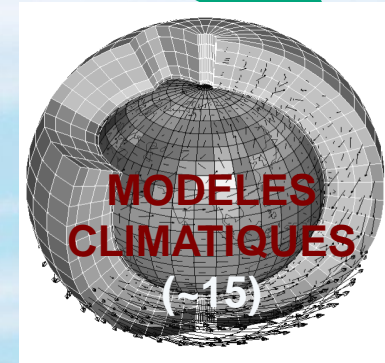
# Simuler le climat, pas plus fiable qu'un pronostic boursier ?

**HYPOTHESES  
ECONOMIQUES ET  
DEMOGRAPHIQUES**



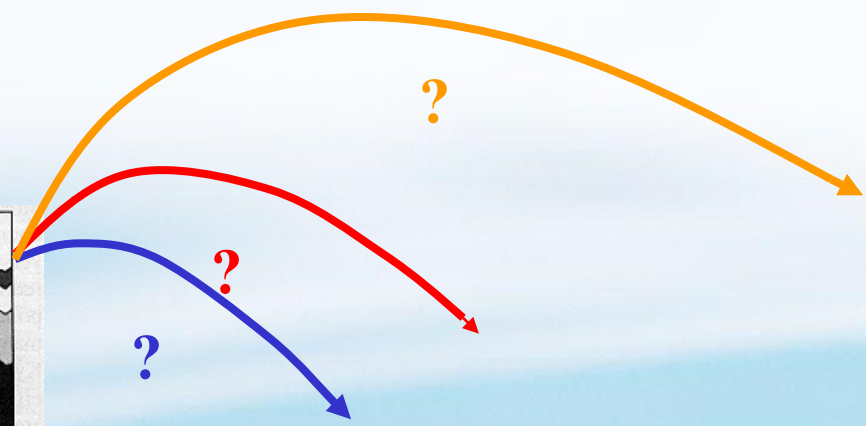
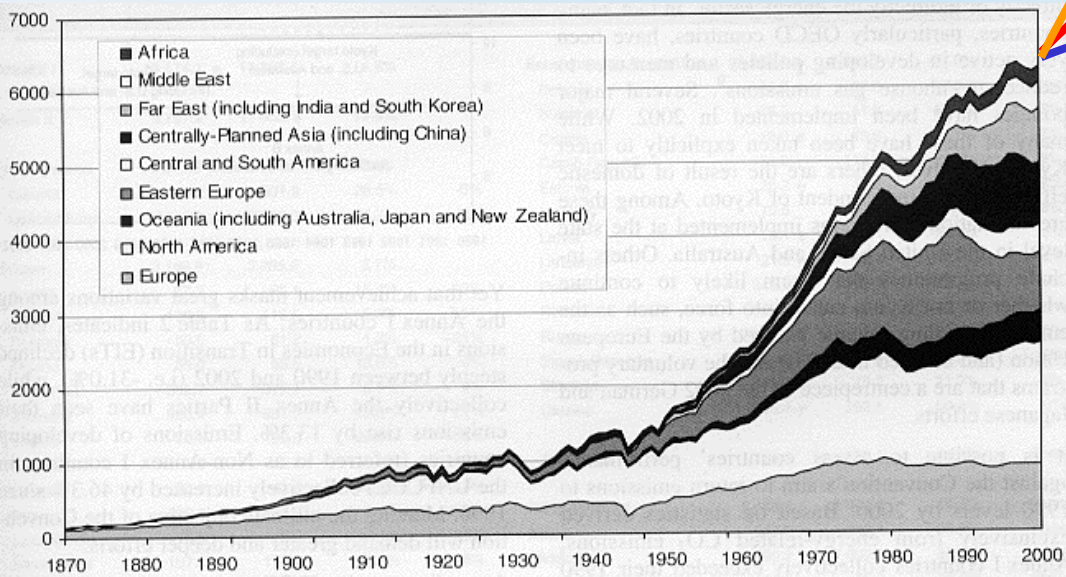
**Emissions de GES**

**Concentration en GES**

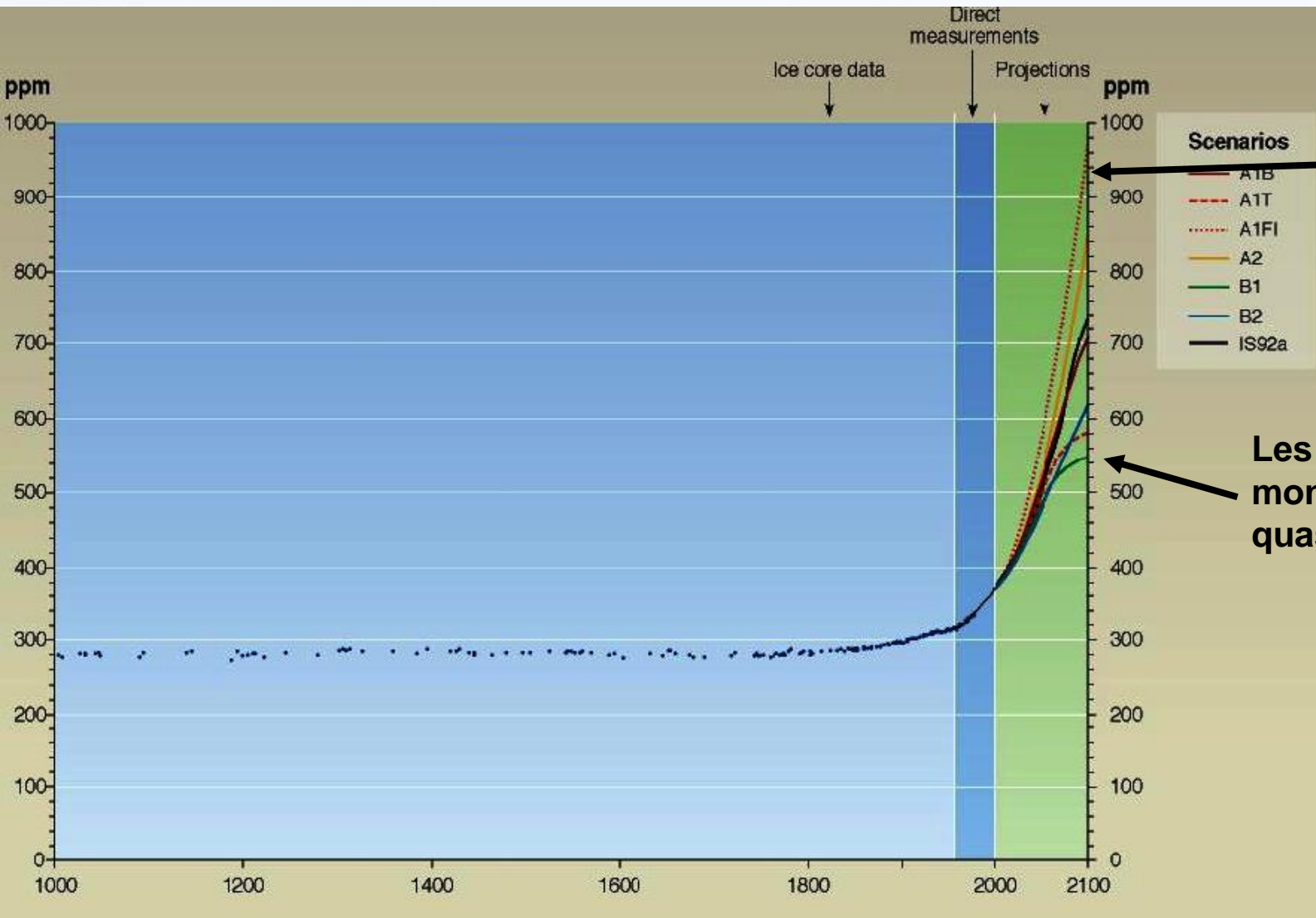


**Climat Futur**





# J'émet, l'atmosphère concentre

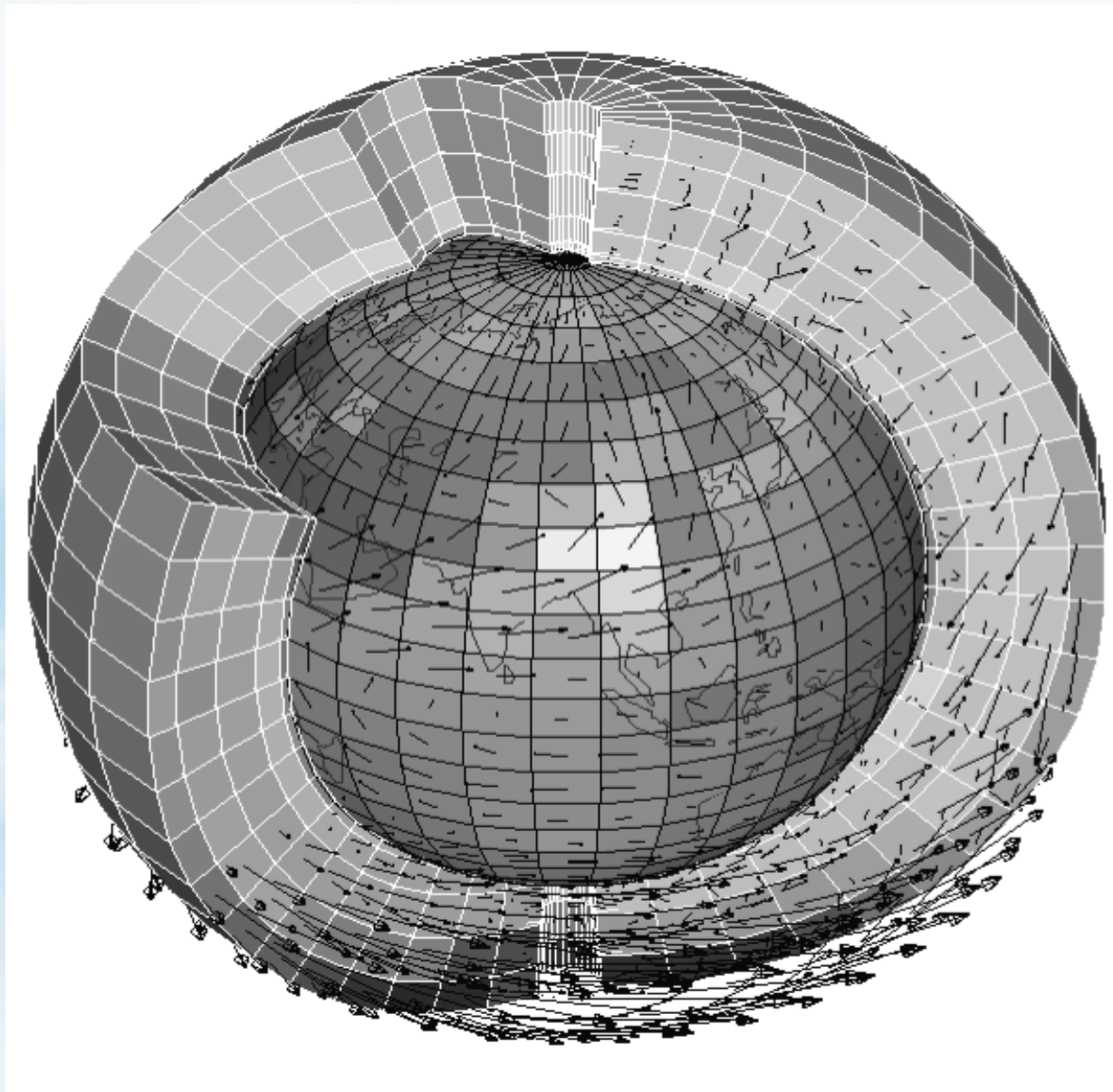


10 milliards de terriens évoluent vers les émissions d'un Polonais de l'an 2000

Les émissions mondiales restent quasi-constantes

Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC, 2001

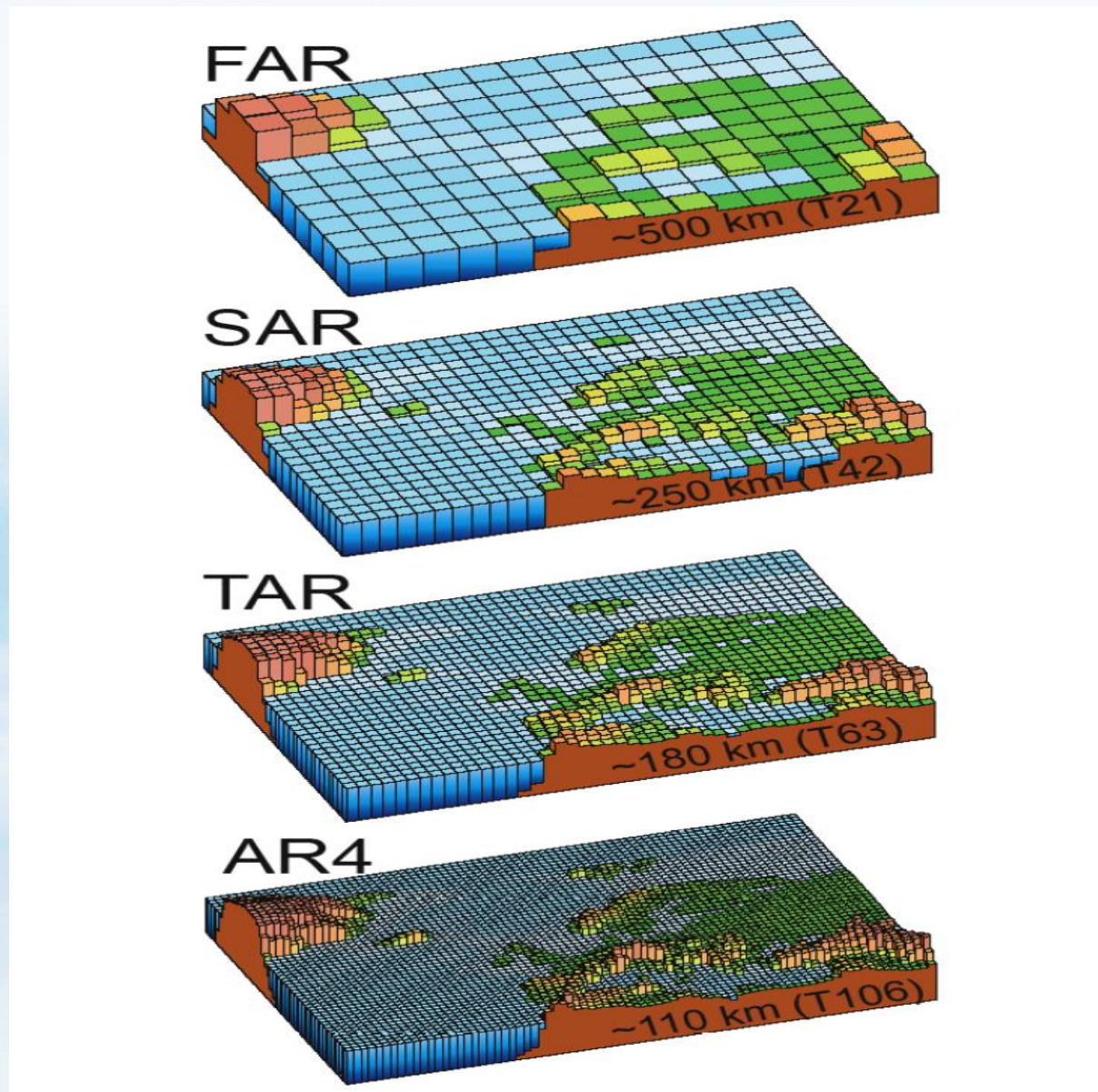
# Qu'est-ce qu'un modèle climatique ?



Source : L. Fairhead, LMD/IPSL



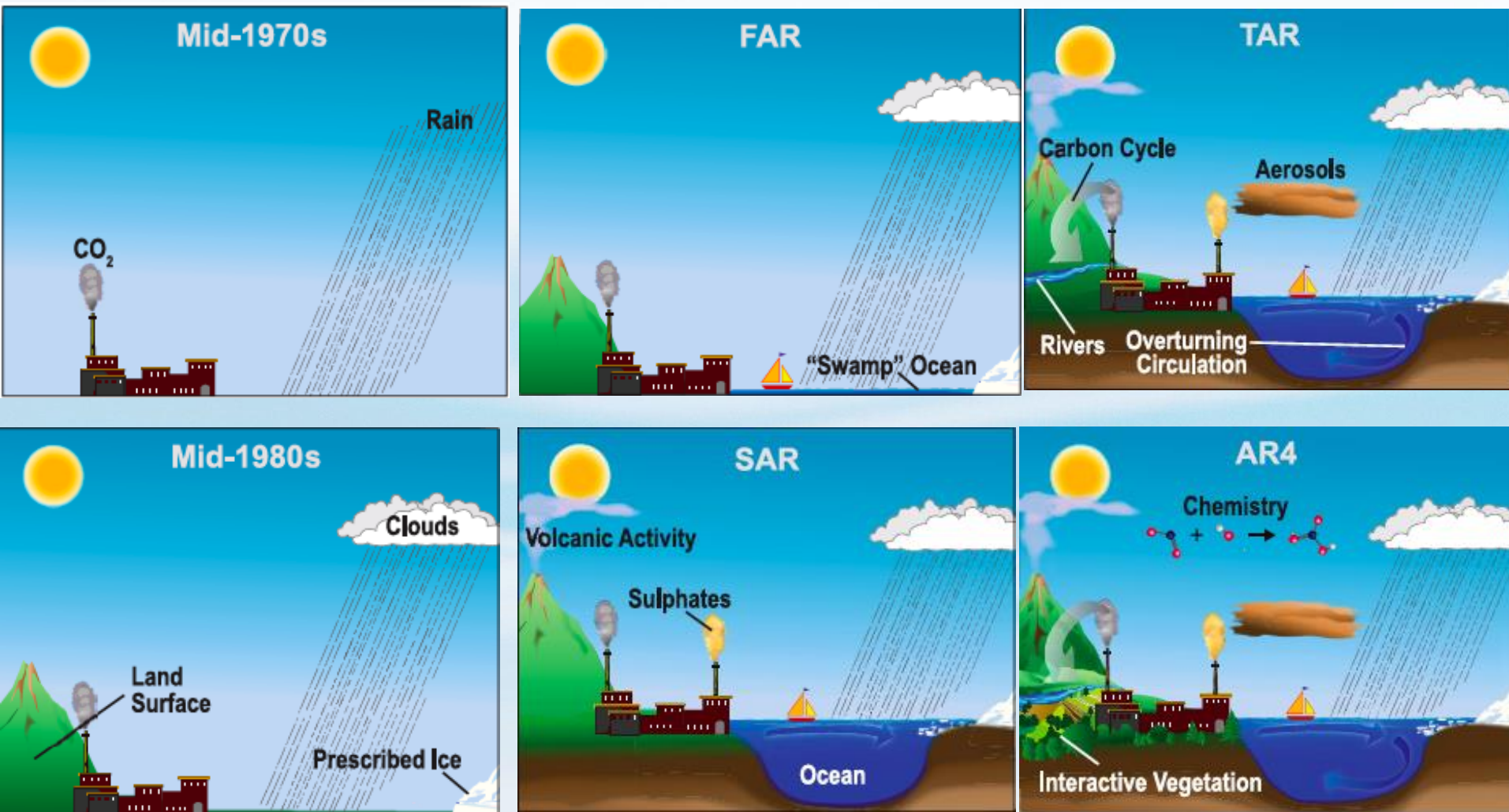
# Amélioration en complexité, mais aussi en résolution



Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

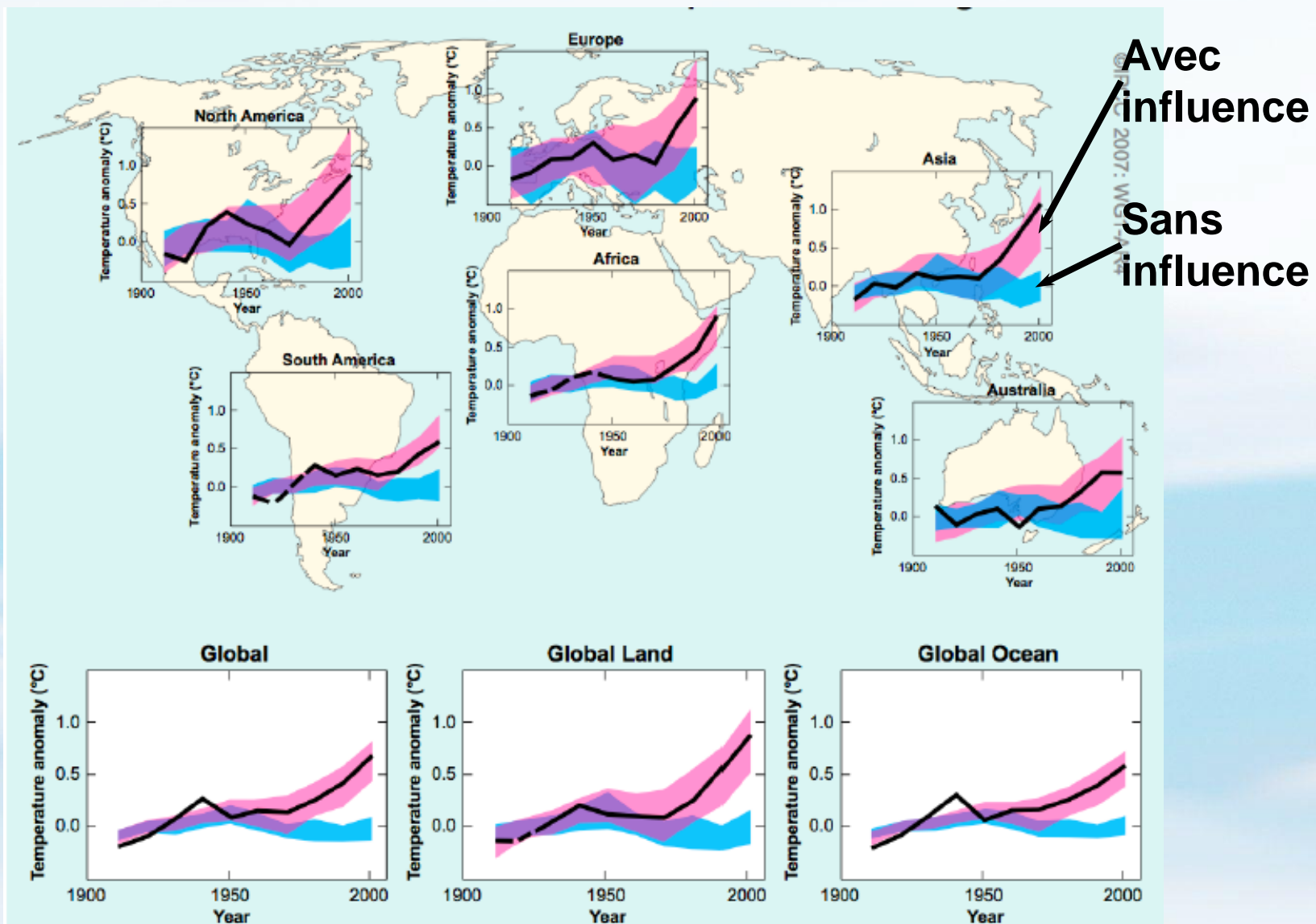


# Les modèles font aussi l'objet d'améliorations continues !



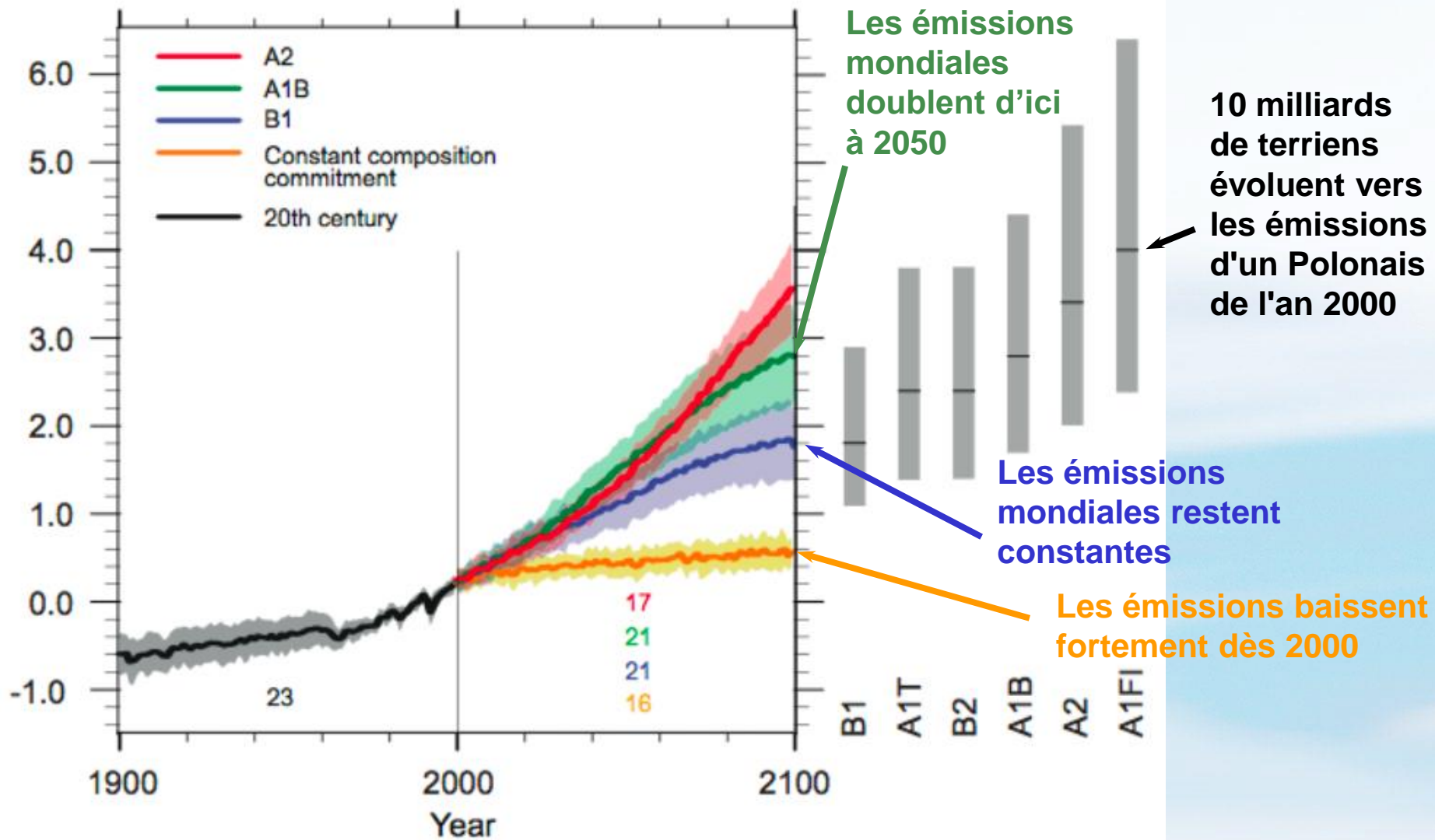
Evolution de la complexité des modèles. Source : GIEC, 2007

# Des modèles testés avant d'être « vendus »



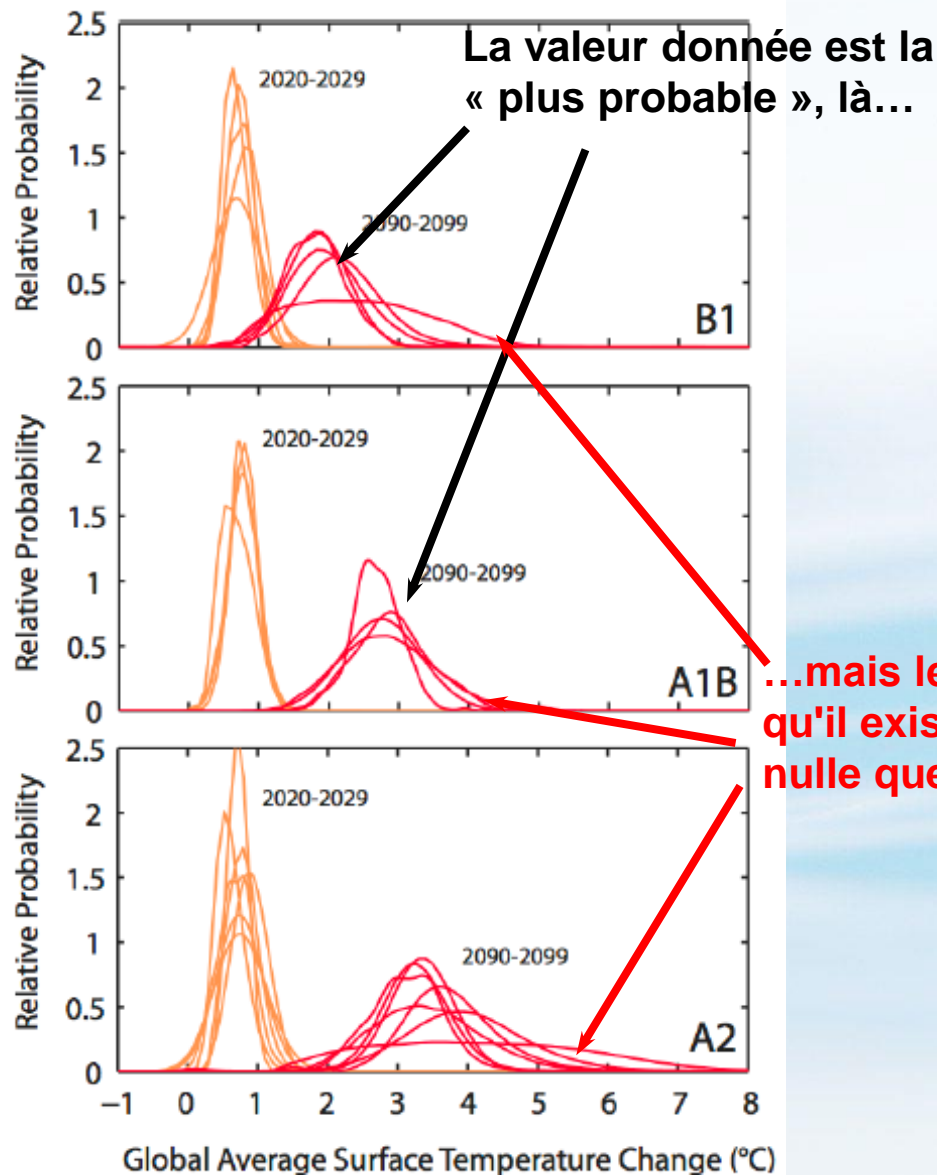
Évolution régionale de la température moyenne de l'air au niveau du sol (ligne noire, 0 = moyenne 1901-1950), et enveloppe des élévations simulées par les modèles, avec et sans influence humaine. Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# J'y mets mes scénarios d'émission dans les modèles : quid ?



Moyenne inter-modèles de l'augmentation de la température moyenne de l'air au niveau du sol en 2100 par rapport à la moyenne 1980-1999, selon les scénarii (pas de couplage avec le cycle du carbone). Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

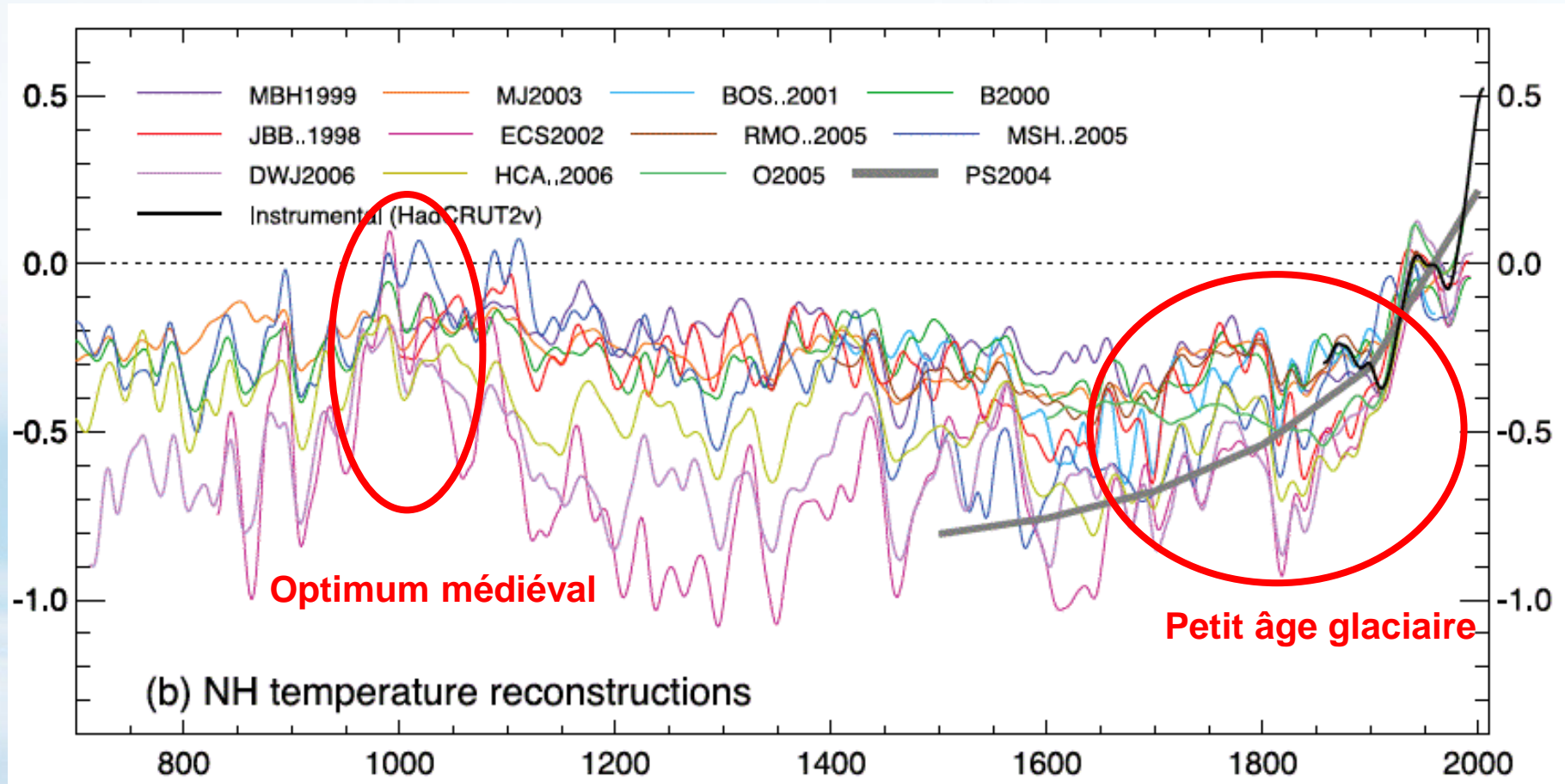
# Existe-t-il réellement un haut de fourchette ?



Signification des « fourchettes » d'élévation de température en 2090-2099 par rapport à 1980-1999 GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

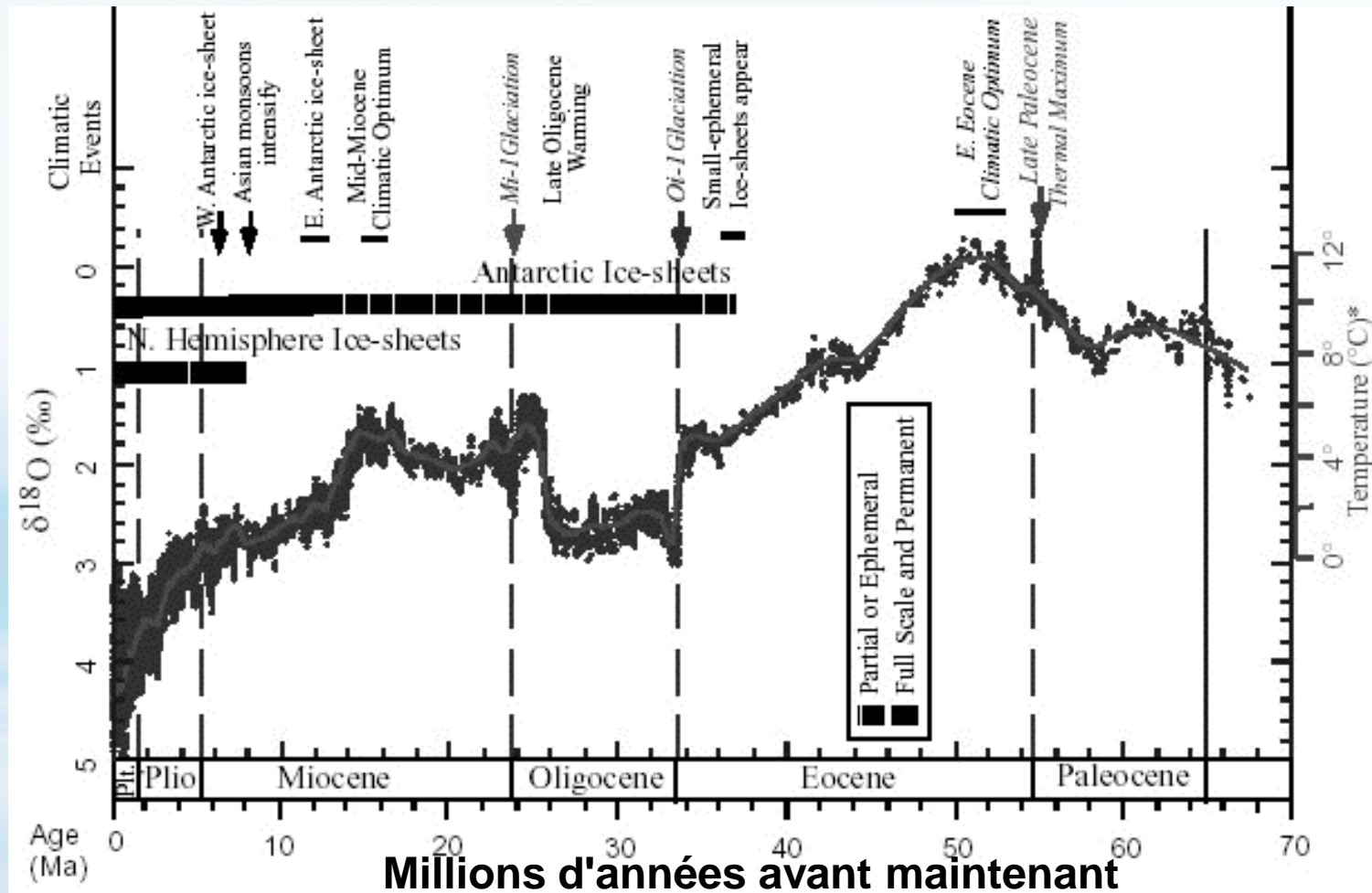


# Quelques degrés en un siècle, pas une affaire courante...



Évolution de la température moyenne de l'air au niveau du sol pour l'hémisphère nord de l'an 700 à l'an 2000. Source IPCC, 2007

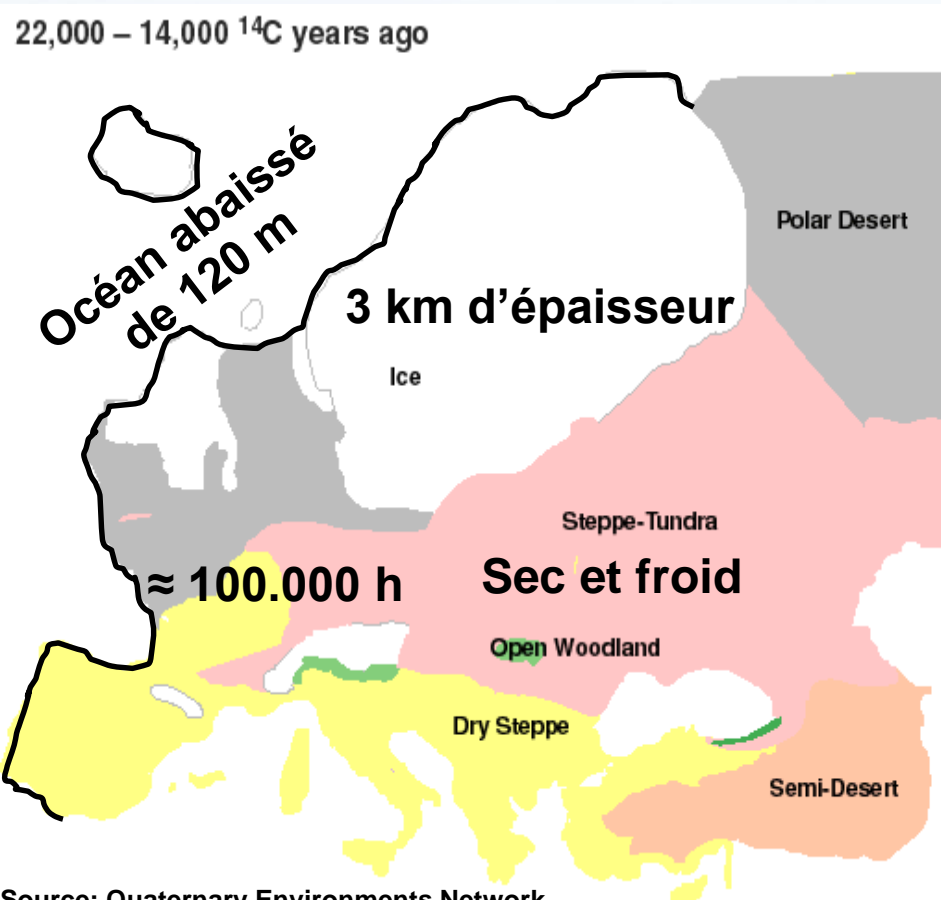
# Quelques degrés en un million d'années, déjà plus



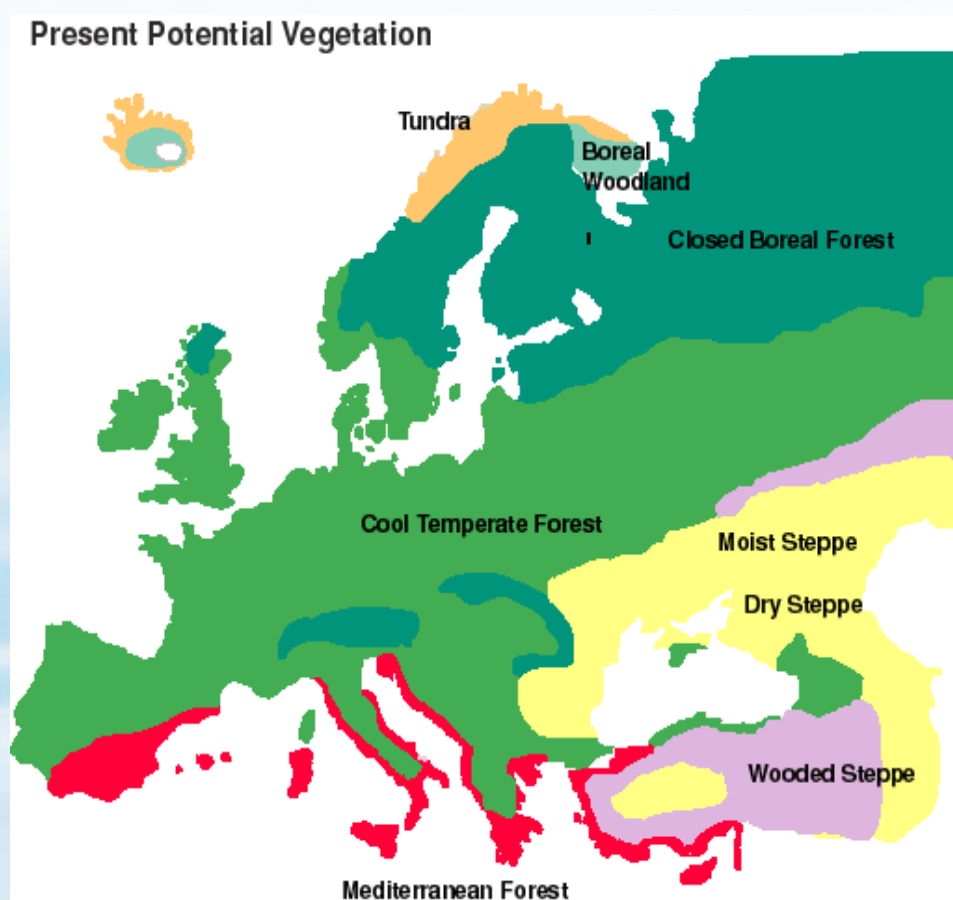
Estimation de la température moyenne de la planète, par rapport à la moyenne du dernier millénaire (zéro des ordonnées). Cette courbe a été obtenue par l'analyse de sédiments océaniques prélevés dans 40 lieux différents.

Source : Zachos et al., Science, 2001

# 5 ° C de plus en un siècle, juste un pull en moins ?



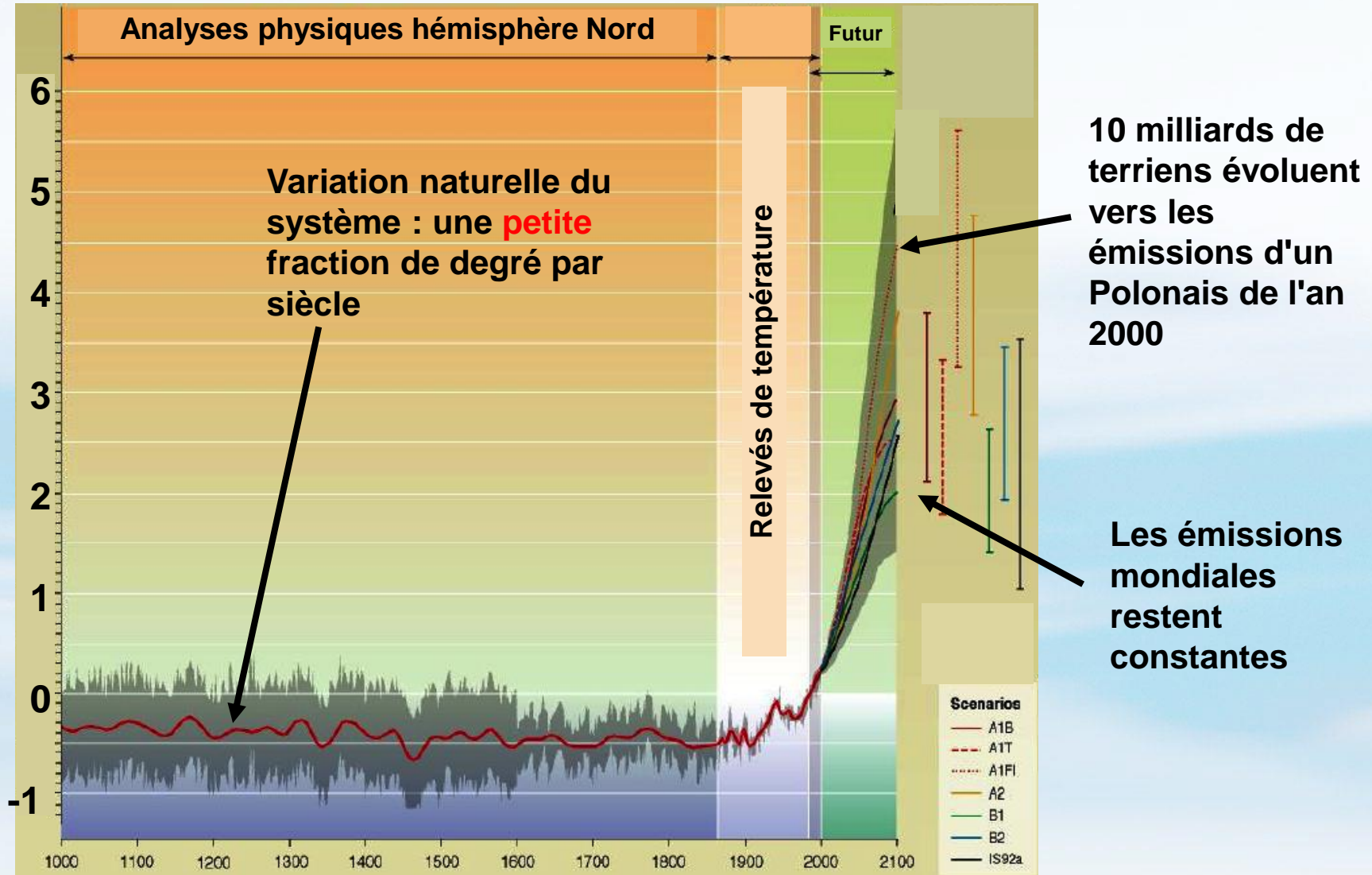
L'Europe il y a 20.000 ans



L'Europe actuelle

Moyenne ↗ +5° C ↘

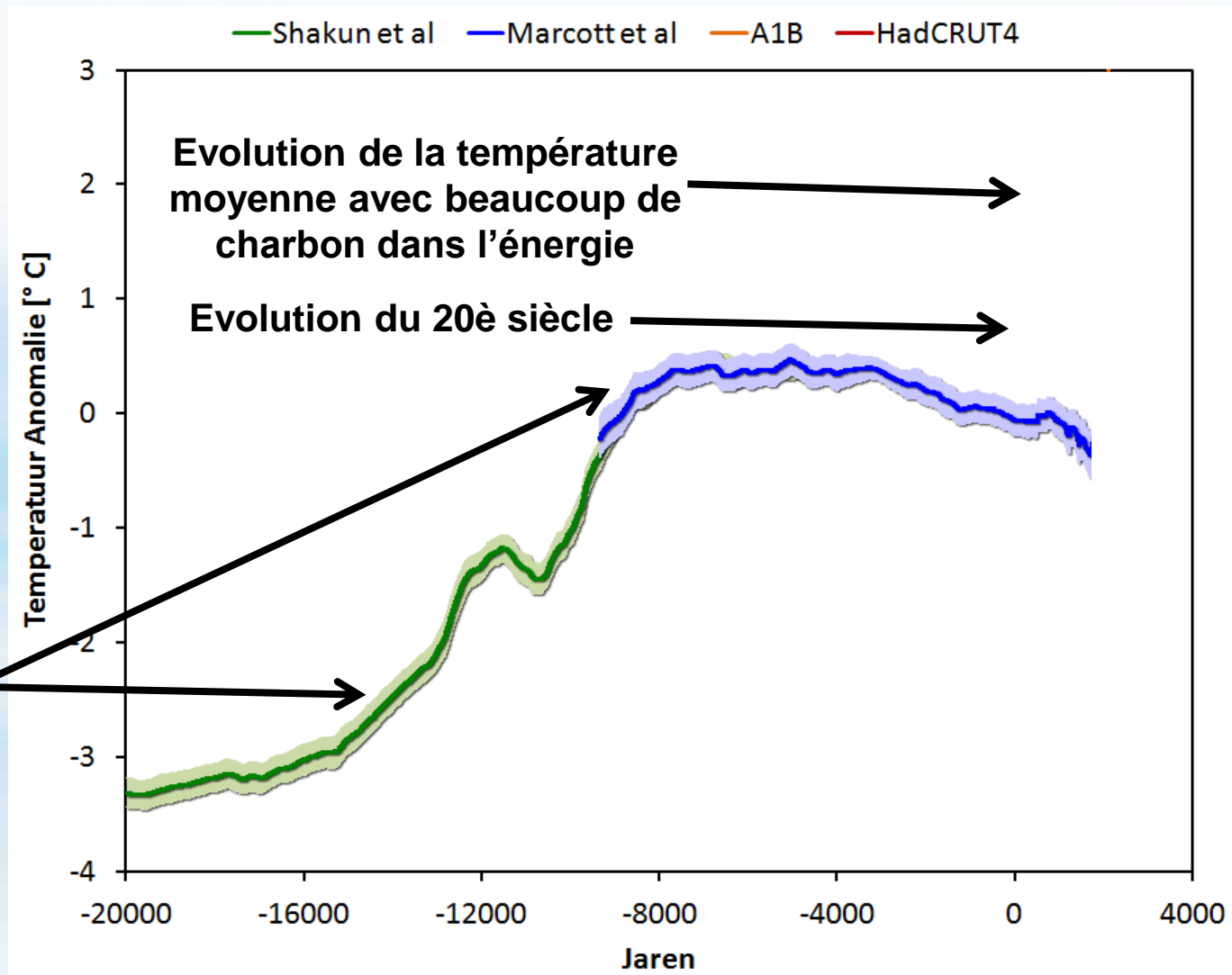
# Le problème est devant, pas derrière !



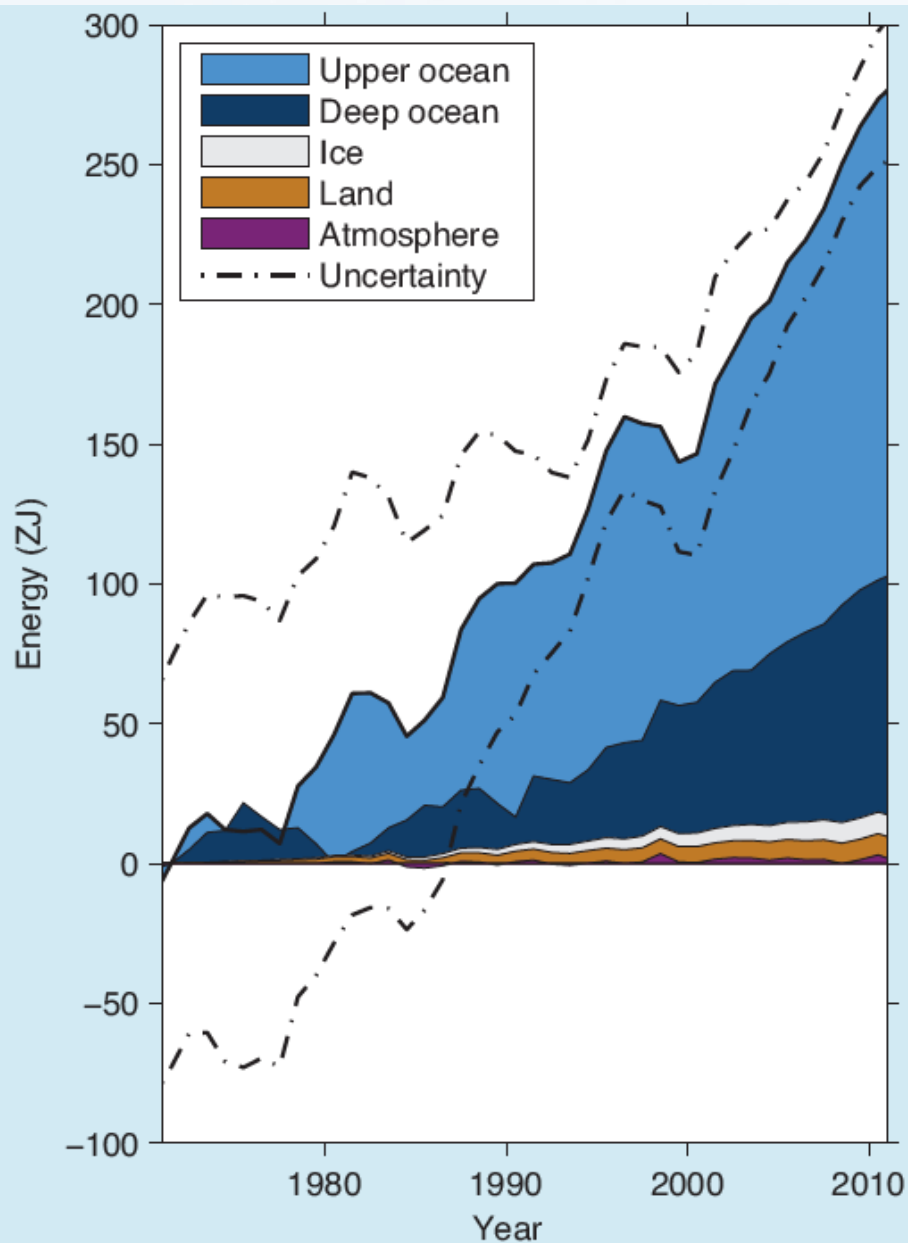
Évolution de la température moyenne de l'air au niveau du sol, selon les scénarii, et mise en perspective avec le passé. Climate Change 2001, The Scientific Basis, GIEC



# Et pour quelques degrés de plus...



# Il paraît que le réchauffement s'est arrêté ?



≈ 90%

Accumulation d'énergie dans les divers compartiments du système climatique depuis 1971 (1 ZJ =  $10^{21}$  J)  
Source : IPCC, AR5, 2014

# Quels seront les impacts du changement climatique ?

Avec une amplitude **qui dépendra de nos émissions** :

Impacts sur les écosystèmes (affaiblissements, disparitions, déplacements)

Augmentation du niveau des océans

Impacts sur les courants marins et donc sur les climats régionaux

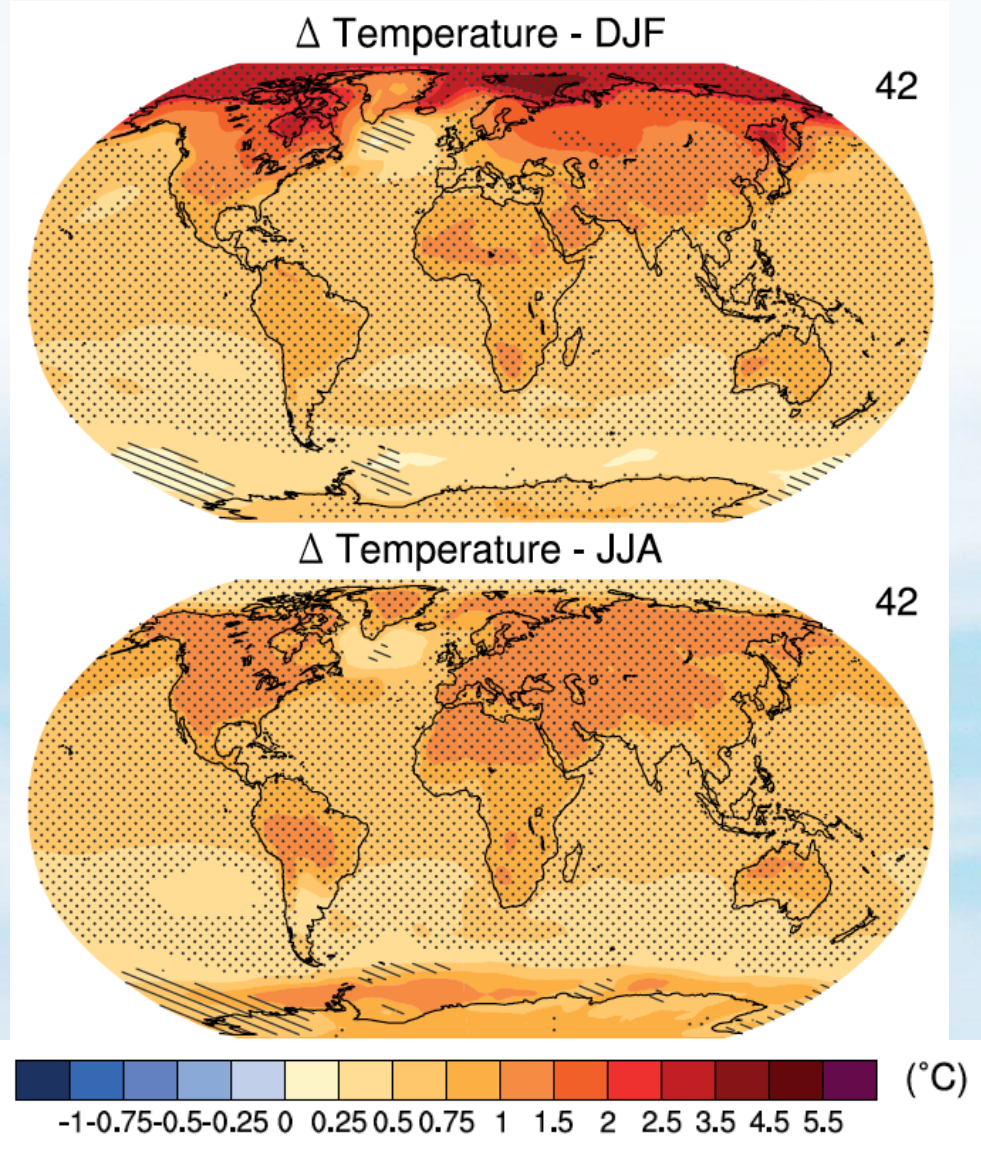
Modification des phénomènes extrêmes (dont pics de chaleur, précipitations intenses, sécheresses, etc)

Augmentation du « trou d'ozone »

Impacts directs sur la santé humaine (déplacement des zones endémiques pour les maladies, conséquences des phénomènes brusques, etc).

Et encore acidification de l'océan, risques géopolitiques, etc...

**Et nous ne ferons jamais le tour de toutes les mauvaises surprises possibles à l'avance, puisque la situation est inédite**



Évolution régionale de la température (° C) en 2016–2035 par rapport à la moyenne 1986–2005 pour un scénario median. Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014



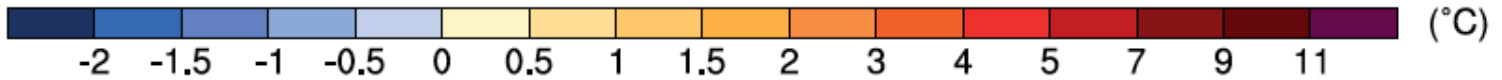
# Chauffe (un peu plus) Marcel

RCP2.6: 2081-2100

32

RCP4.5: 2081-2100

42

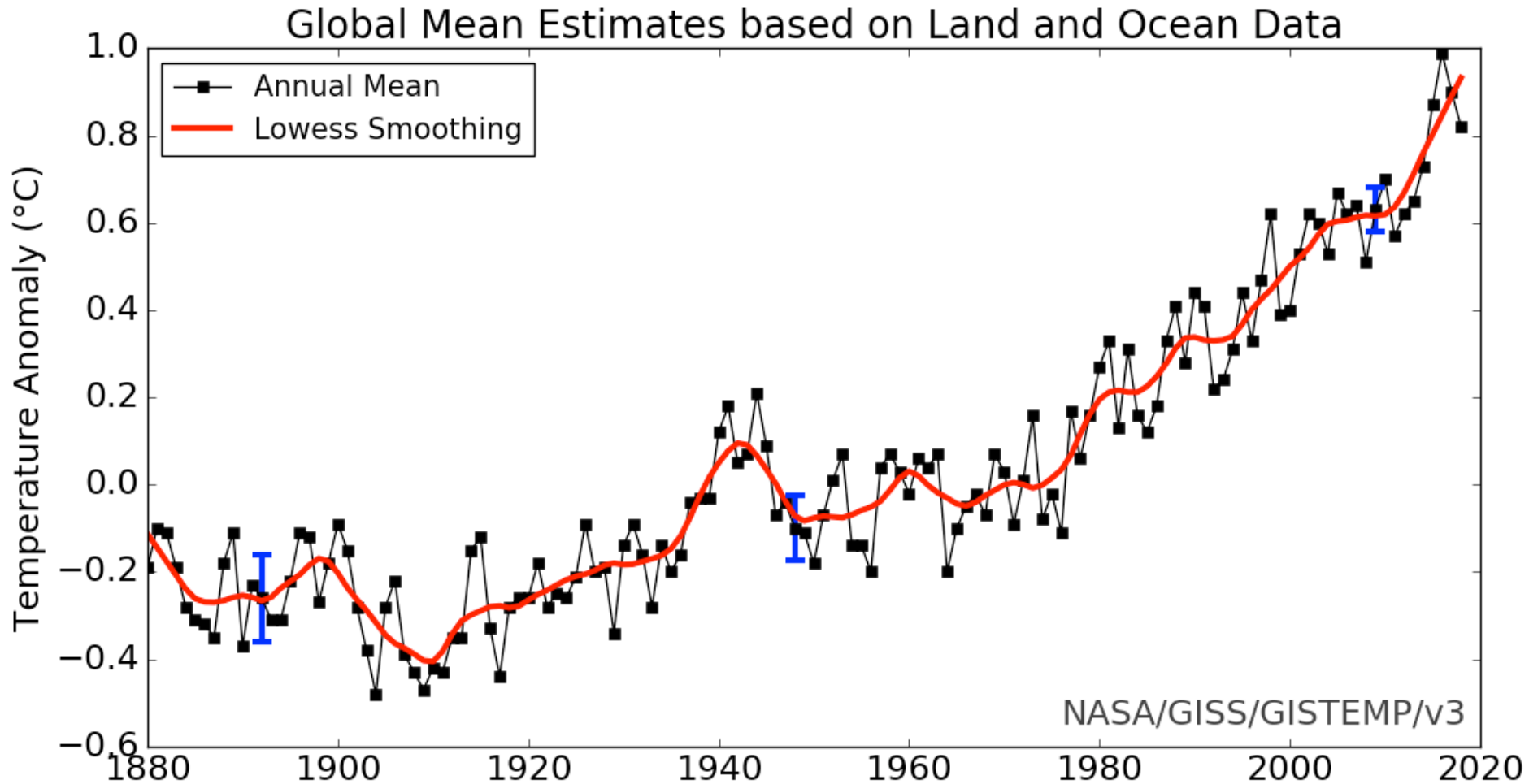


RCP6.0: 2081-2100

25

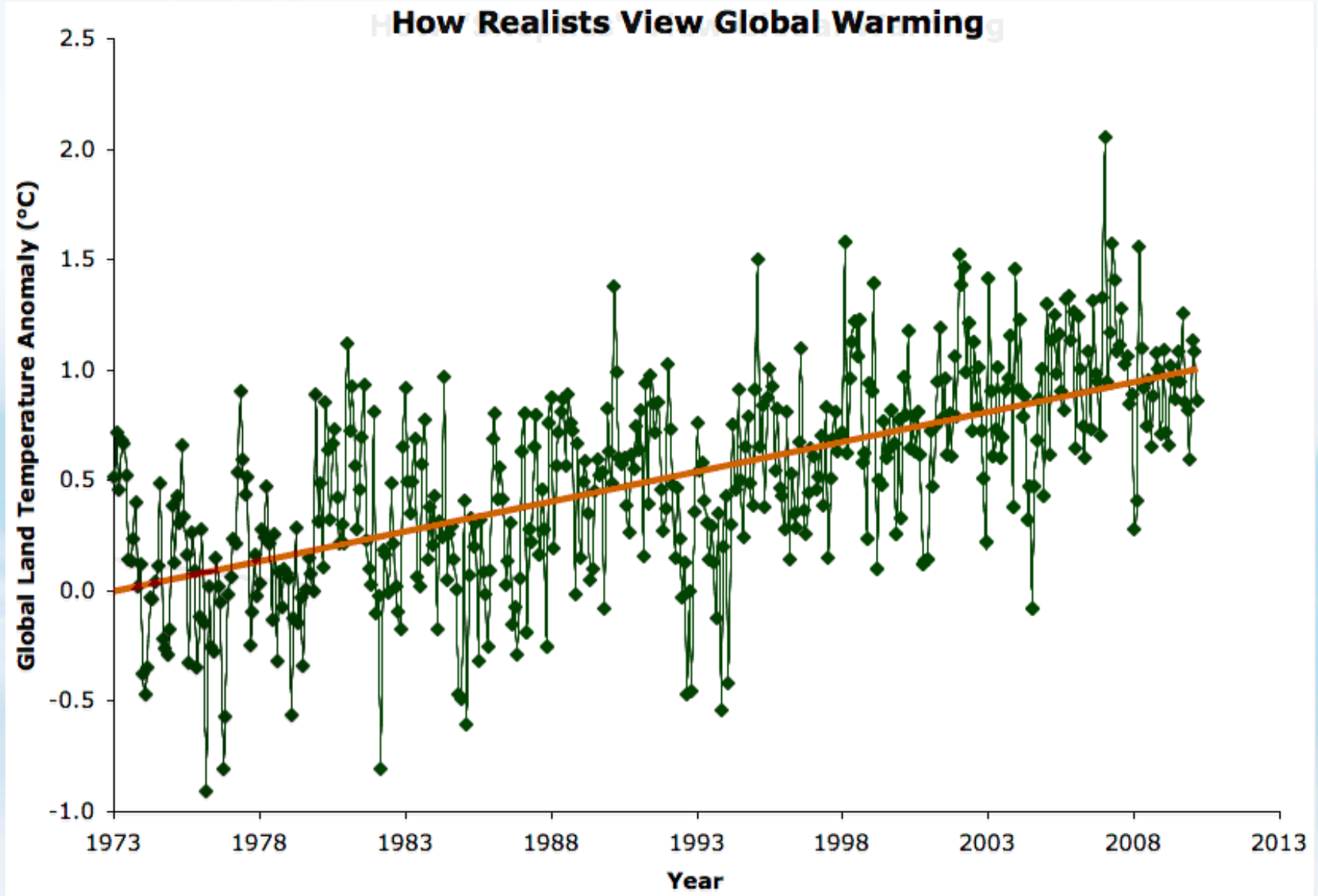
Evolution régionale de la température (° C) par rapport à la moyenne 1986-2005 selon le scénario. Source IPCC, 5è rapport d'évaluation, 2014

# Notre affaire a déjà commencé ?



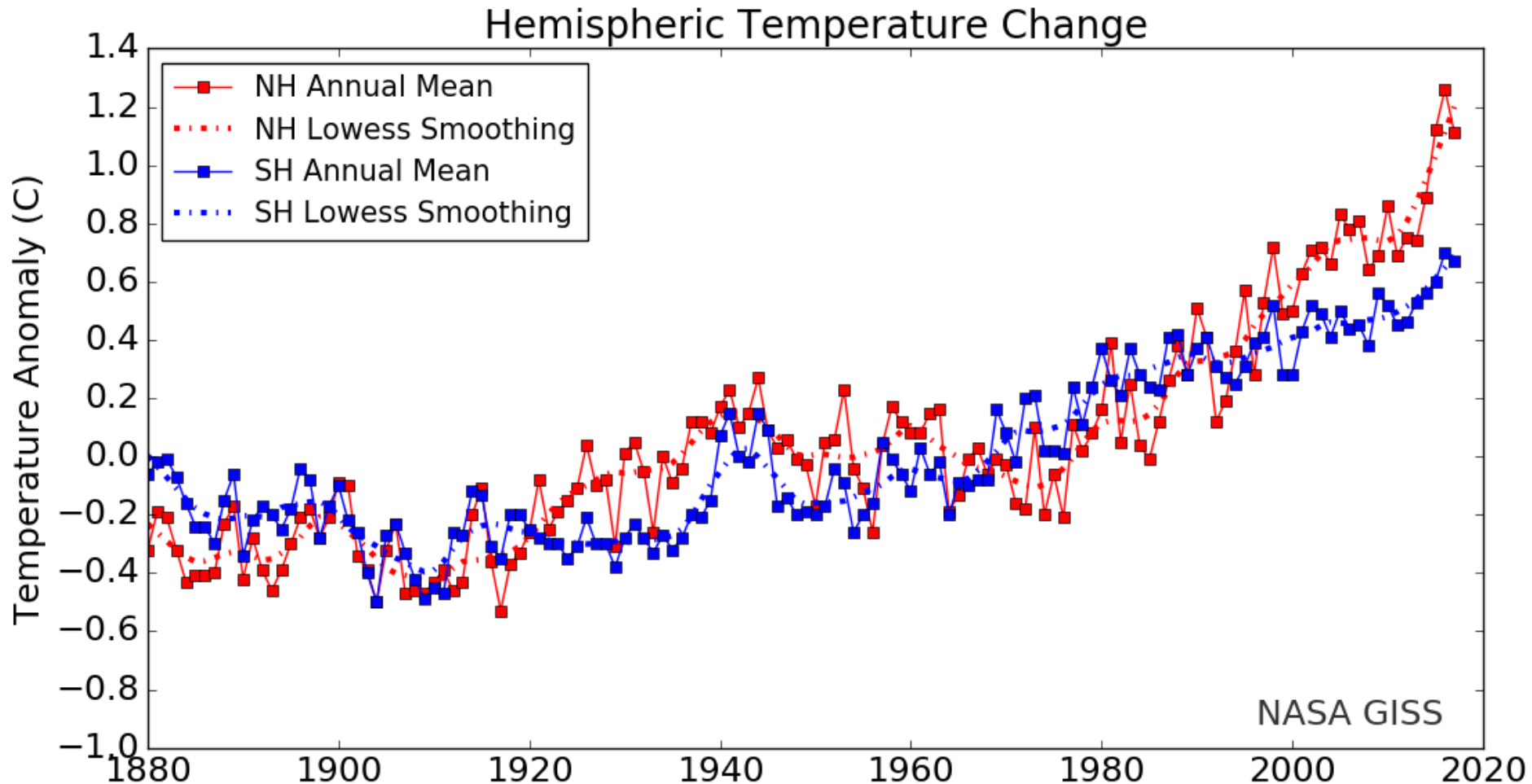
Ecart entre la température annuelle moyenne et la moyenne 1951-1980 (0 des ordonnées). La barre bleue représente l'incertitude. Source : GISS/NASA, 2019

# Attention aux manipulations statistiques...



**Evolution des températures terrestres de 1973 à 2010.**

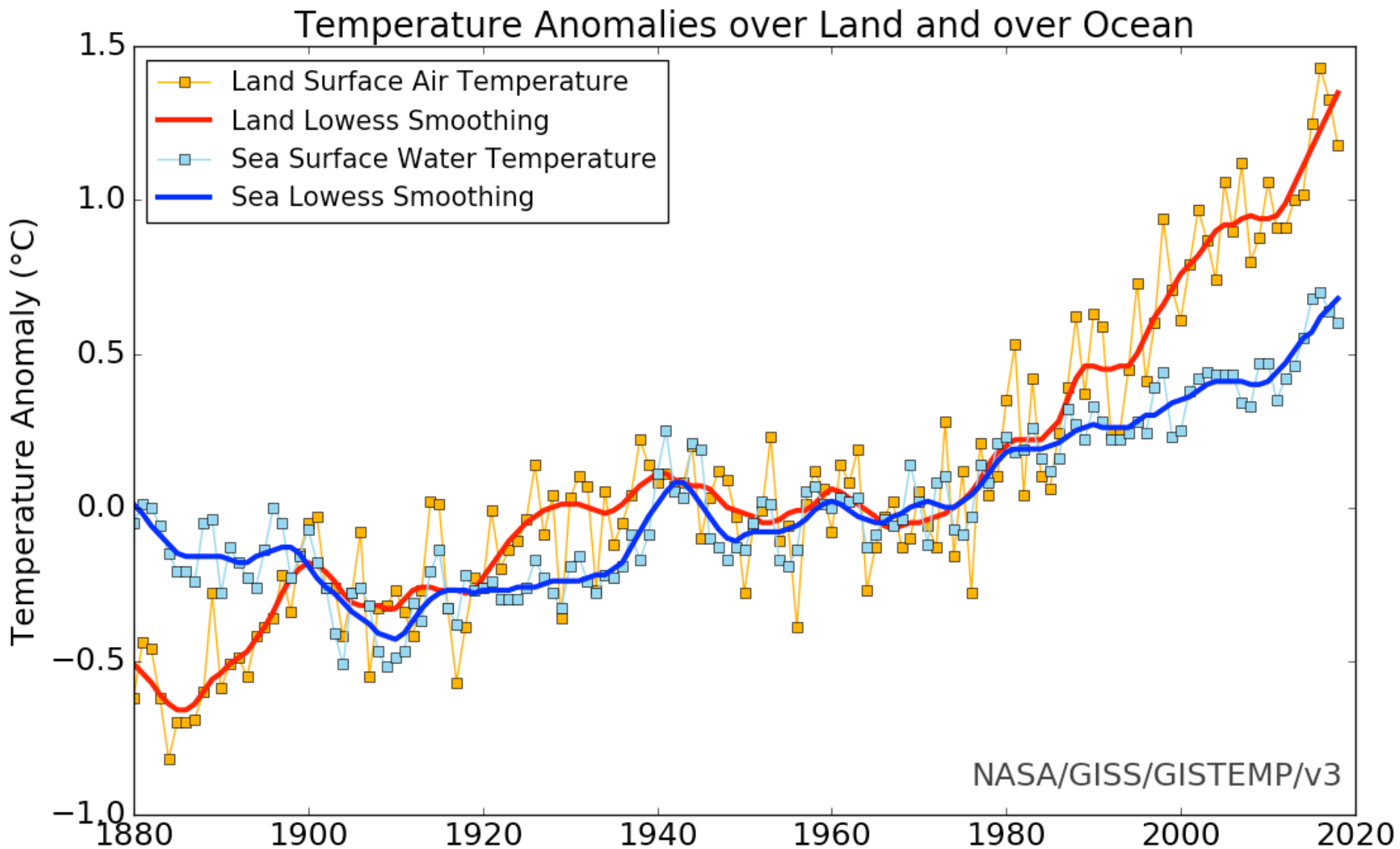
# Notre affaire a déjà commencé ?



**Ecart entre la température annuelle moyenne et la moyenne 1951-1980 (0 des ordonnées), pour chaque hémisphère. Source : GISS/NASA, 2019**

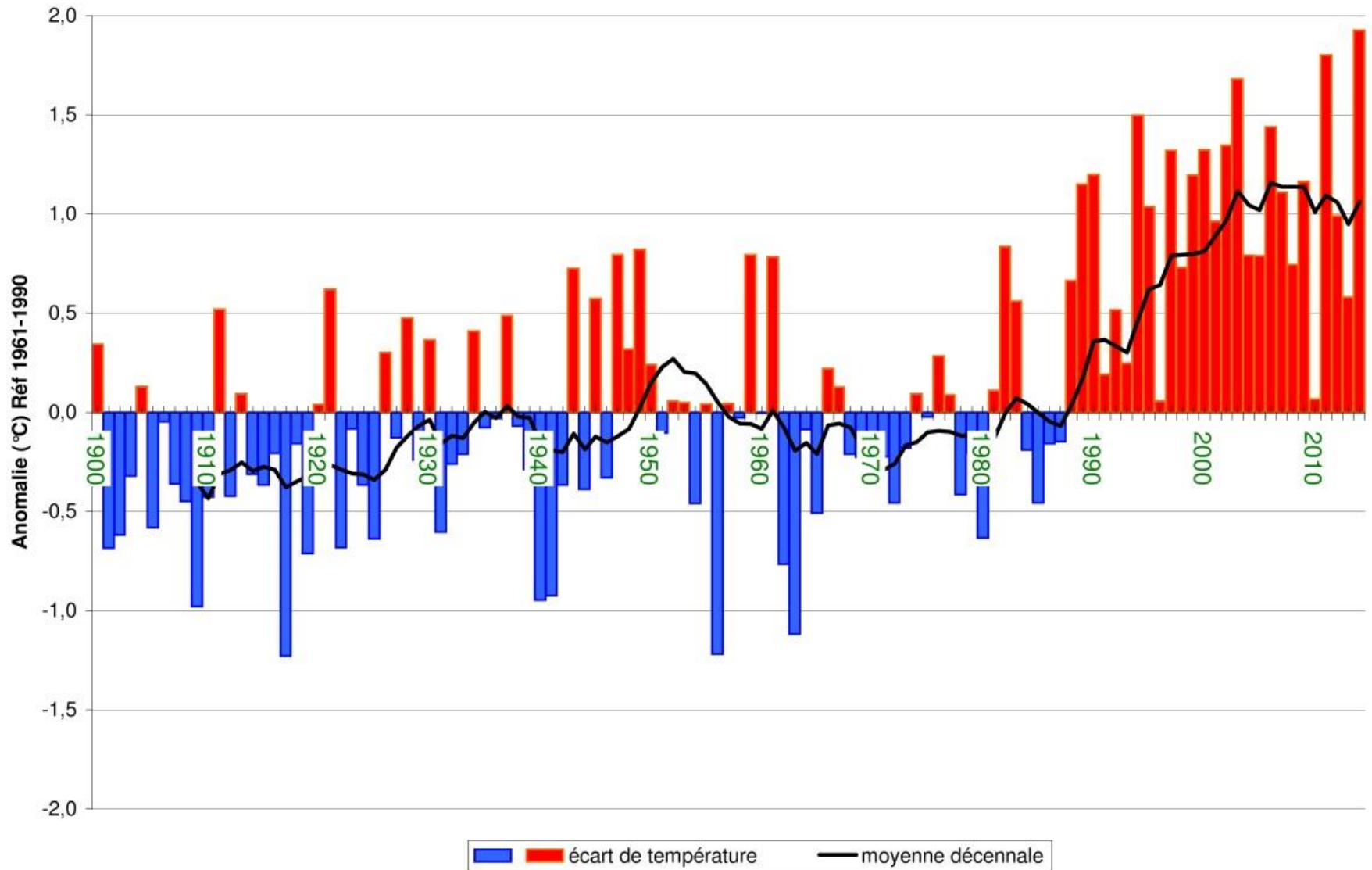


# Notre affaire a déjà commencé ?



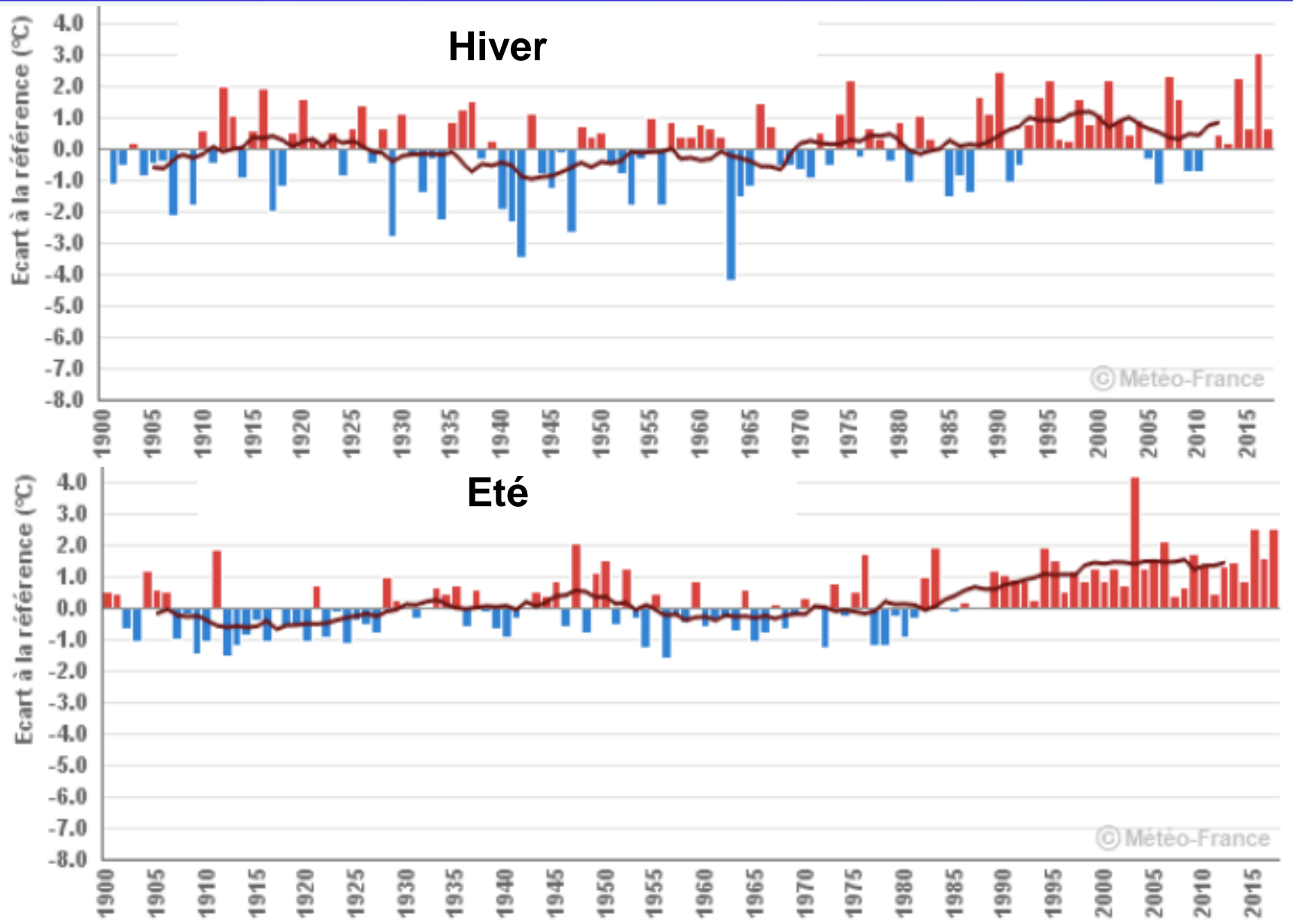
Ecart entre la température annuelle moyenne et la moyenne 1951-1980 (0 des ordonnées), pour l'océan et les terres émergées. Source : GISS/NASA, 2019

# Notre affaire a déjà commencé ?



**Ecart entre la température annuelle moyenne et la moyenne 1961-1990 (0 des ordonnées), pour la France. Source : Météo France**

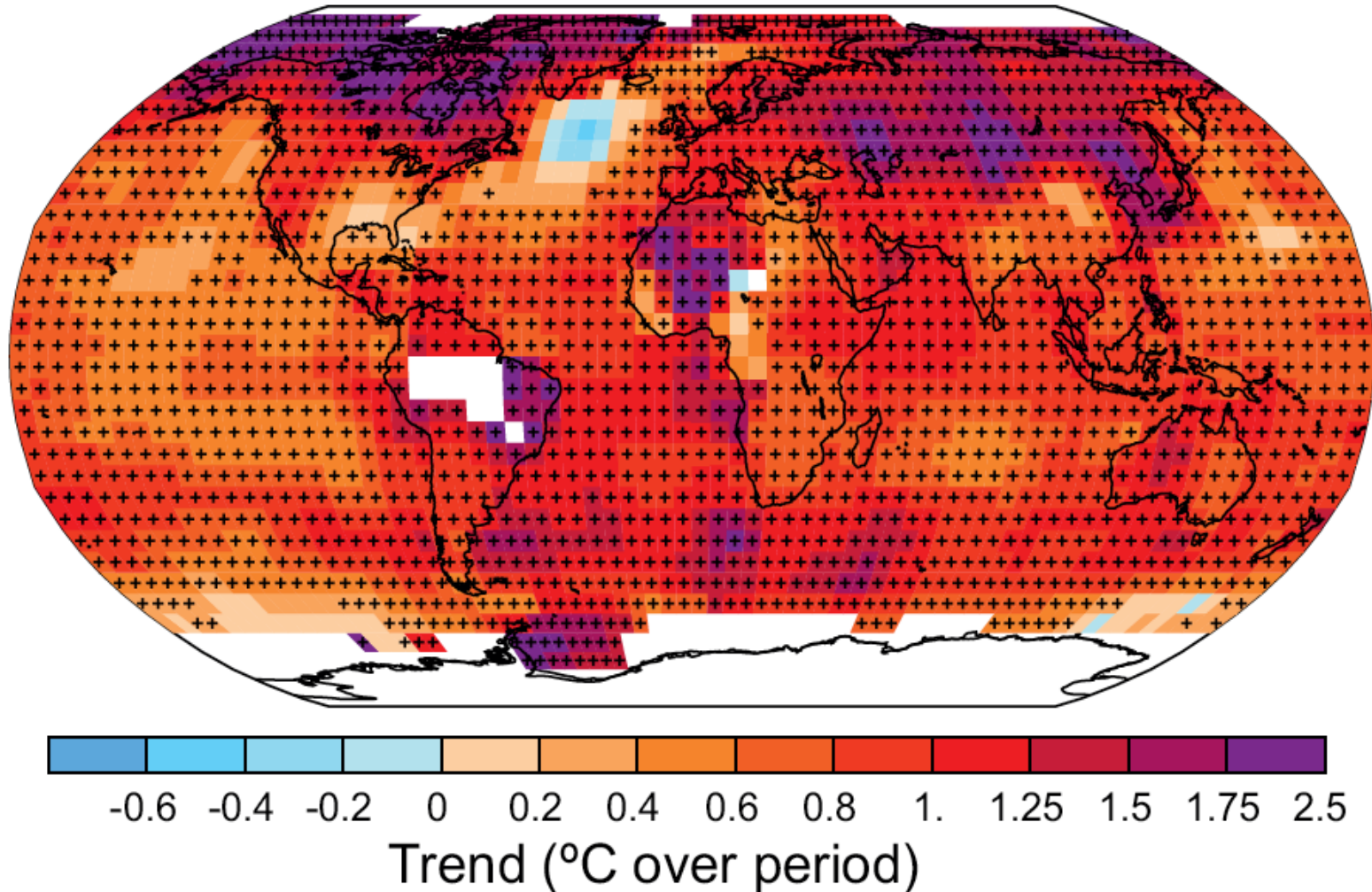
# Notre affaire a déjà commencé ?



Ecart à la normale saisonnière en hiver et été pour la métropole. Source : Météo France

# Un changement déjà décelable ?

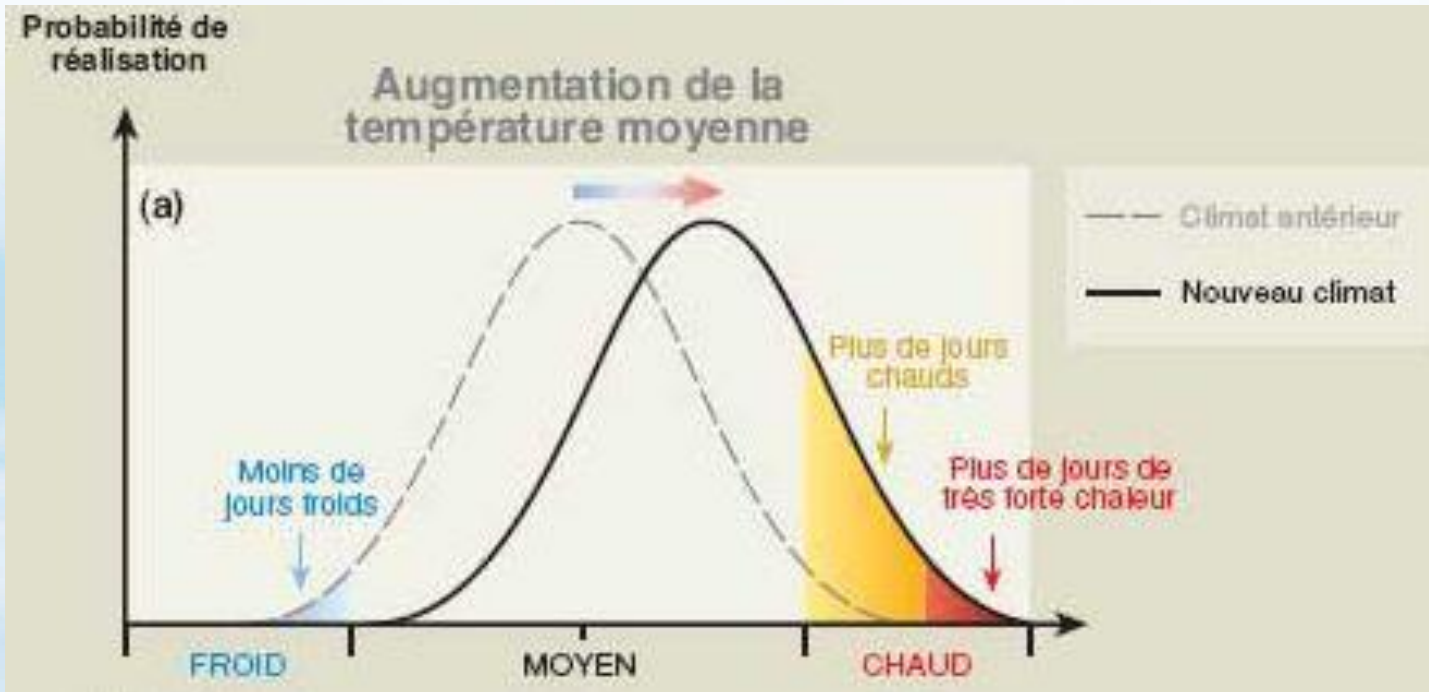
GISS 1901-2012



Différence de température moyenne entre 1901 et 2012 reconstituée par le Global Institute for Space Studies (NASA). Les zones blanches correspondent à des endroits où il n'y a pas assez de données. Source : 5th Assessment Report, IPCC, 2014

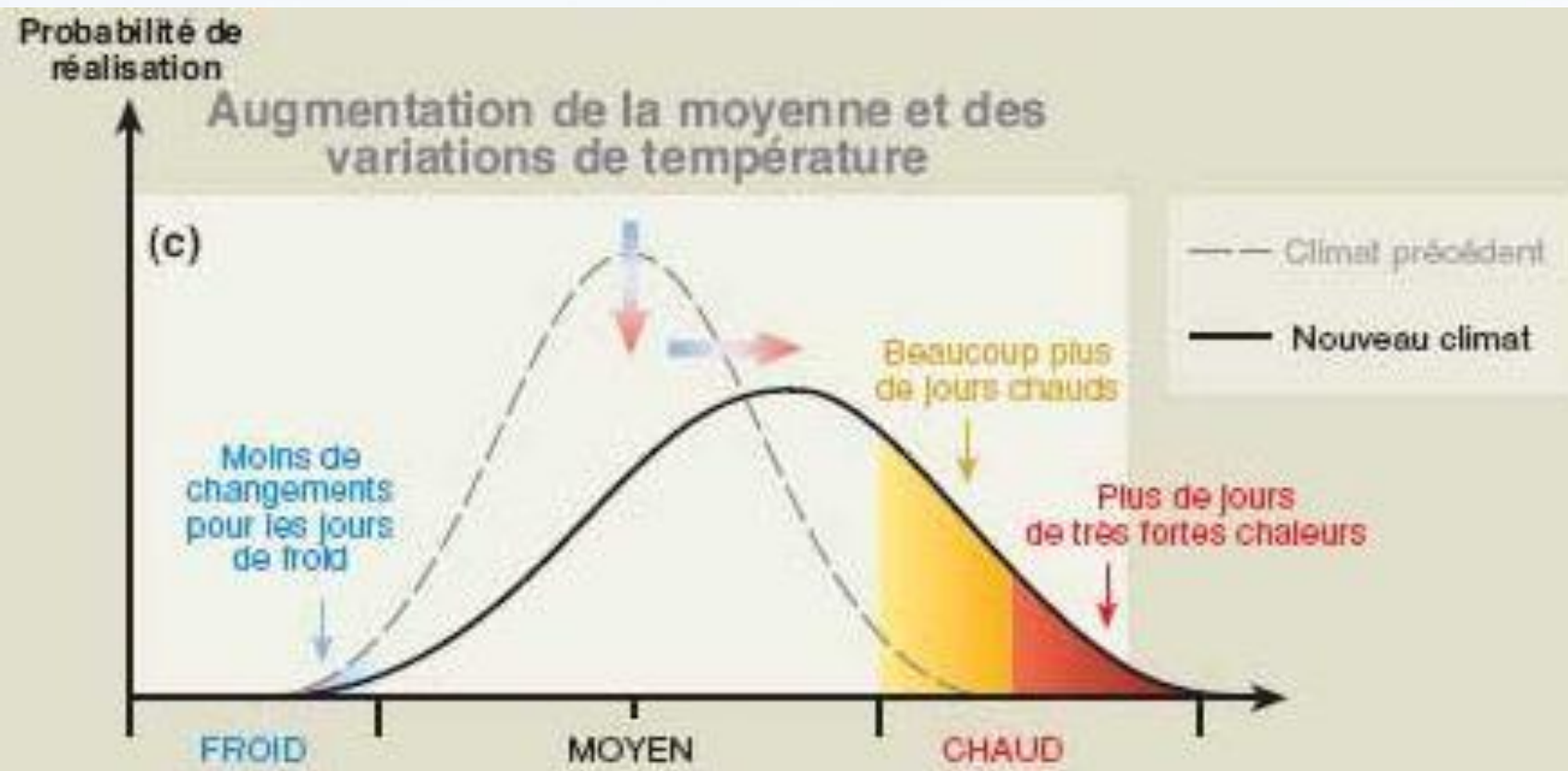


# Un simple déplacement de moyenne sera déjà un problème



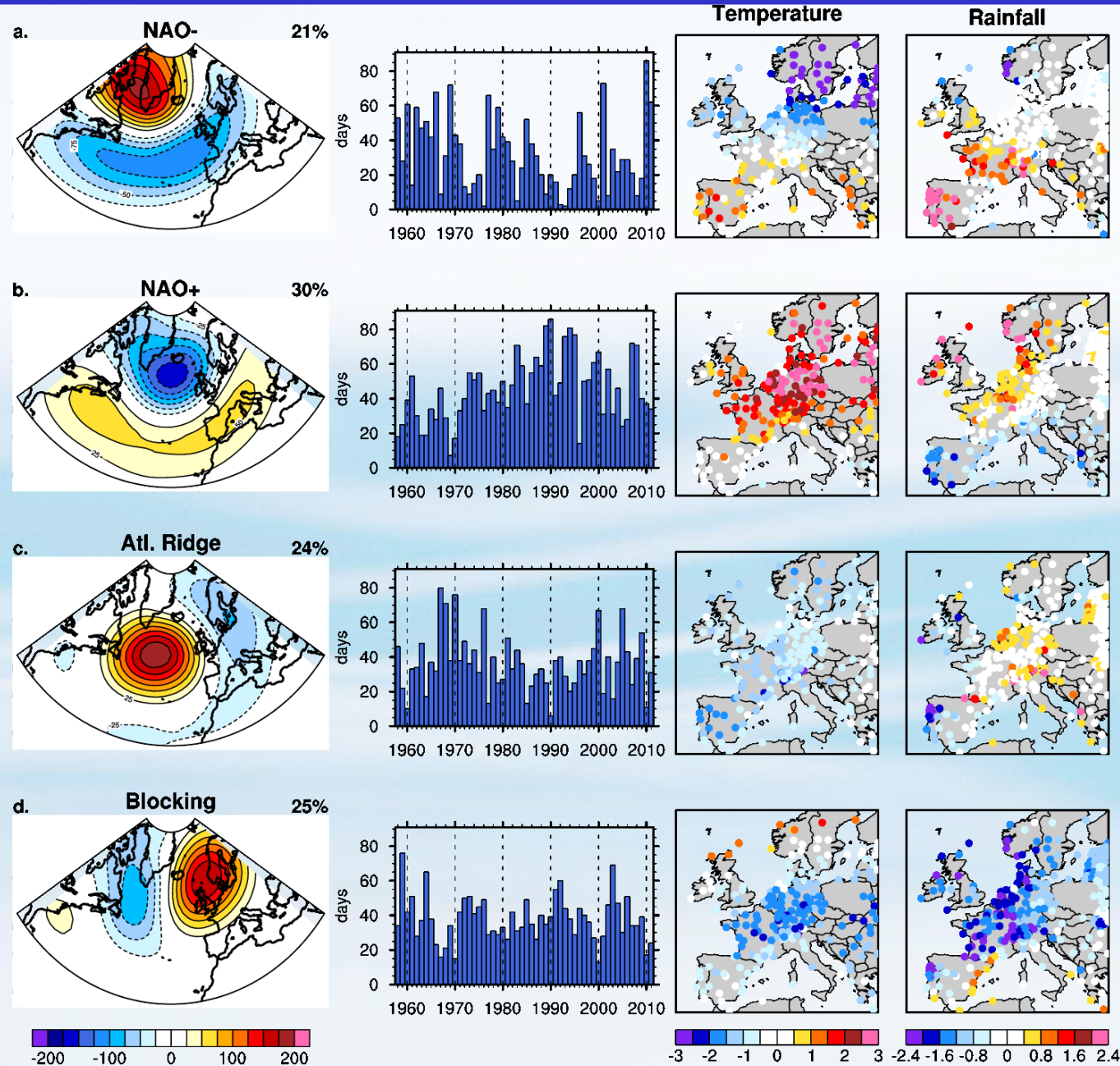
Elevation probable des épisodes de canicule. Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

# Et en plus la variabilité peut s'en mêler !

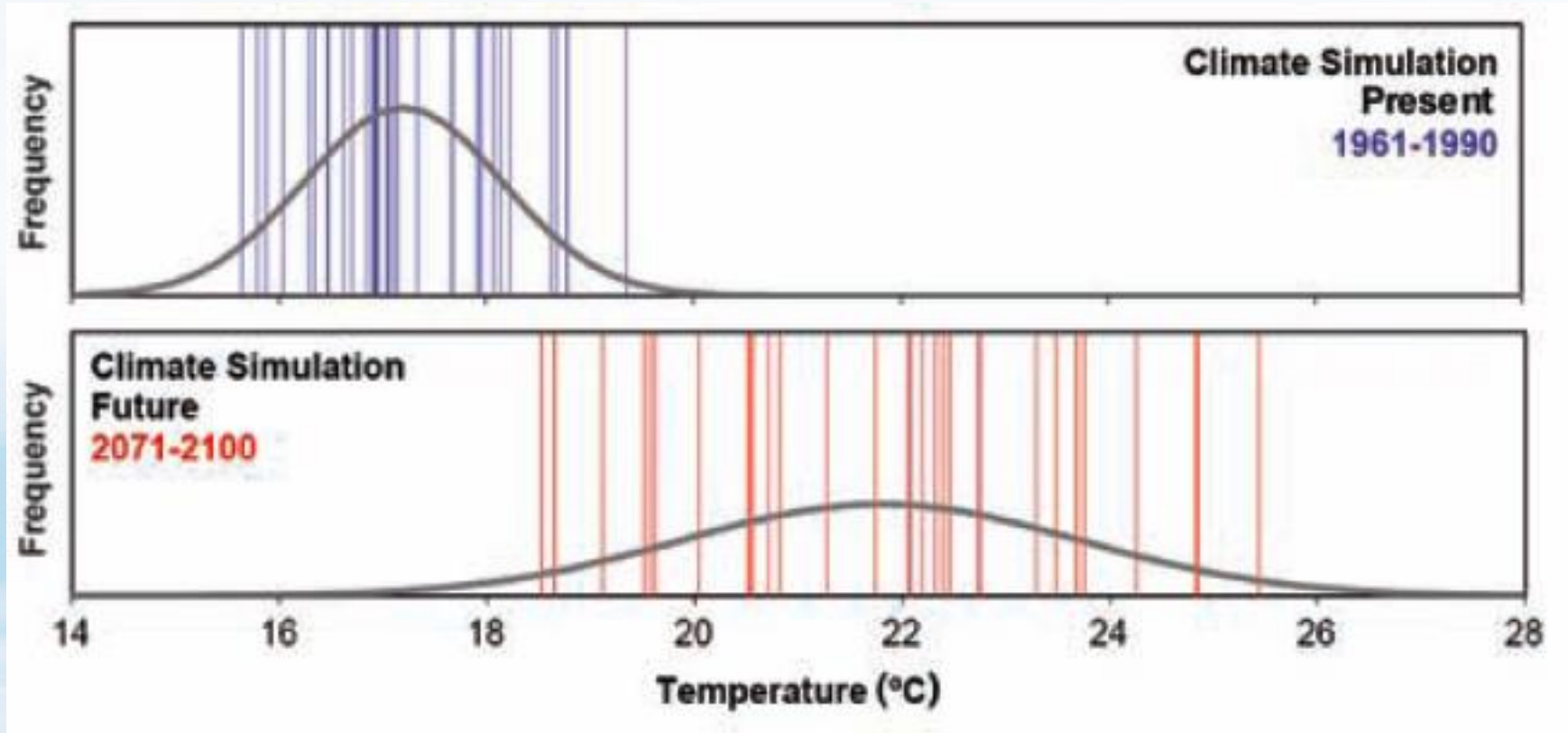


Forte élévation possible des épisodes de canicule. Source : Climate Change Source GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# Du global au local : une autre paire de manches



# Et de fait la variabilité devrait s'en mêler...

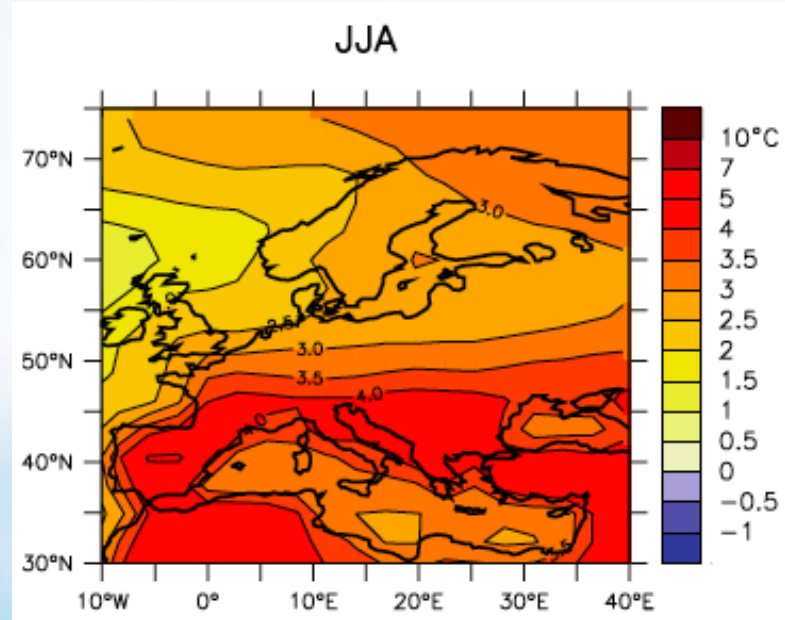


**Modification de la distribution des températures en Suisse avec un scénario intensif (A2) en 2100. On note une très forte augmentation de la variabilité : les épisodes de canicules sont encore plus intenses qu'avec un simple déplacement de moyenne.**

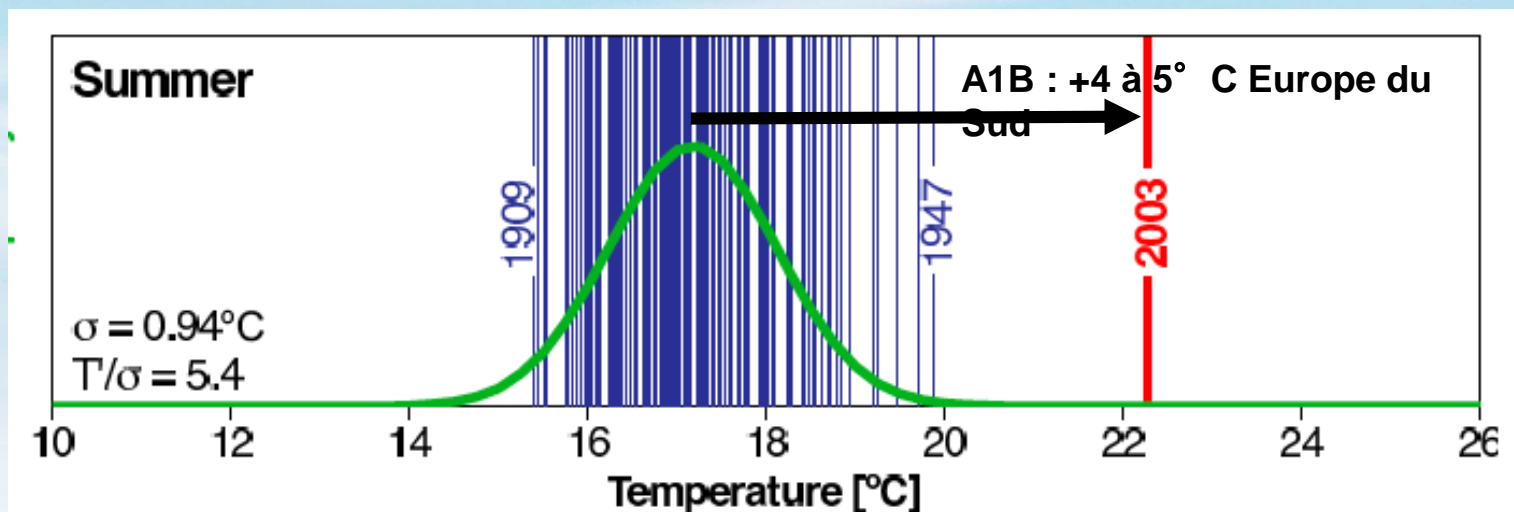
**Source : 4th Assessment report, 2007, GIEC**



# L'été 2003 deviendra-t-il la norme ?

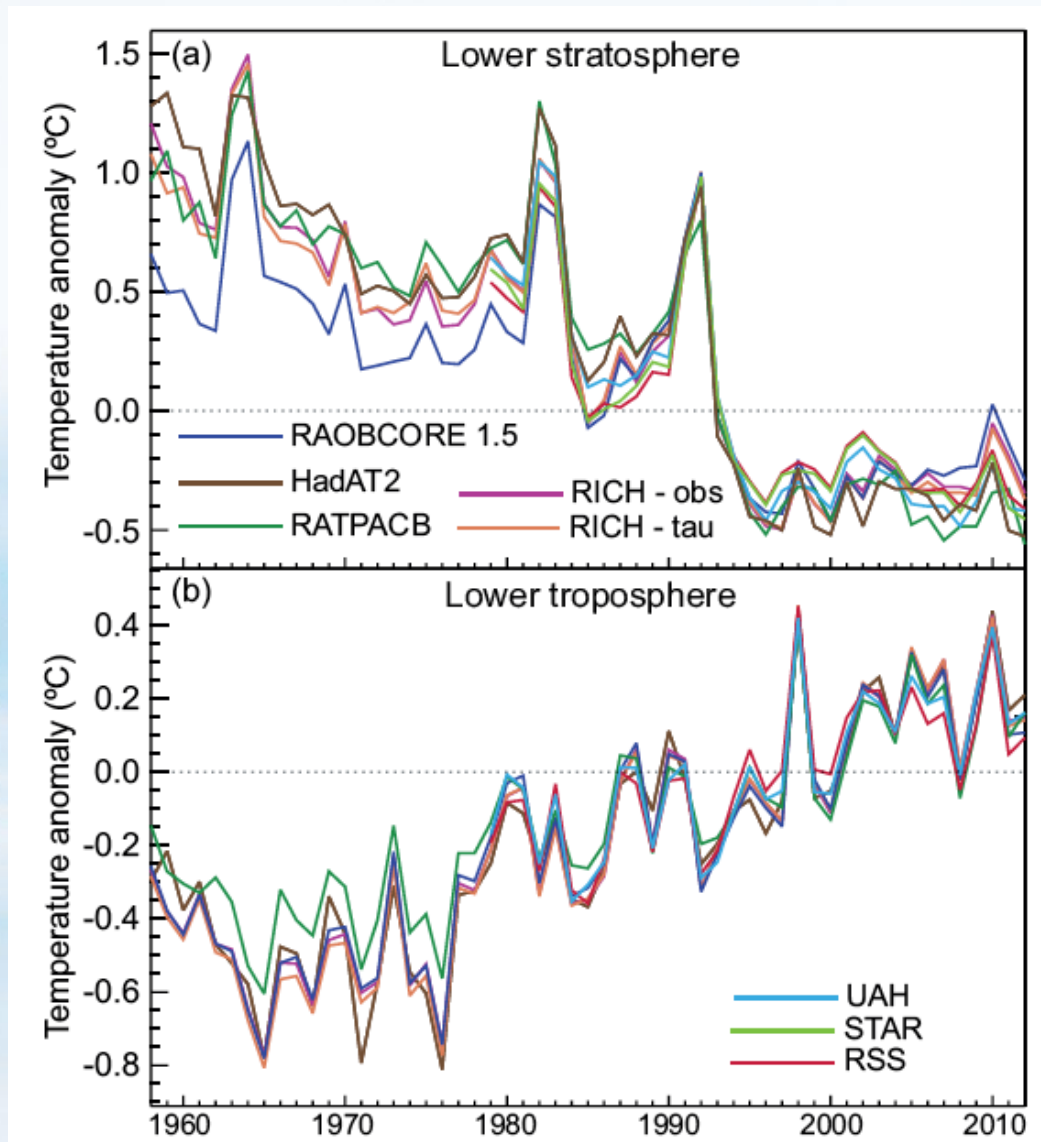


<- A1B (émissions x2 d'ici 2050 puis déclin) : +3° C monde



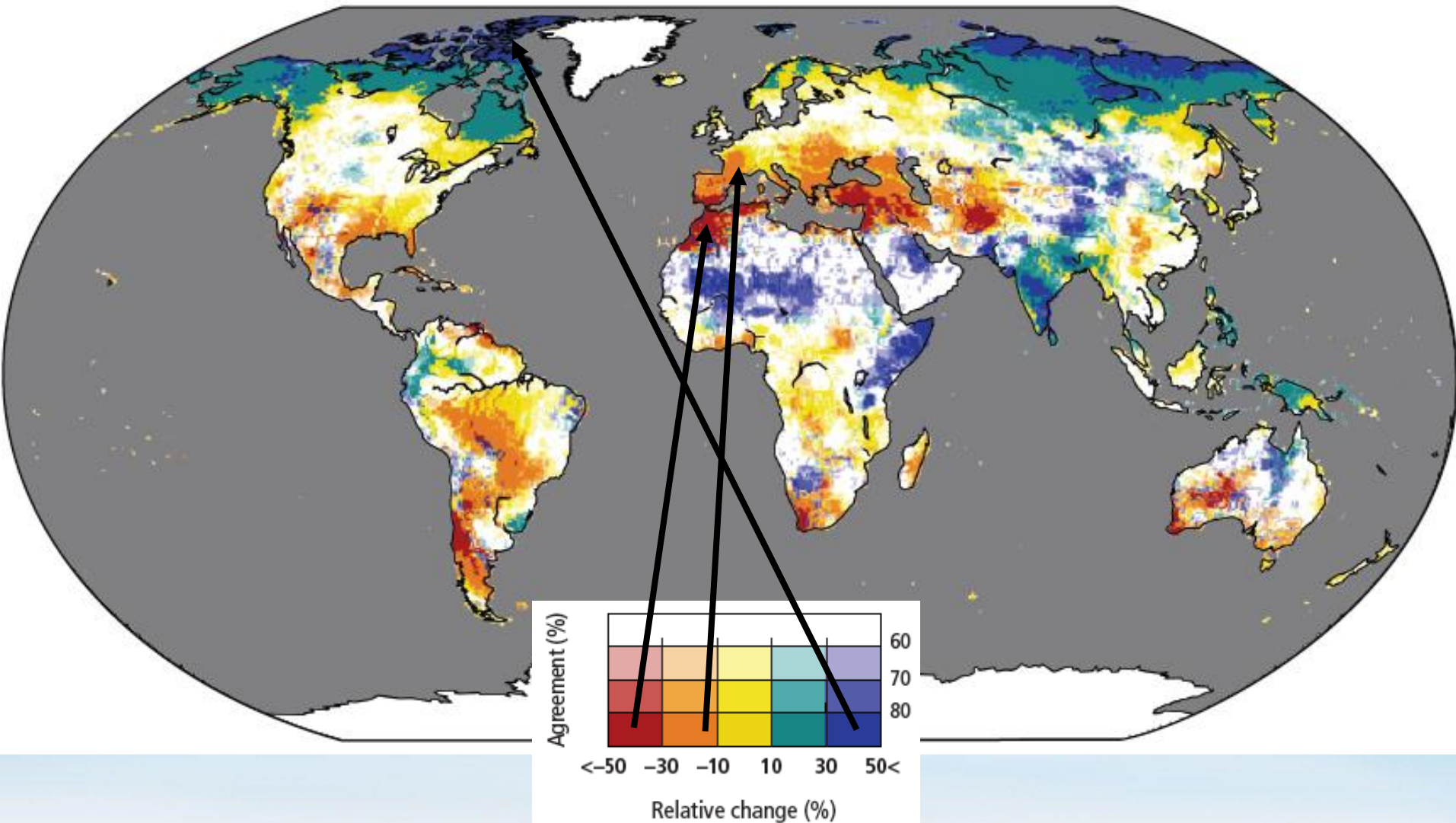
Distribution des températures moyennes des étés en Suisse entre 1864 et 2003.  
Source GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# Chaud aux pieds mais froid à la tête



**Evolution des températures moyennes près du sol (lower troposphere) et dans la partie basse de la stratosphère. Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014**

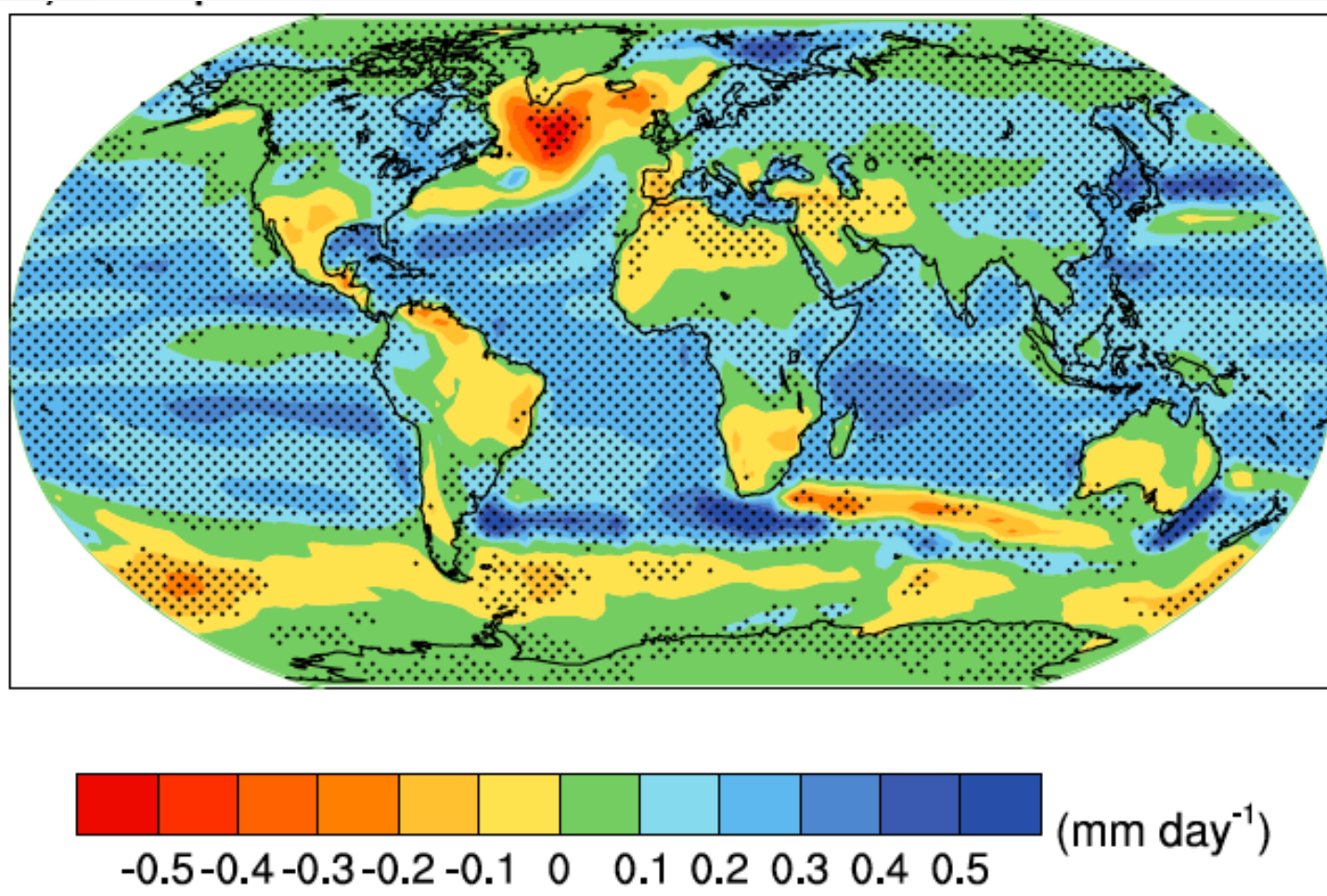
# Un climat, ce n'est pas juste une température moyenne



**Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une élévation de 2,7° C de la température moyenne (soit +2° C par rapport à 1980-2010). Source : GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014**



# Un climat, c'est plus qu'une température moyenne (ter)

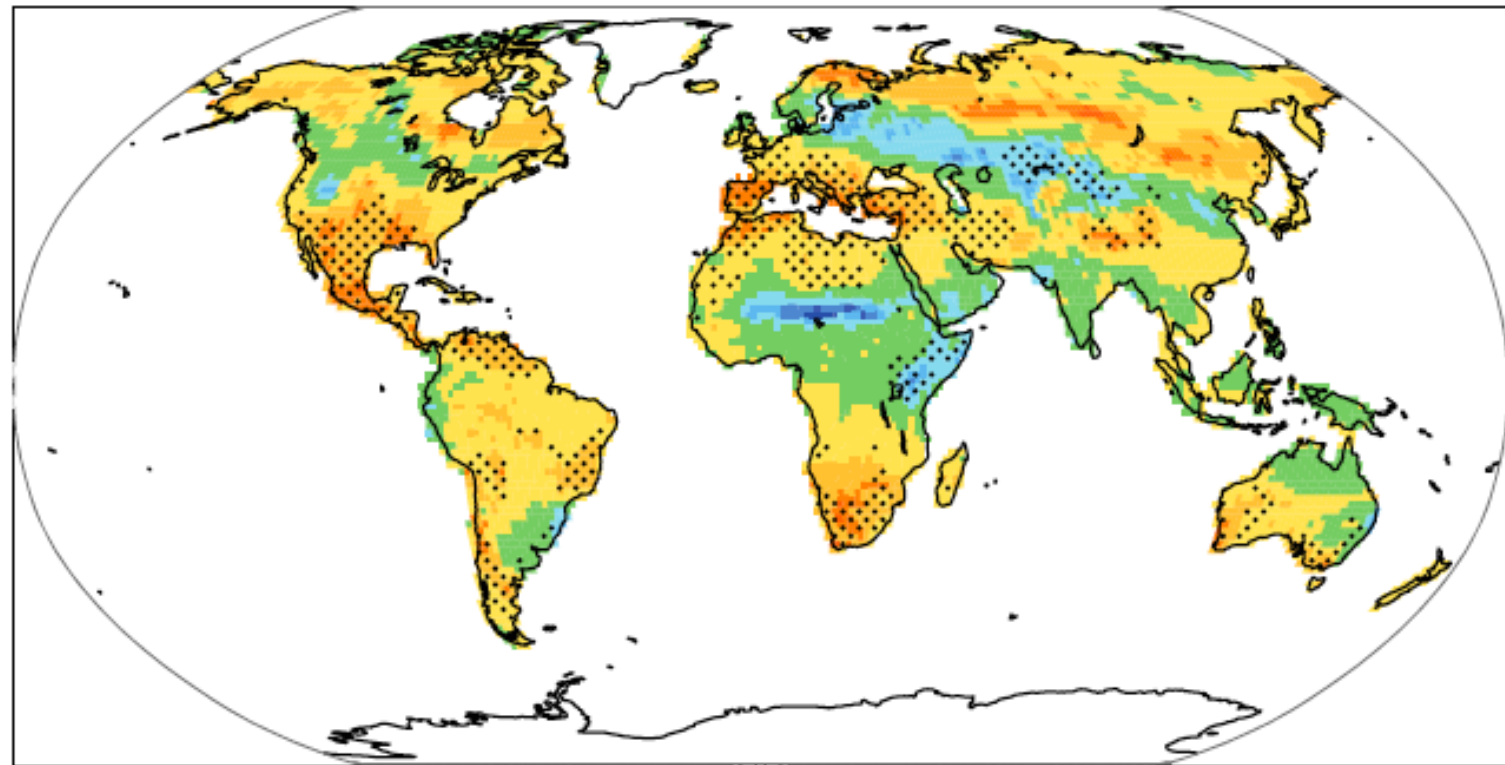


Moyenne inter-modèles de l'évolution de l'évaporation en 2090-2099 par rapport à la moyenne 1980-1999, pour deux saisons et un scénario « charbon haut » (pas de couplage avec le cycle du carbone). Attention ! La couleur bleue signifie une augmentation de l'évaporation, donc un assèchement toutes choses égales par ailleurs

Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007



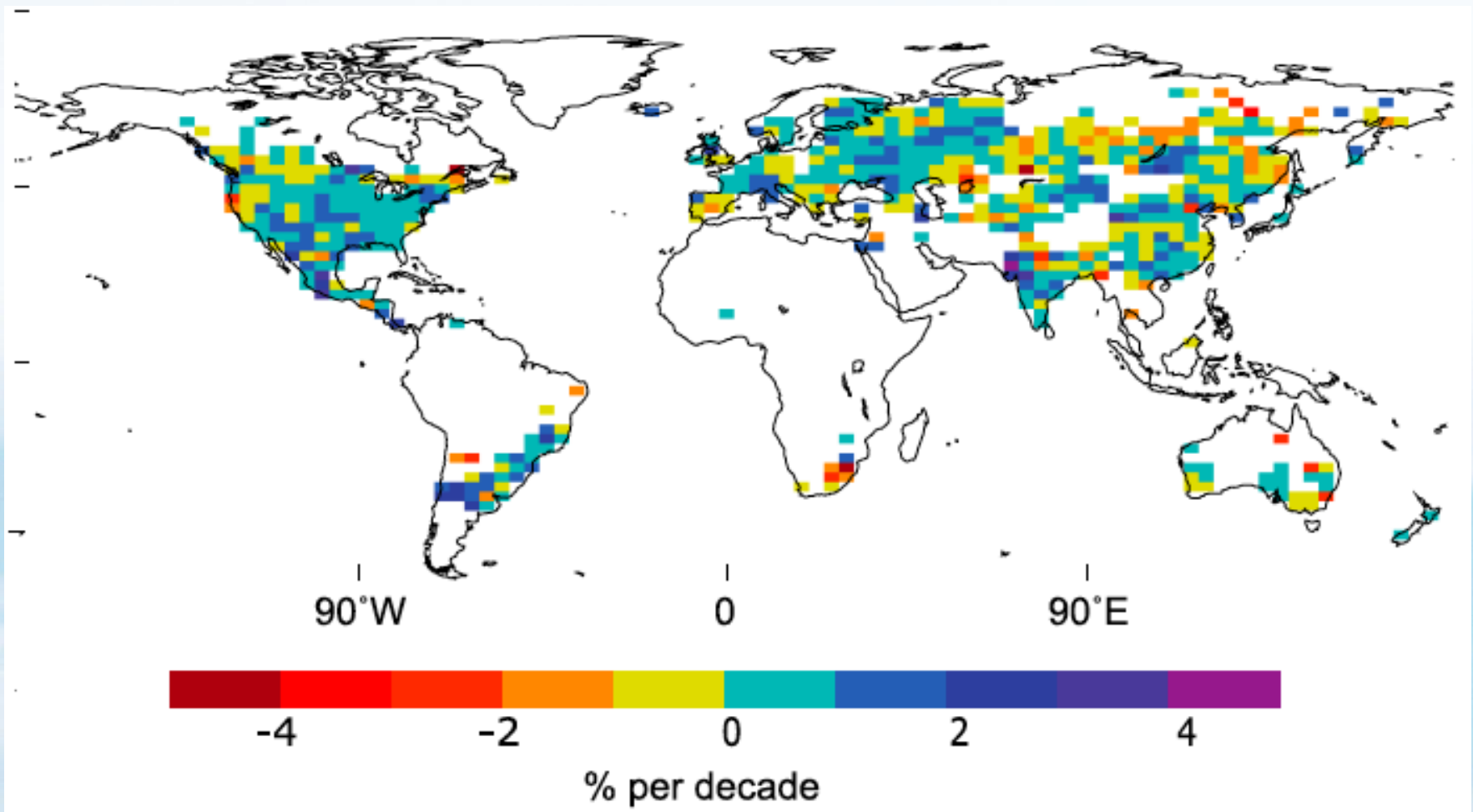
# Un climat, c'est plus qu'une température moyenne (quater)



**Moyenne inter-modèles de l'évolution de l'humidité des sols en 2090-2099 par rapport à la moyenne 1980-1999, pour deux saisons et un scénario « charbon haut » (AIB, pas de couplage avec le cycle du carbone).**

**Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007**

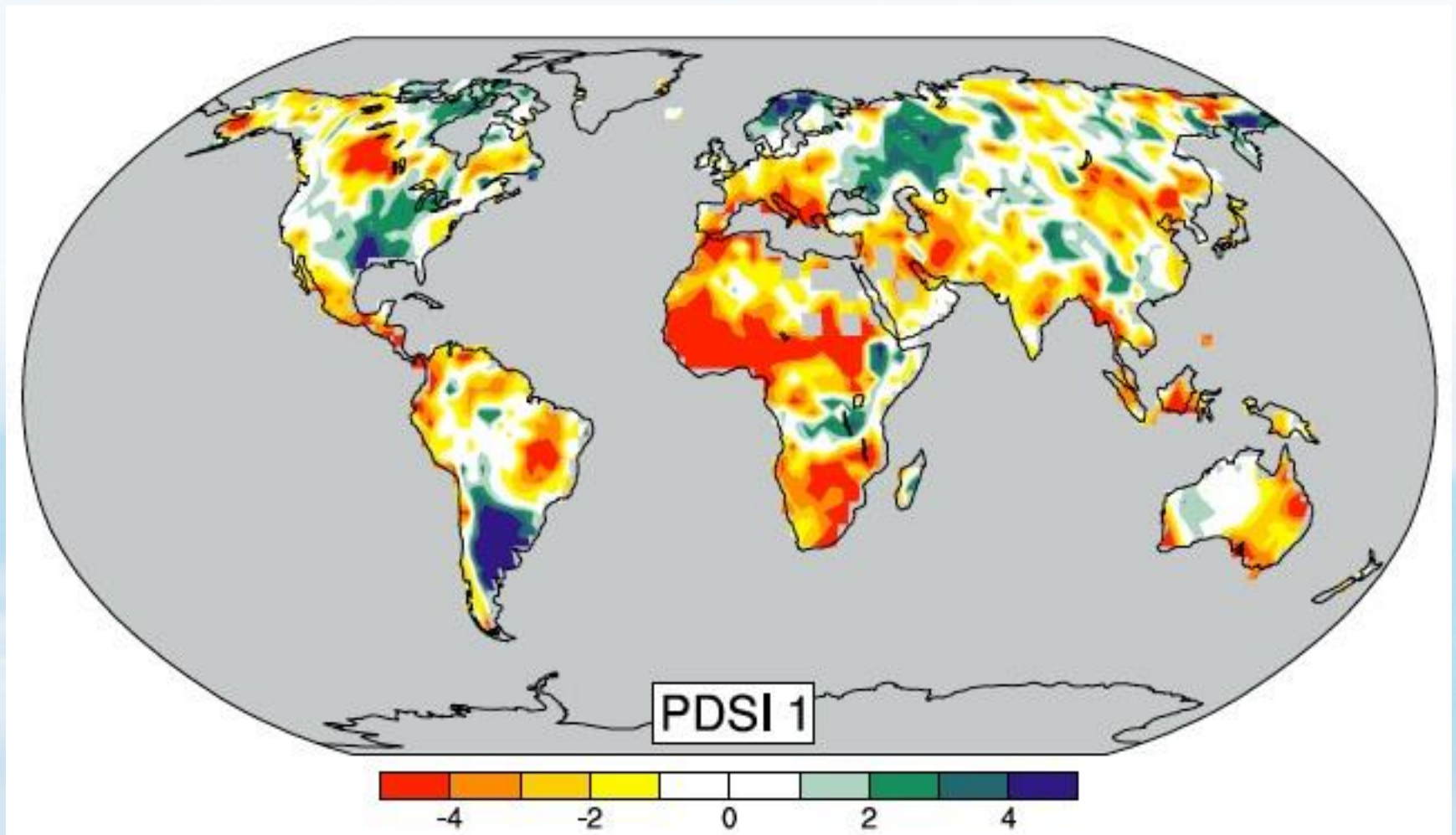
# Déjà plus d'épisodes pluvieux intenses ?



Variation décennale moyenne, sur la période 1951 - 2003, des épisodes pluvieux intenses dans le monde (seules les zones colorées sont suffisamment documentées pour permettre l'établissement d'une série longue).

Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# Déjà des sols plus secs ?

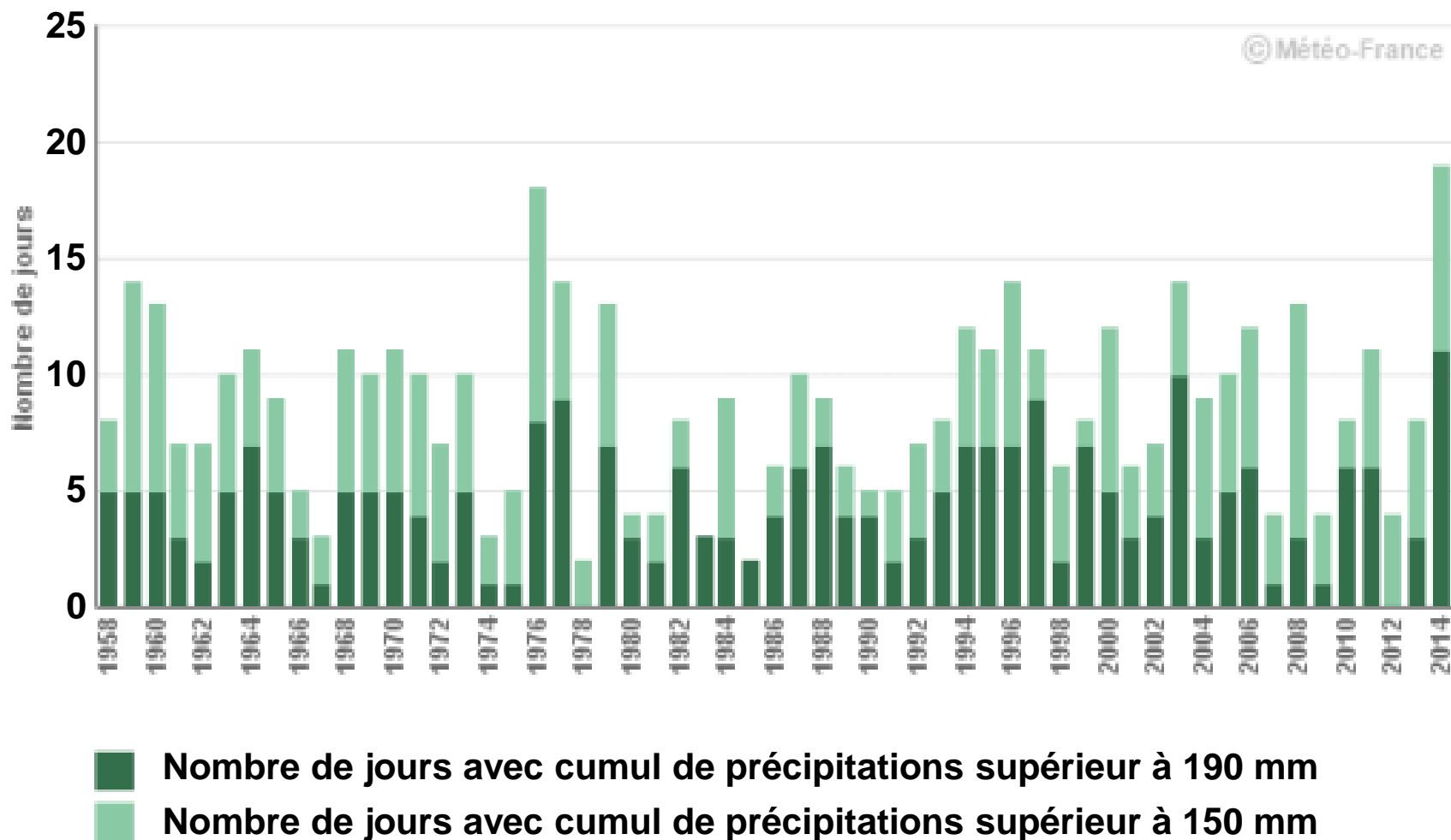


Evolution de 1900 à 2005 de l'index utilisé pour évaluer l'état de sécheresse d'une région, l'index Palmer (en anglais : PDSI, pour Palmer Drought Severity Index). Le sol des régions en jaune et rouge s'est asséché, le sol des régions en bleu et vert humidifié.

Source : GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# Plus « d'épisodes cévenols » en France ? : pas clair

Pluies diluviennes en région méditerranéenne



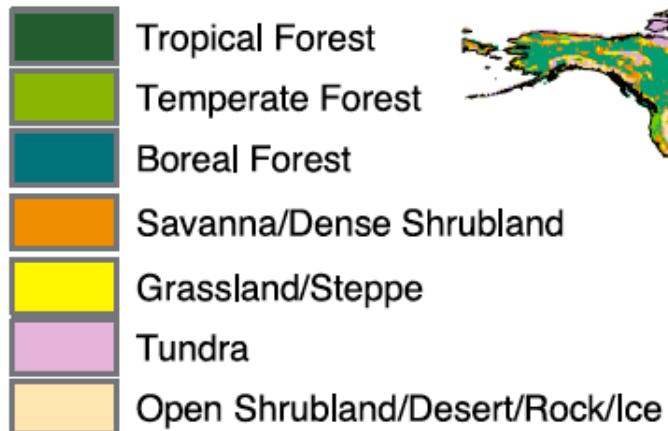
Nombre annuel d'épisodes pluvieux intenses dans le Sud-Est de la France depuis 1958.

Source : Météo France

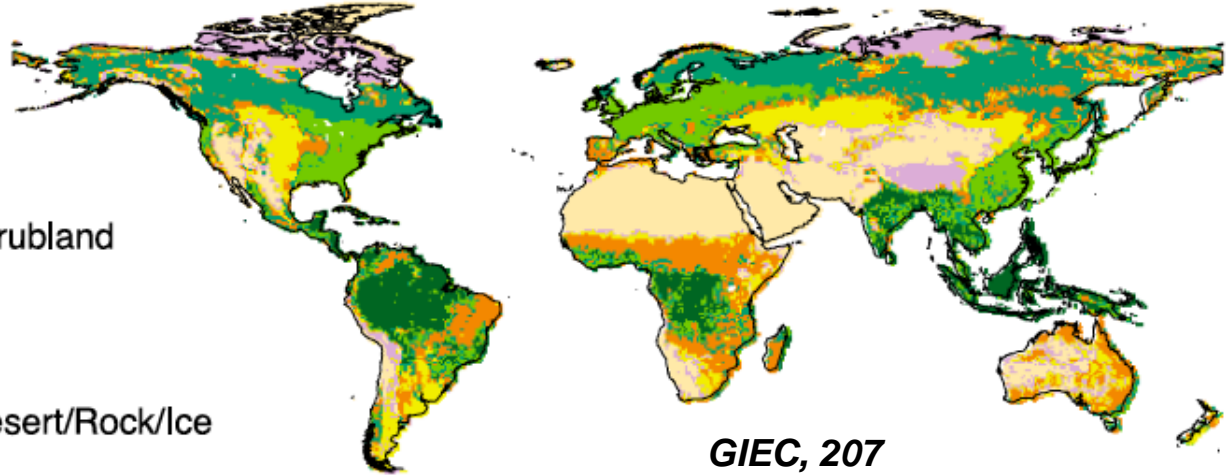


# Atteintes des écosystèmes continentaux et de l'agriculture

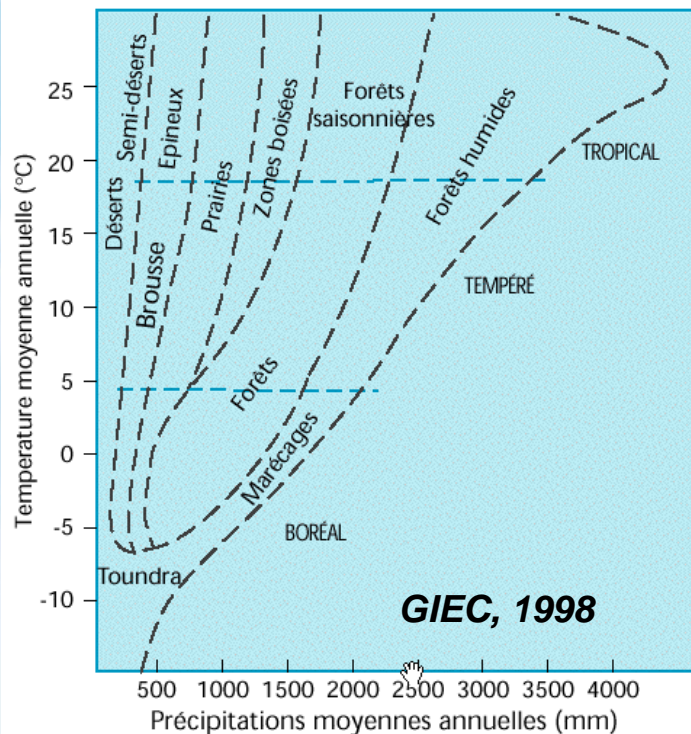
## Biome Type



## Potential Natural Vegetation

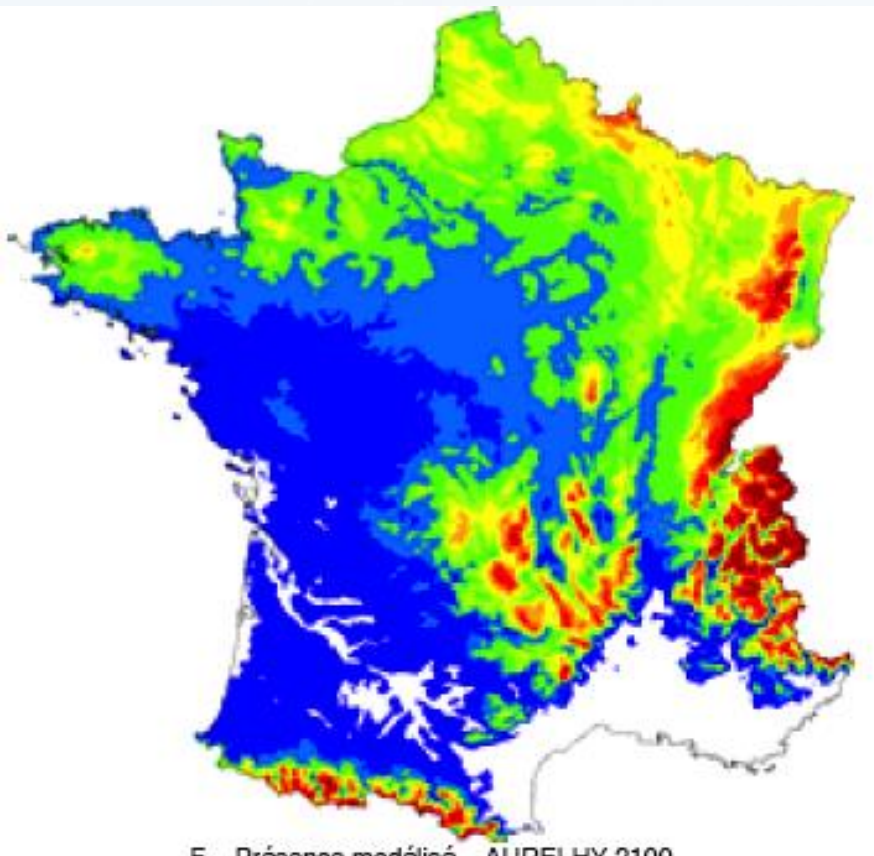


GIEC, 207

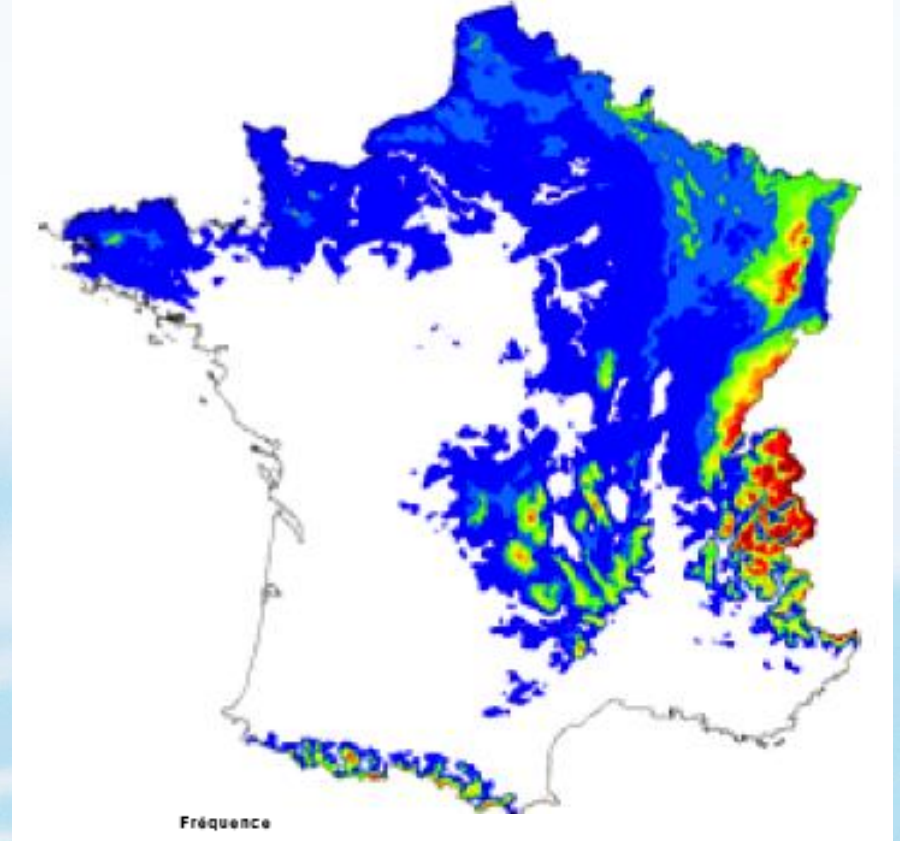


- **Diminution** des récoltes agricoles et forestières ?
- **Diminution** du nombre d'écosystèmes (désertification par endroits ?)
- **Appauvrissement** des écosystèmes survivants ?
- Invasions d'espèces exotiques ?

# Exemple : le hêtre en France

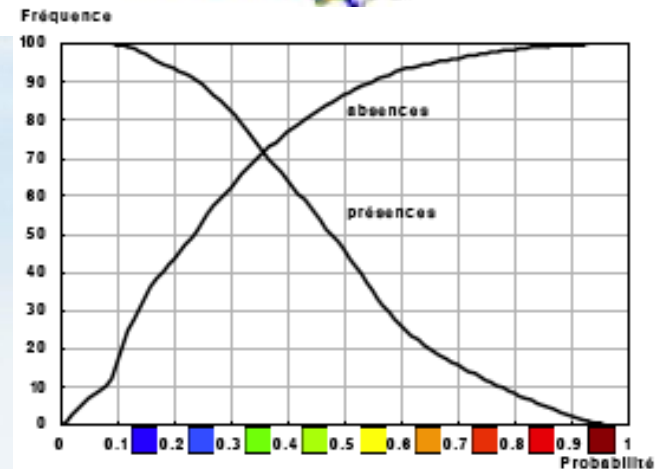


F - Présence modélisée - AIIPEI HY 2100

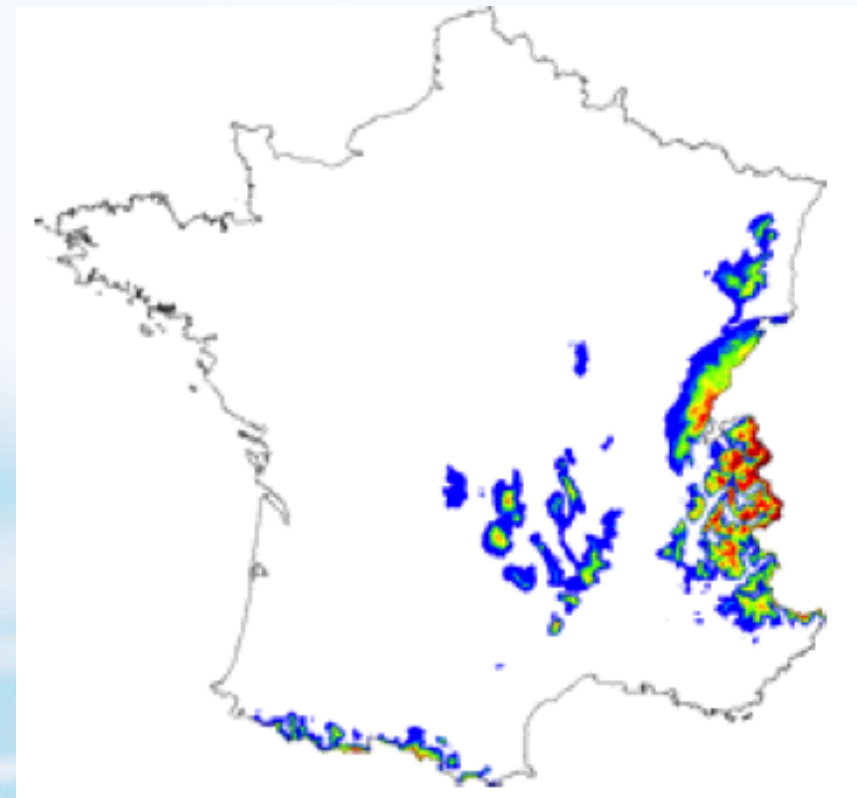
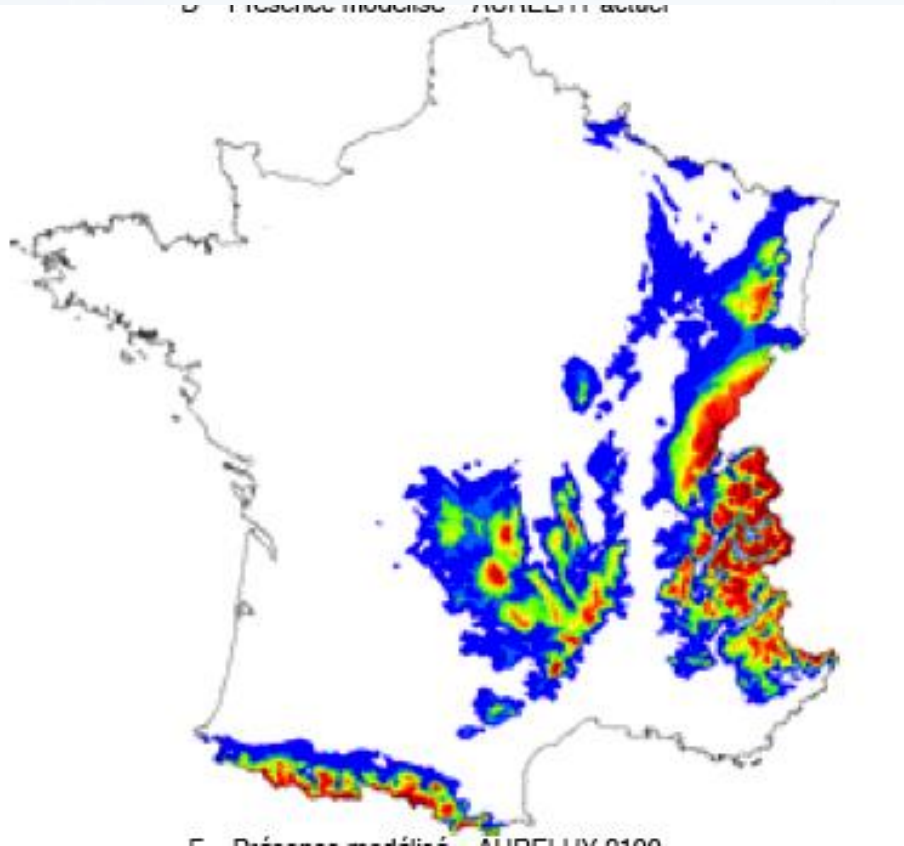


Aire de répartition du hêtre aujourd'hui (à gauche) et potentiel en 2100 (à droite) avec un scénario « peu émissif » (B2).

Source : Badeau et al., CARBOFOR, INRA Nancy, 2004

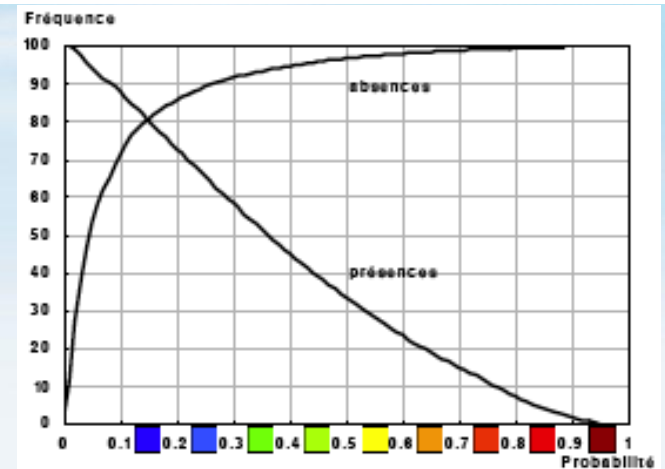


# Exemple (2): le sapin en France



Aire de répartition du sapin aujourd'hui (à gauche) et potentiel en 2100 (à droite) avec un scénario « peu émissif » (B2).

Source : Badeau et al., CARBOFOR, INRA Nancy, 2004





# Ca brûle ! (aujourd'hui)



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

cartographie nationale des zones  
potentiellement sensibles  
aux incendies de forêts

Période de référence 1989-2008

réalisation mai 2010 :

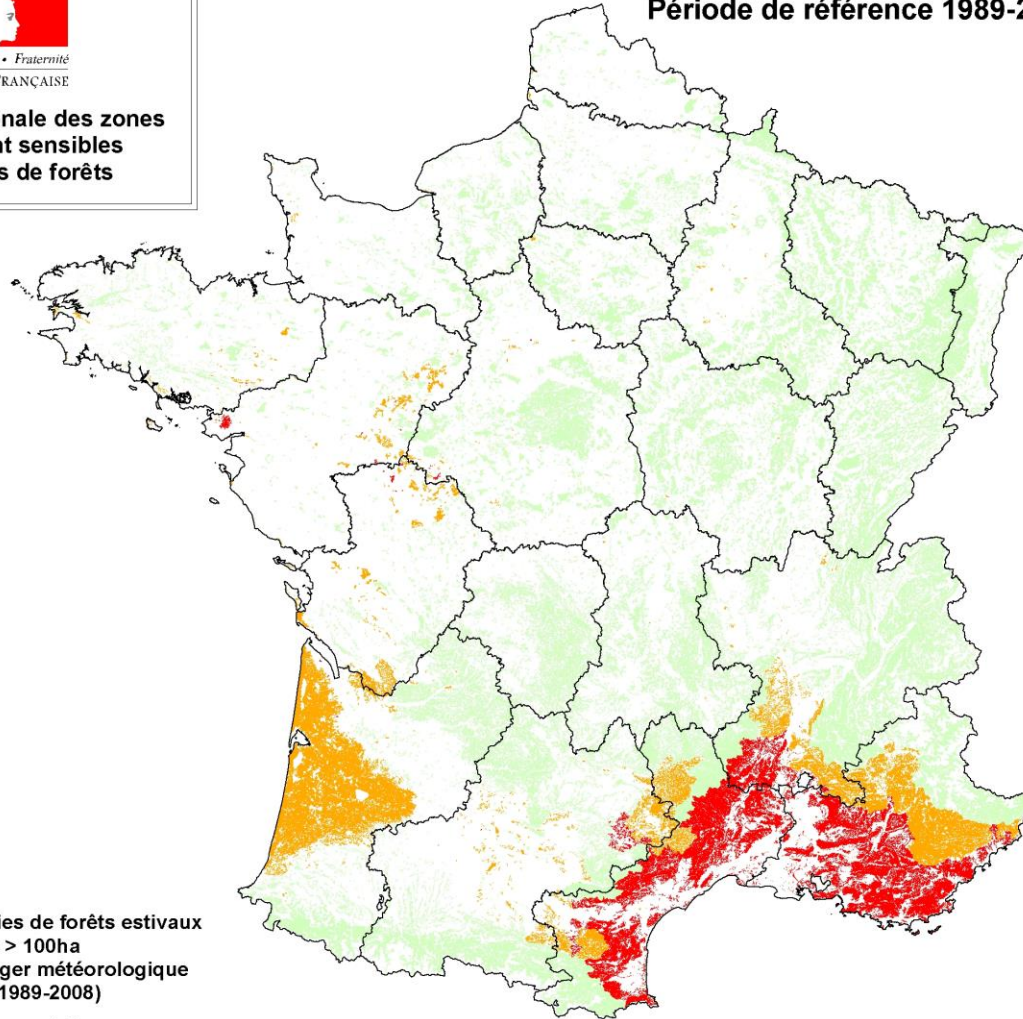


INVENTAIRE FORESTIER  
NATIONAL






METEO FRANCE  
Toujours un temps d'avance

cartographie produite dans le cadre  
de la mission d'inspection conjointe  
sur l'extension future des zones à  
risque élevé d'incendie de forêt  
par intervention conjointe des services  
de Météo-France, de l'IFN et de l'ONF

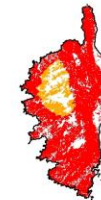


sensibilité aux incendies de forêts estivaux  
des massifs forestiers > 100ha  
aux conditions de danger météorologique  
de référence (période 1989-2008)

-  1 (indice moyen  $\leq 1,6$ )
-  2 ( $1,6 < \text{indice moyen} < 2,5$ )
-  3 (indice moyen  $\geq 2,5$ )

0 50 100 200 300 400  
Kilomètres

source des données : Inventaire Forestier National, Institut Géographique National, Agence Européenne de l'Environnement, Météo-France



**Indice Forêt Météo aujourd'hui. L'IMF combine la probabilité d'un départ de feu ainsi que sa vitesse probable de propagation. Source Météo France/Inventaire Forestier National.**

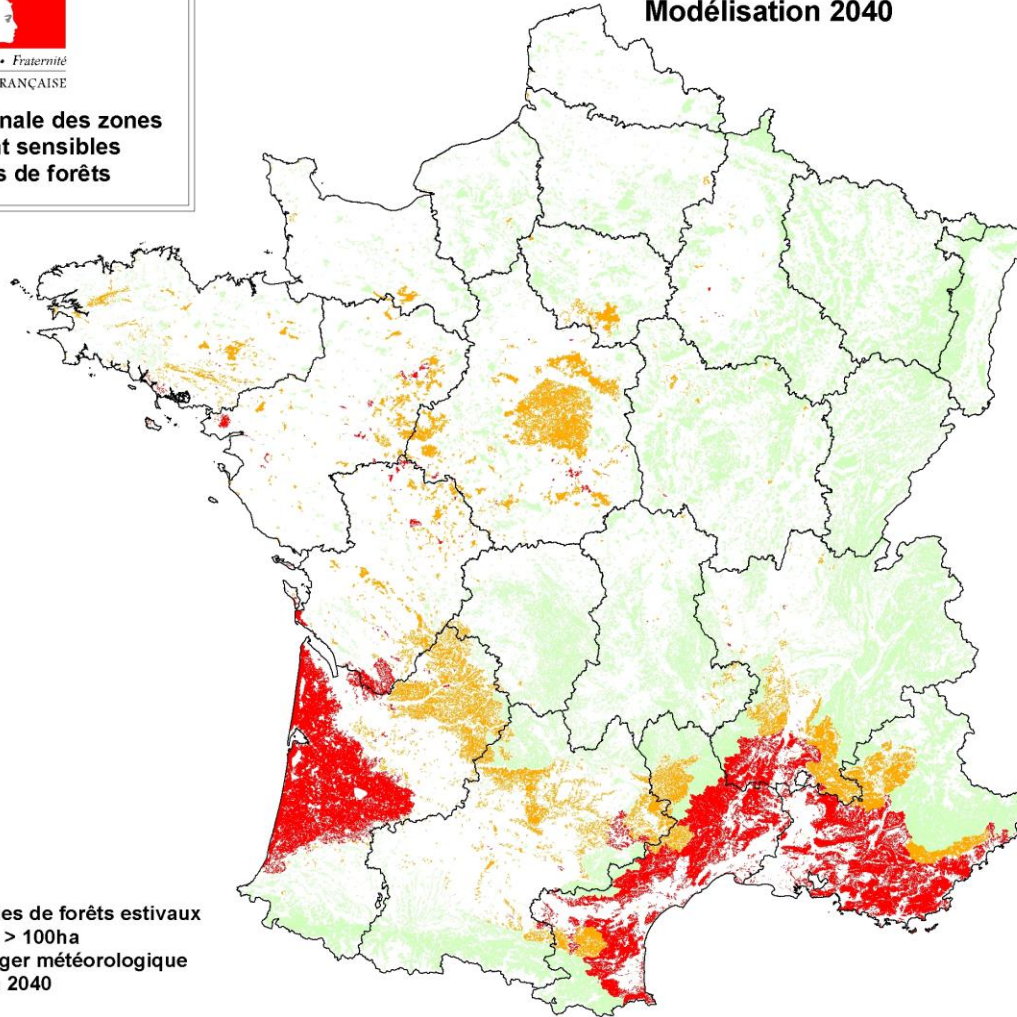


# Ca brûle ! (aujourd'hui)






cartographie nationale des zones  
potentiellement sensibles  
aux incendies de forêts

Modélisation 2040



sensibilité aux incendies de forêts estivaux  
des massifs forestiers > 100ha  
aux conditions de danger météorologique  
modélisées à l'horizon 2040

-  1 (indice moyen  $\leq 1,6$ )
-  2 ( $1,6 < \text{indice moyen} < 2,5$ )
-  3 (indice moyen  $\geq 2,5$ )

source des données : Inventaire Forestier National, Institut Géographique National, Agence Européenne de l'Environnement, Météo-France



réalisation mai 2010 :



INVENTAIRE FORESTIER  
NATIONAL

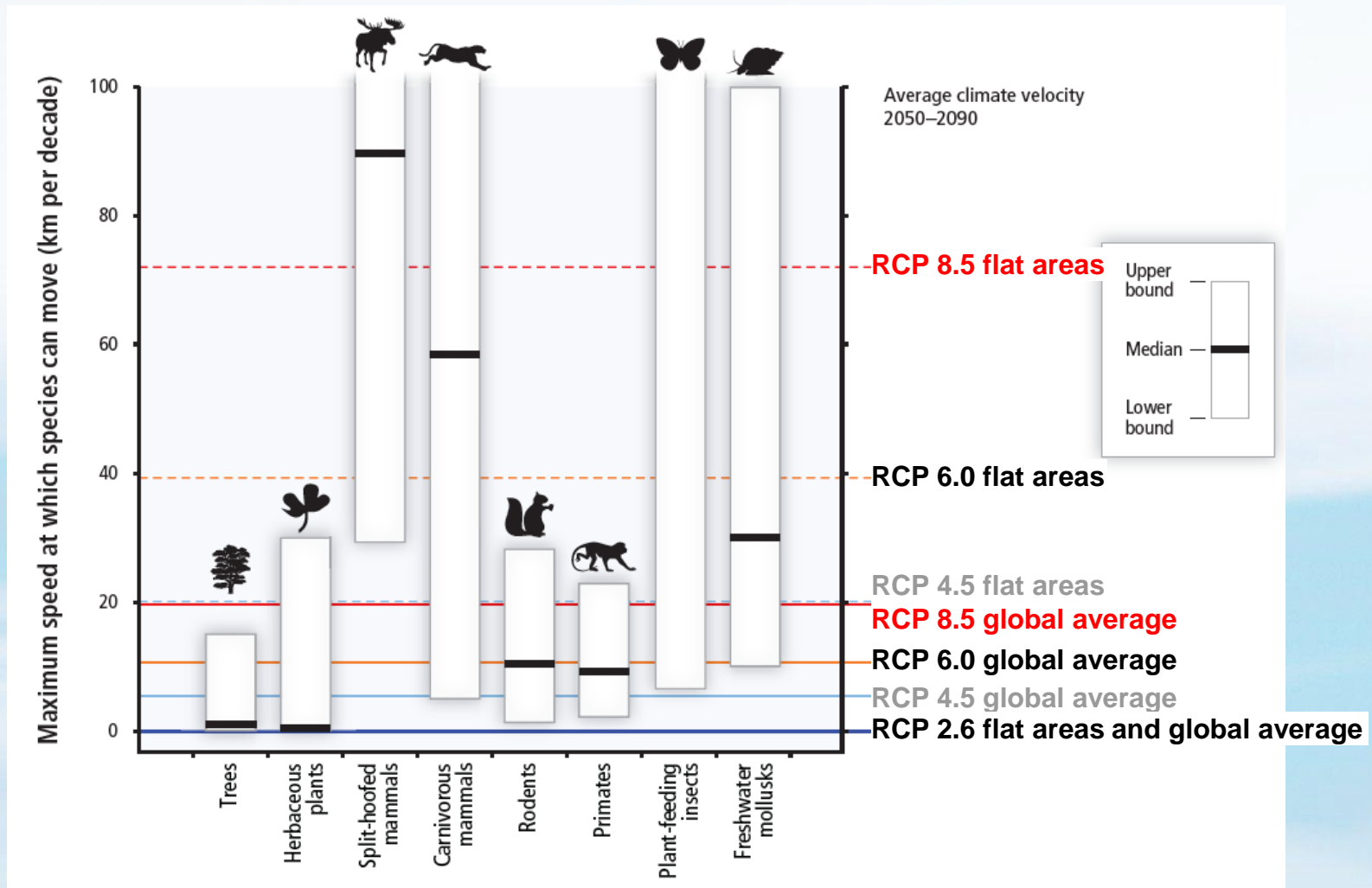


METEO FRANCE  
Toujours un temps d'avance

cartographie produite dans le cadre  
de la mission d'inspection conjointe  
sur l'extension future des zones à  
risque élevé d'incendie de forêt  
par intervention conjointe des services  
de Météo-France, de l'IFN et de l'ONF

**Indice Forêt Météo en 2040. Source Météo France/Inventaire Forestier National.**

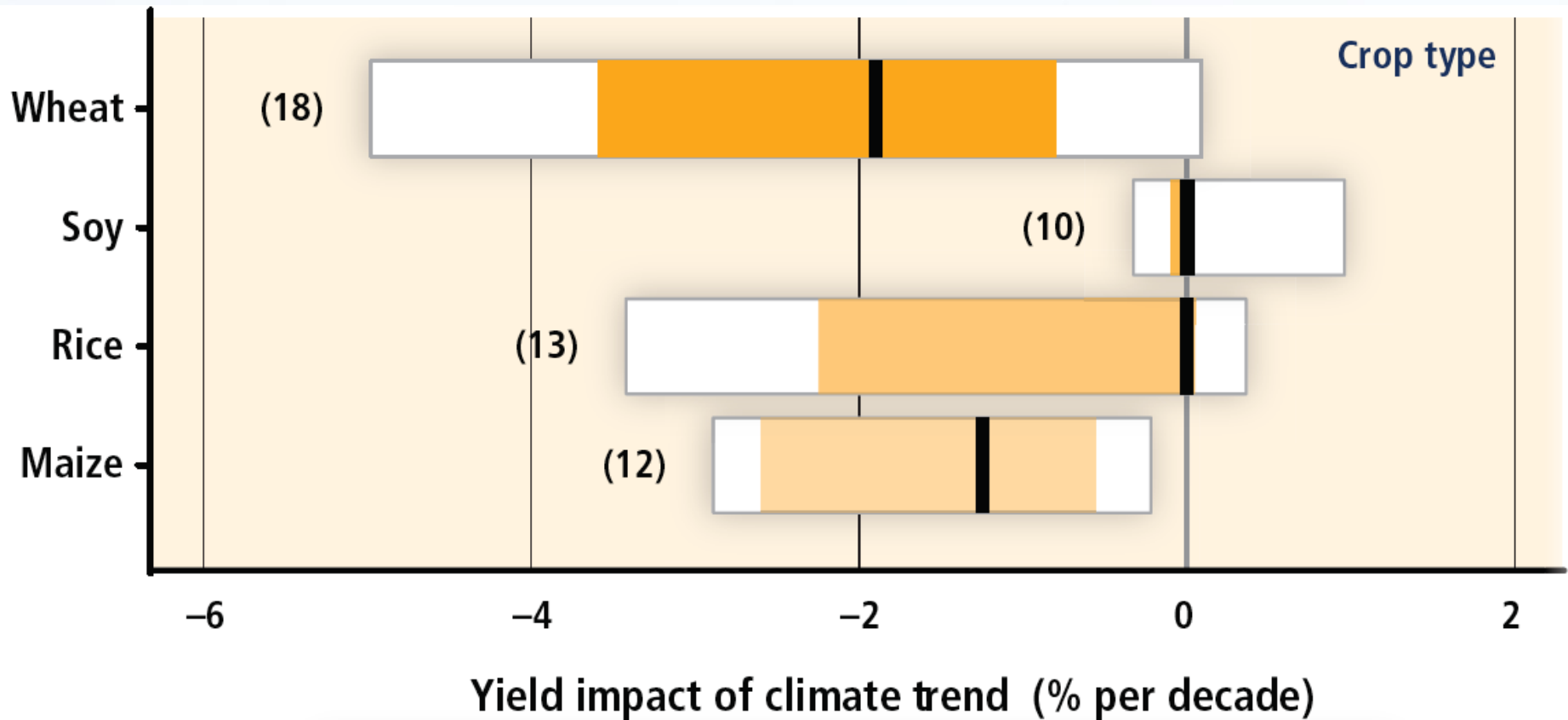
# Survivra, survivra pas ?



Vitesse de migration possible de diverses classes d'espèces, et vitesse de déplacement des zones climatiques vers les pôles.

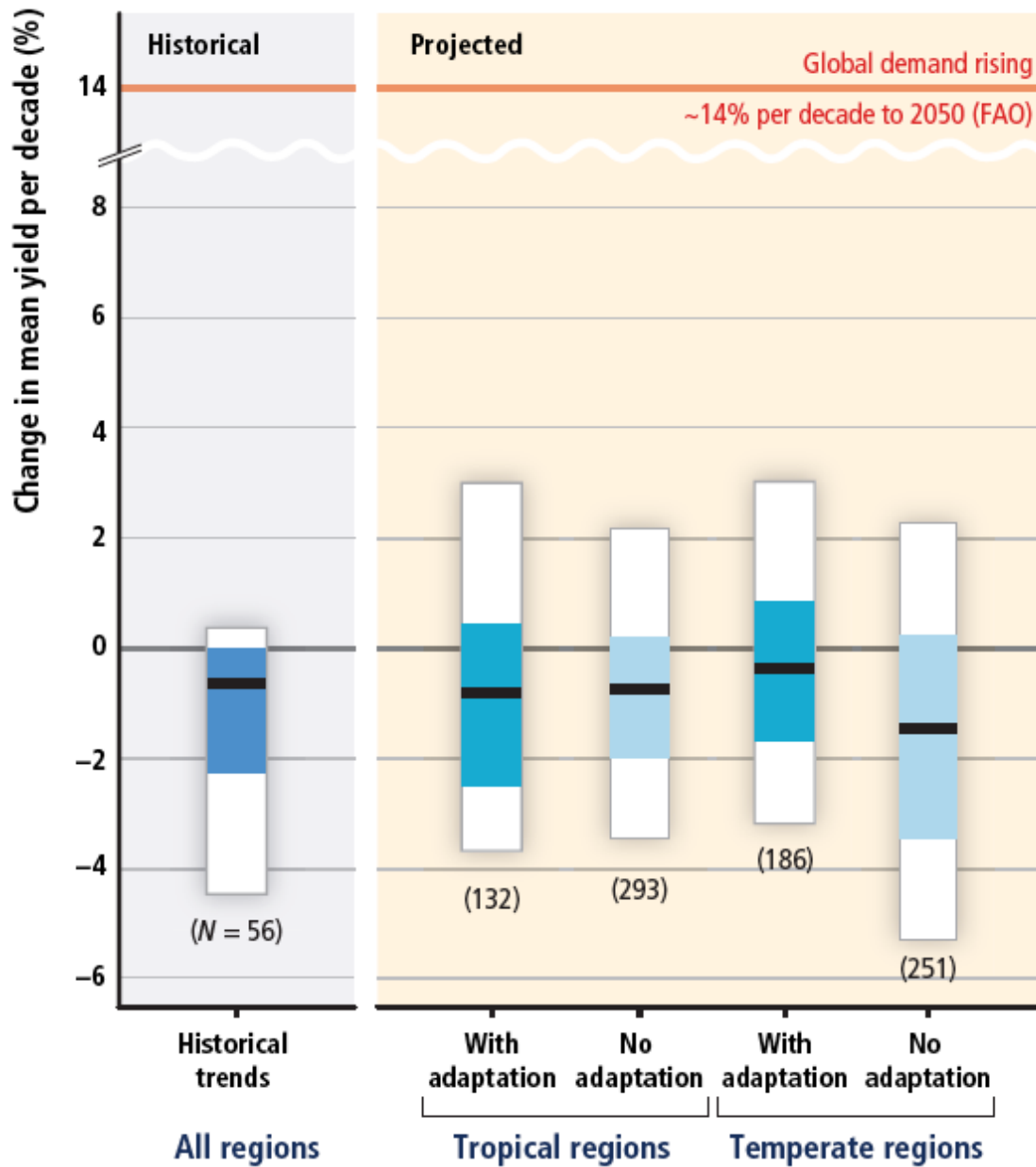
Source GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

# Poussera, poussera pas ?



Tendance actuelle sur la variation décennale des rendements par type de production (moyenne mondiale). Source GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

# Mangera, mangera pas ?

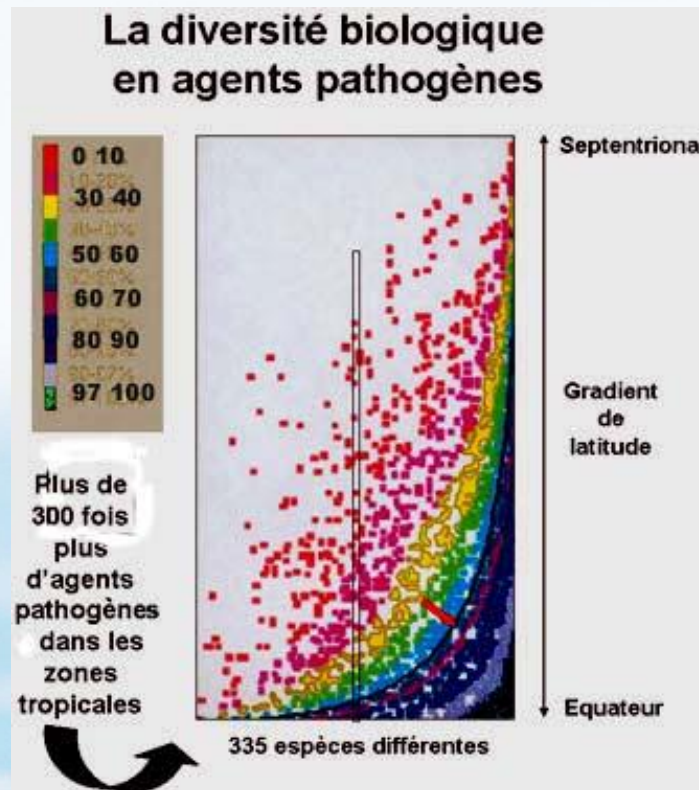


Variation des rendements (% par décennie) des cultures selon la zone climatique et l'existence ou non de mesures d'adaptation.

Source GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014



# Impacts sur la santé : fichue biodiversité !

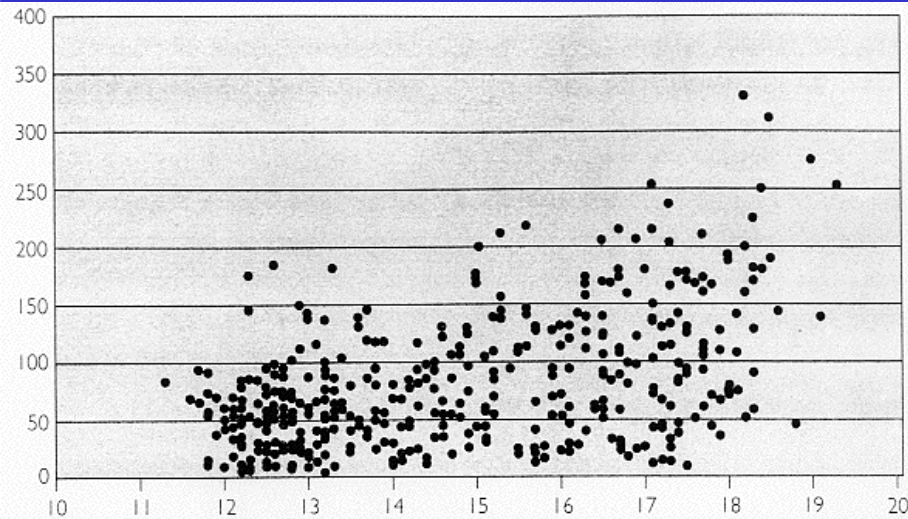


Source Weber, 2006

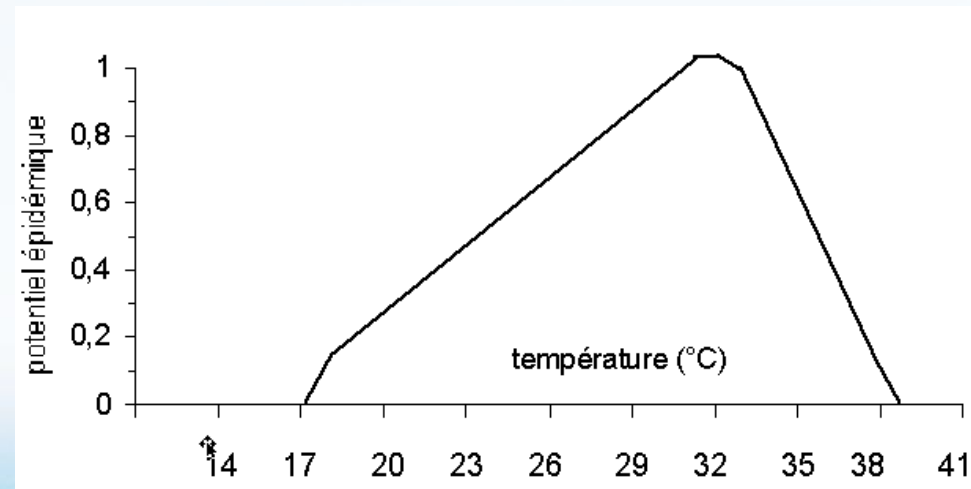
La chaleur est généralement favorable aux micro-organismes, ce qui s'applique aussi à ceux qui sont pathogènes. Les risques évoqués concernent :

- L'augmentation des zones concernées par les maladies à vecteurs (paludisme, fièvre jaune, dengue, fièvre de la vallée du Rift...) aussi bien dans la population que pour les animaux sauvages ou domestiques (Lucilie bouchère, maladie de la langue bleue, etc),
- la remontée vers le Nord de pathologies des plantes et animaux (et des termites...)
- Augmentation de la virulence des micro-organismes pathogènes en général ?

# Impacts sur la santé : exemples



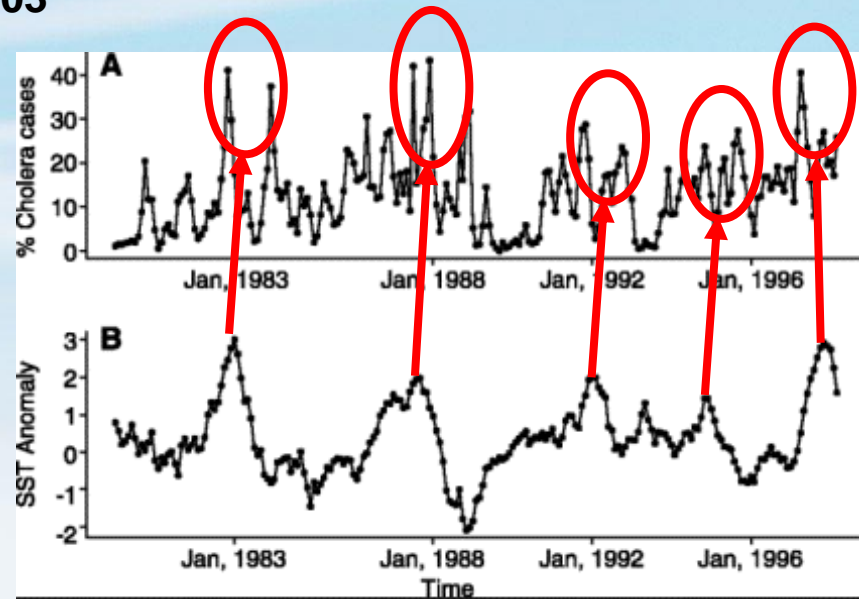
Nombre de cas mensuels de salmonellose en Nouvelle Zélande en fonction de la température moyenne. Source OMS, 2003



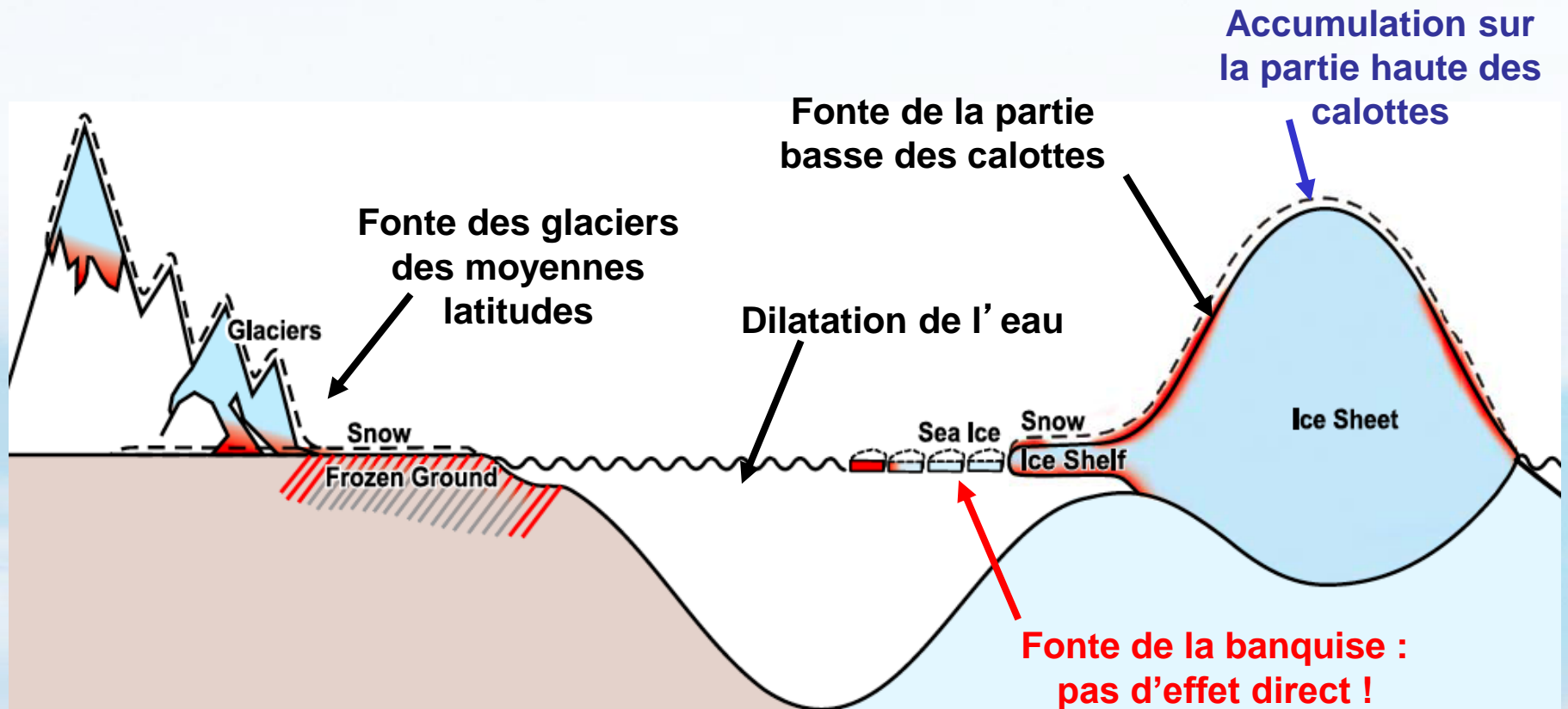
Potentiel épidémique du paludisme en fonction de la température. J.-P. Besançon, La jaune et La Rouge, 2000

Corrélation entre les cas de choléra et la température de surface de l'océan pacifique est.

Source : Colwell, Science, 1996 et Pascual et col., Science, 2000.

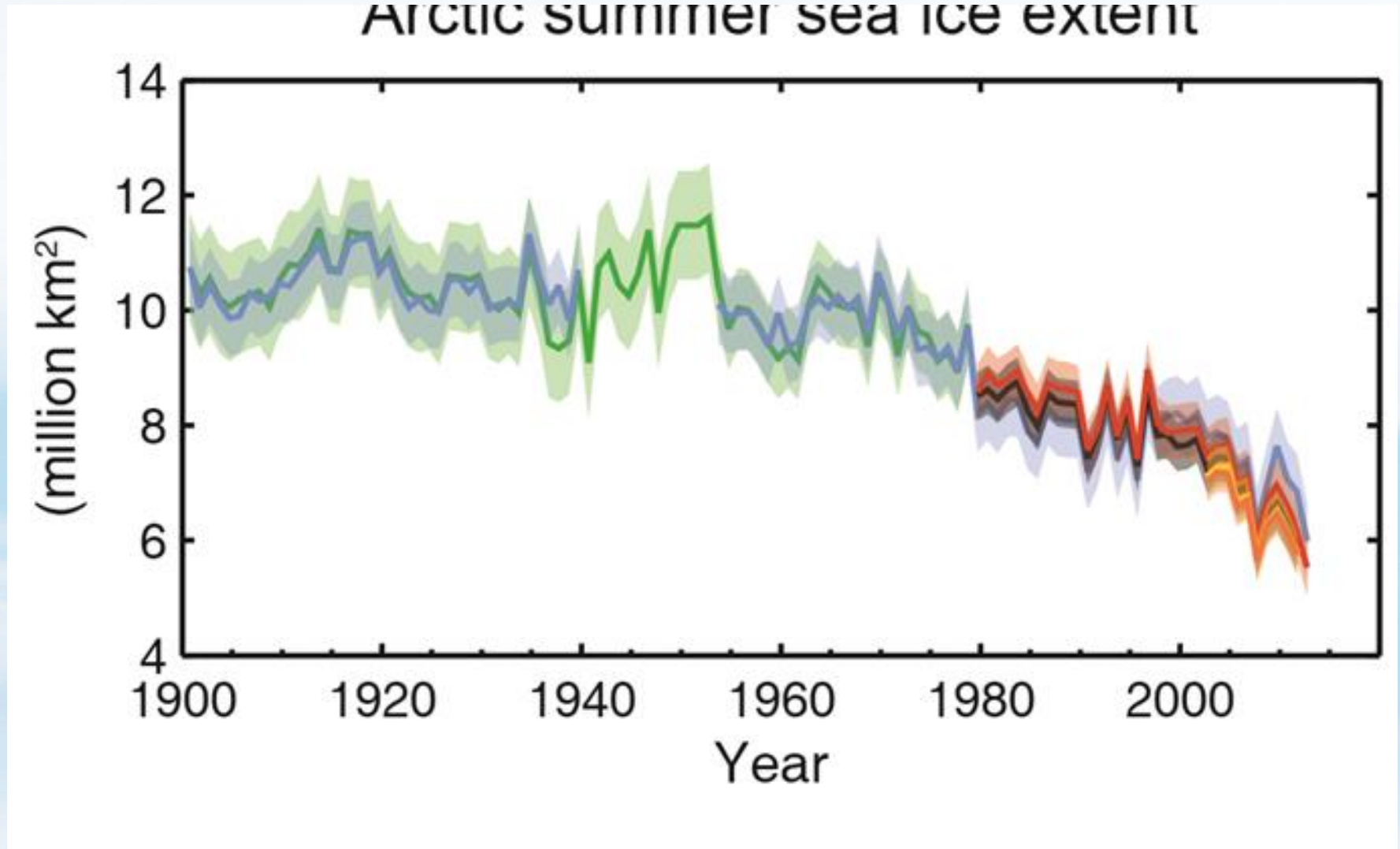


# Elévation du niveau des océans : Archimède or not ?



**Facteurs contributeurs à la hausse du niveau de la mer.**

**D'après GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007**

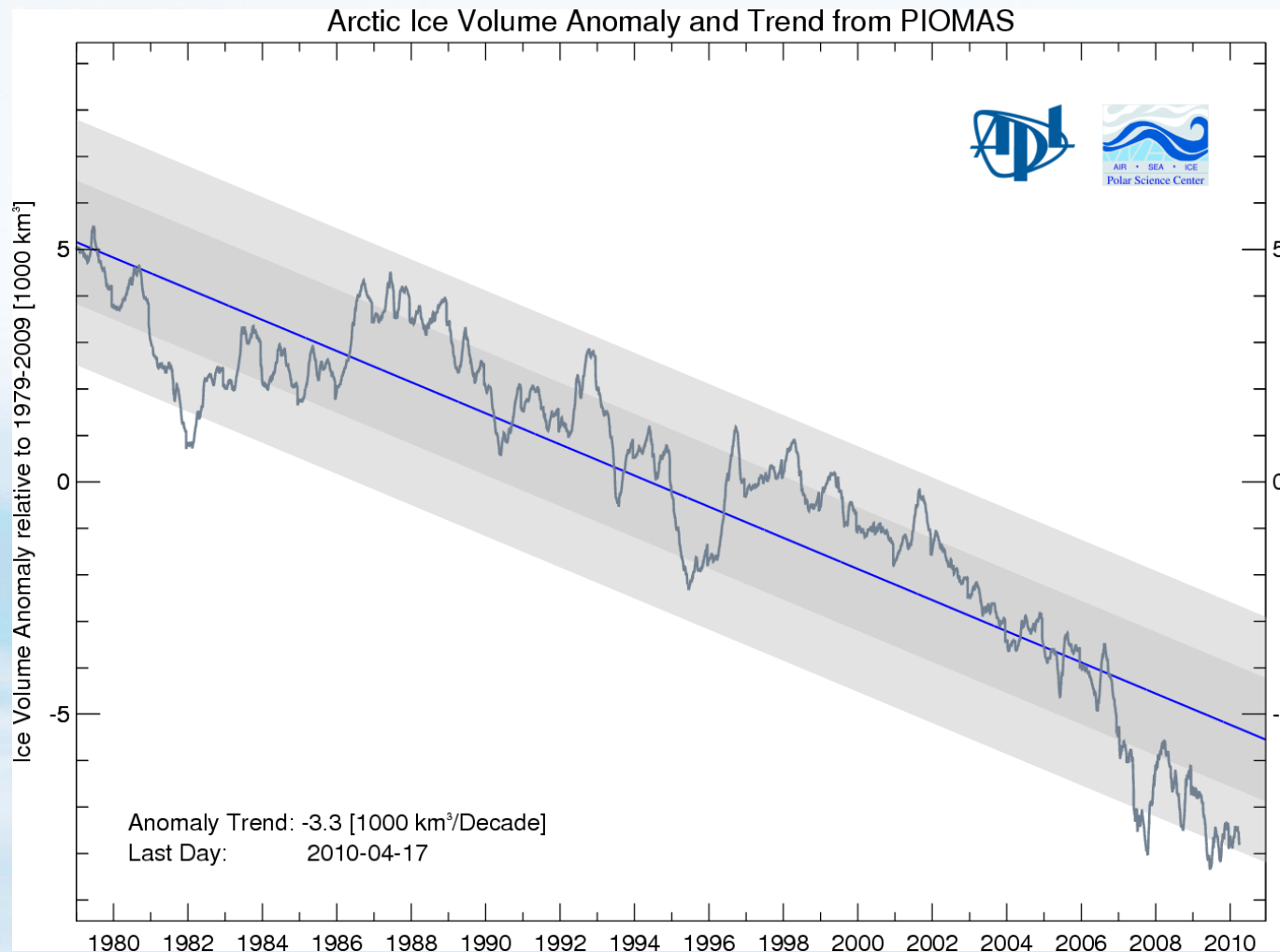


Evolution de l'étendue minimale de la banquise dans l'hémisphère Nord depuis 1900.

Source : IPCC, Technical Summary WG1, 2013



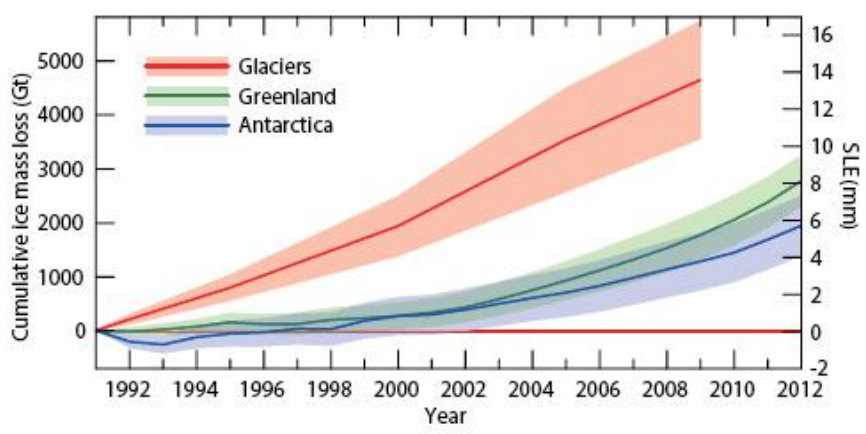
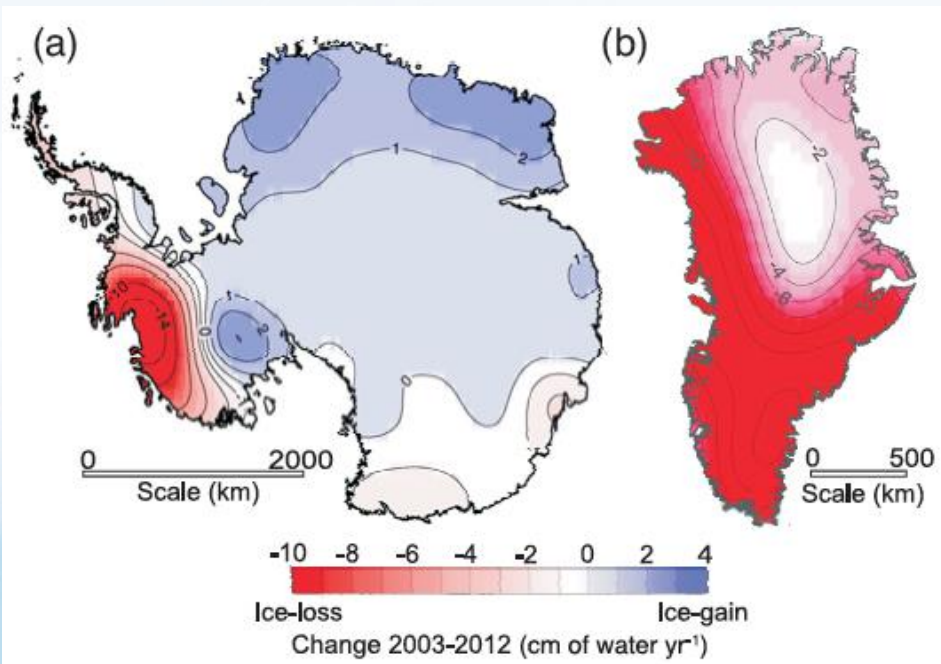
# Not Archimède again : la banquise mincit aussi



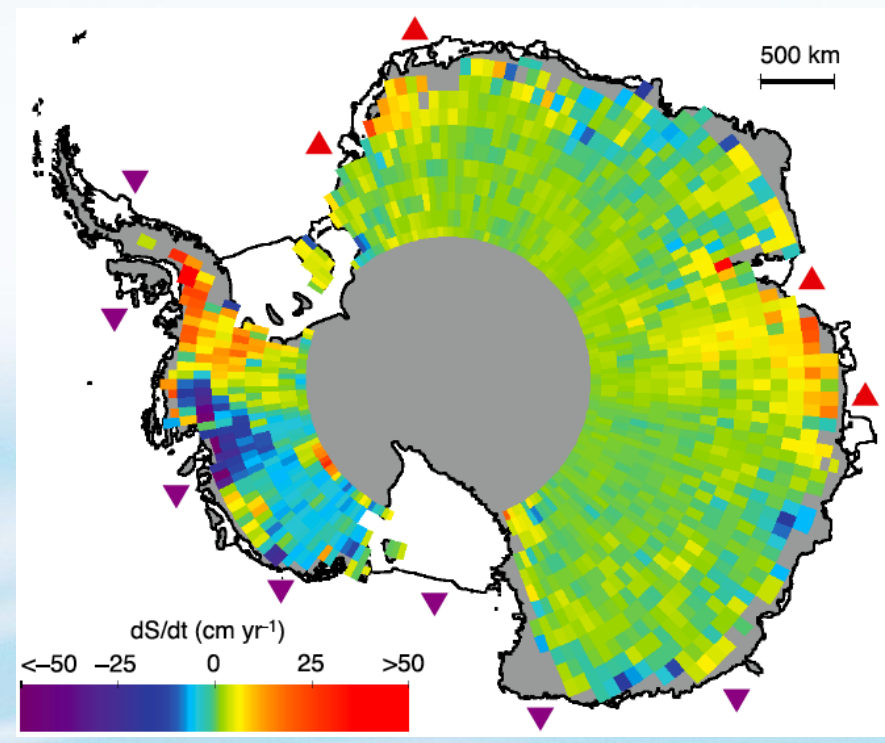
**Evolution du volume calculé de la banquise de l'hémisphère Nord depuis 1979, en milliers de km<sup>3</sup> (c'est l'anomalie par rapport à la moyenne 1979-2009 qui est représentée).**

**Source : Polar Science Center, University of Washington, 2010**

# Mais beaucoup d'Archimède se profile peut-être à l'horizon

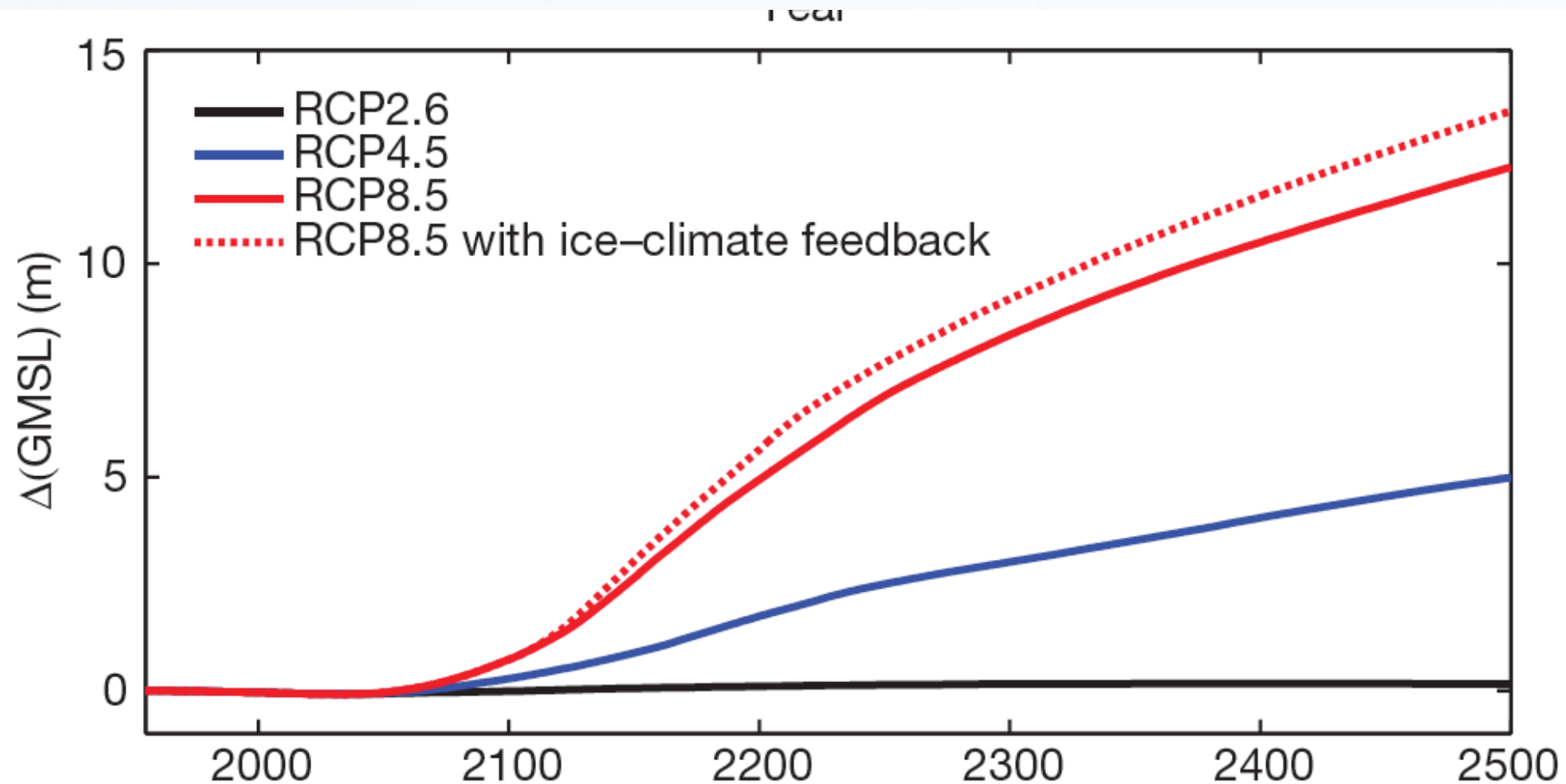


Variation du niveau de la surface des calottes sur la période 2003-2012 (haut), et contribution des glaciers à la hausse du niveau de l'océan mondial (bas).  
(5th Assessment Report, GIEC, 2014)



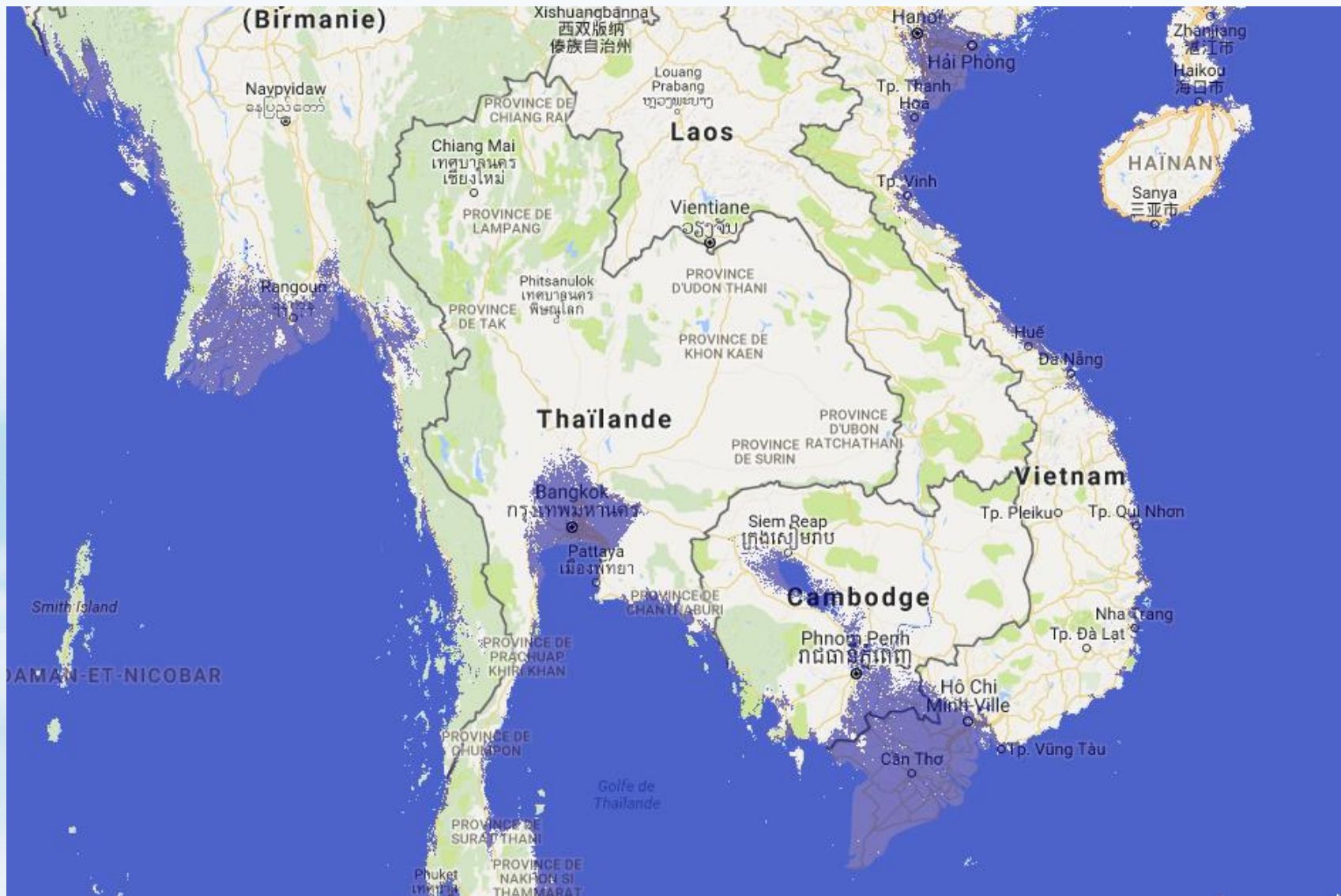
Variation annuelle moyenne de l'altitude du sommet de la calotte Antarctique (en cm), mesurée par altimétrie radar entre 1992 et 2003 (raison pour laquelle la proximité du pôle Sud n'est pas couverte).

Fonte de  $\Sigma$  Antarctique = équivalent de 57 m en plus pour l'océan mondial ; calotte Occidentale  $\approx$  6 m.  
(4th Assessment Report, GIEC, 2007)



**Contribution possible de l'Antarctique à l'élévation de l'océan au cours des siècles à venir.  
De Conto et al., Nature, Mars 2016**

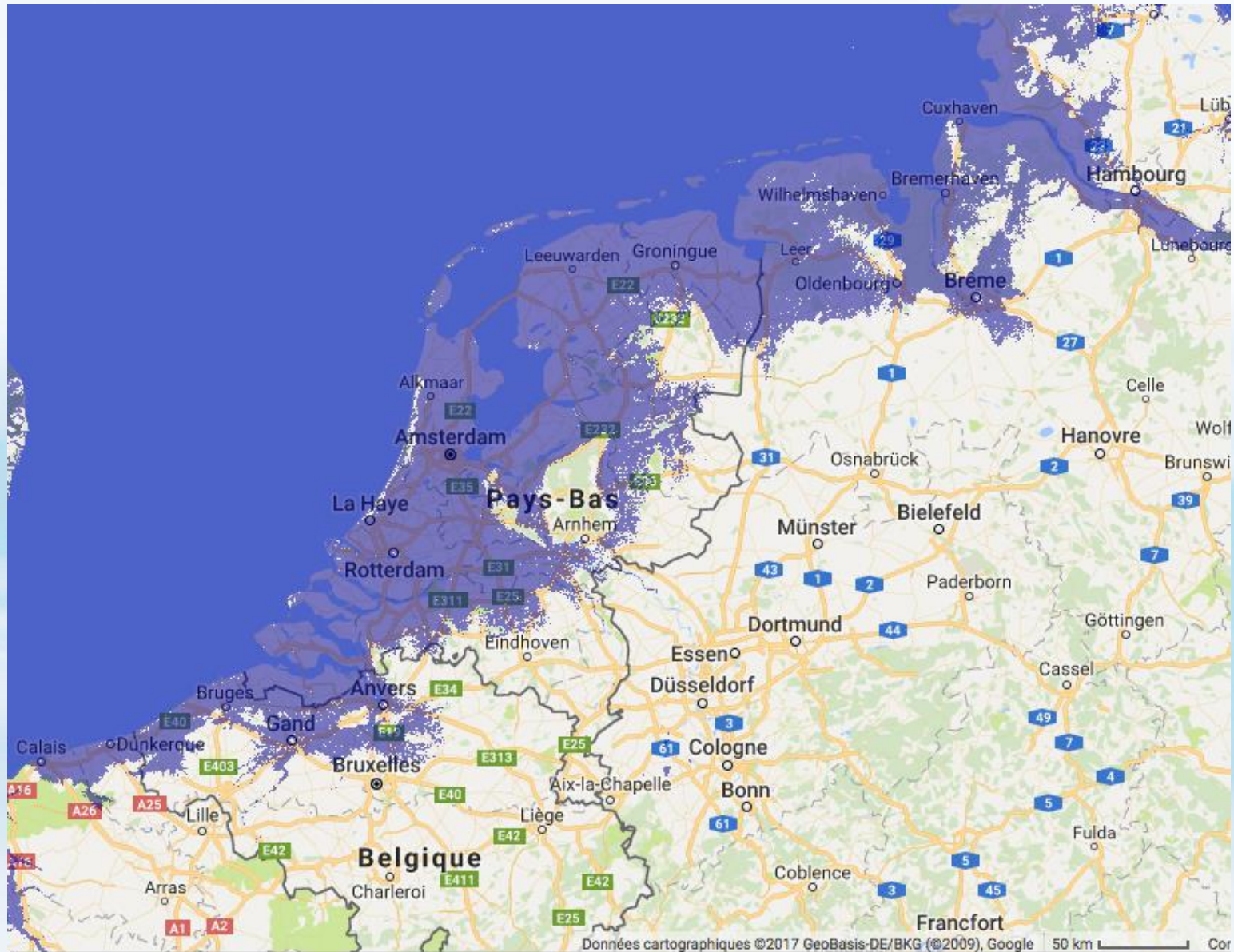
# Gérer un port en 2478, ça risque d'être compliqué



Zones inondées avec un océan plus haut de 9 m

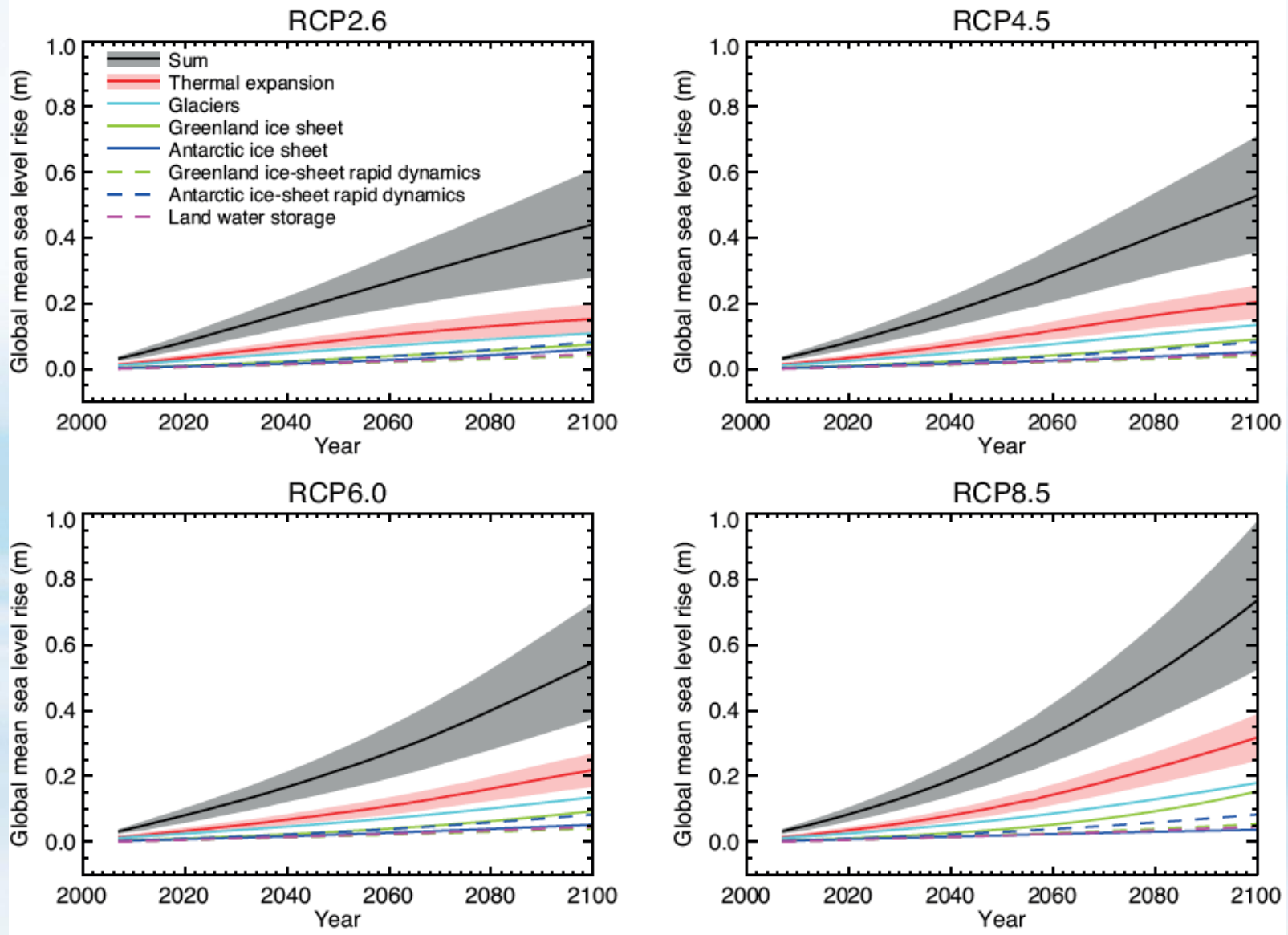


# Gérer un port en 2478, ça risque d'être compliqué



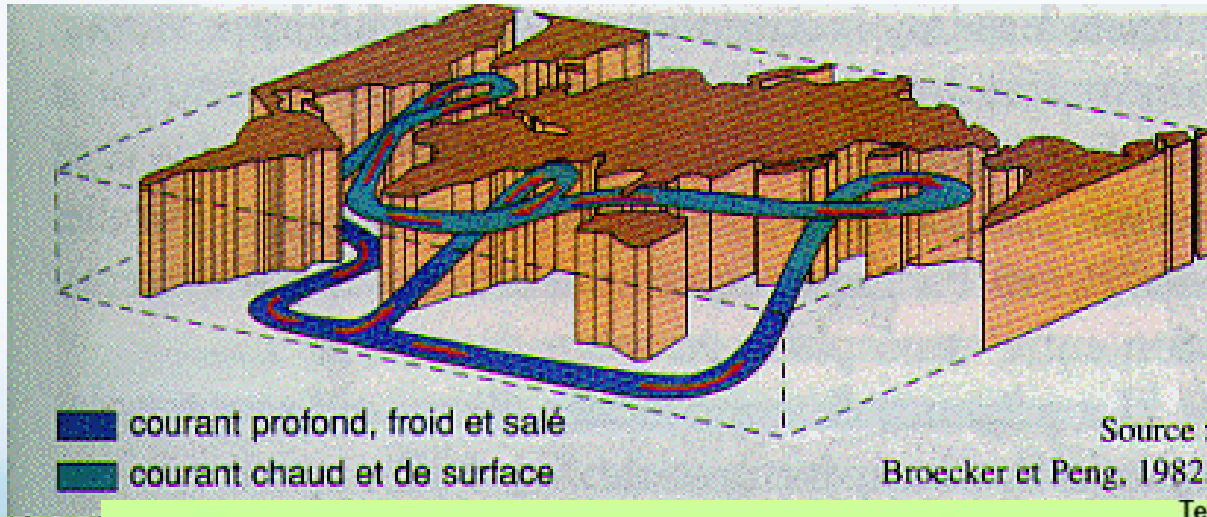
Zones inondées avec un océan plus haut de 9 m

# La grosse bête va monter de toute façon

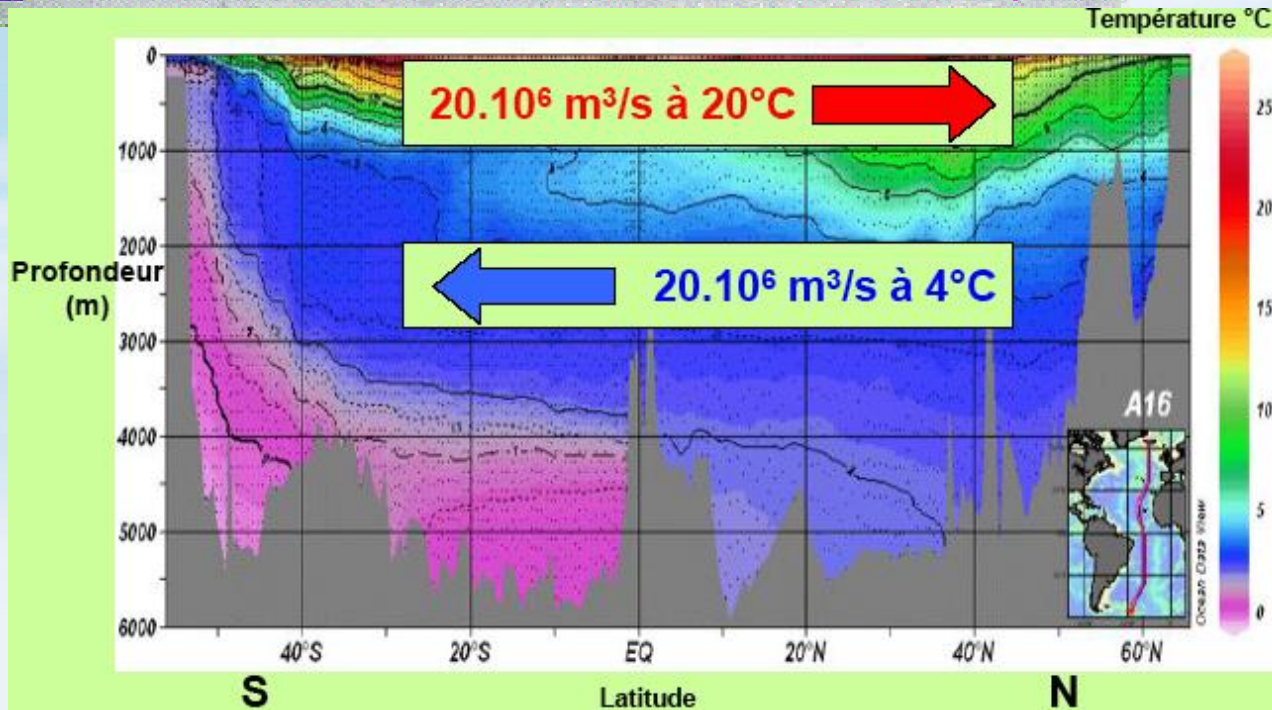


Elevation de l'océan en mètres, par facteur contributif. IPCC, 2013

# Le Jour d'Après est-il pour demain ?



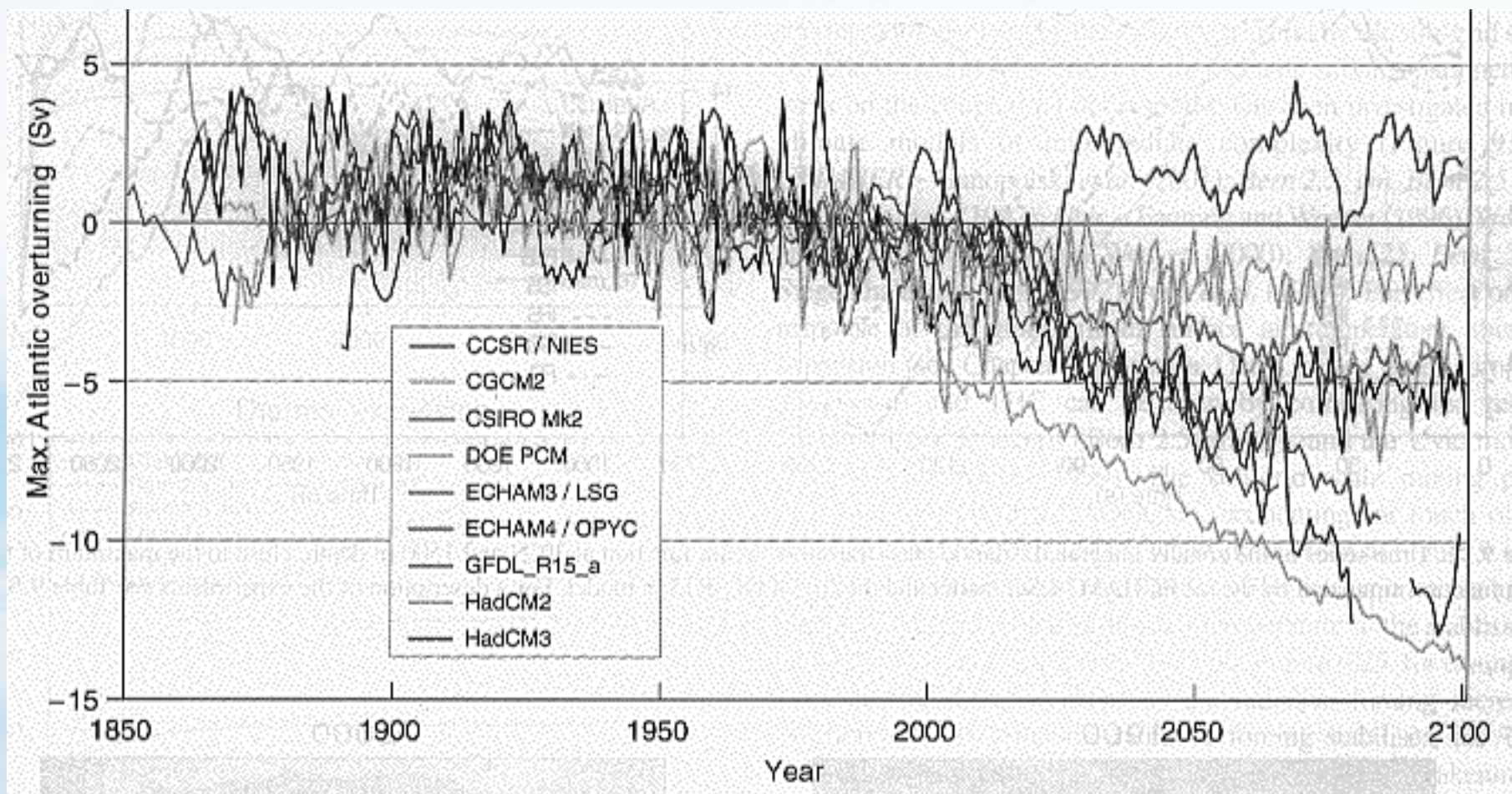
Une plongée des eaux a lieu en permanence près du Groenland. Cela influe de manière déterminante sur les transports de chaleur entre les latitudes.



Les eaux profondes remontent également les éléments nutritifs (sels minéraux) indispensables à la faune marine de surface.



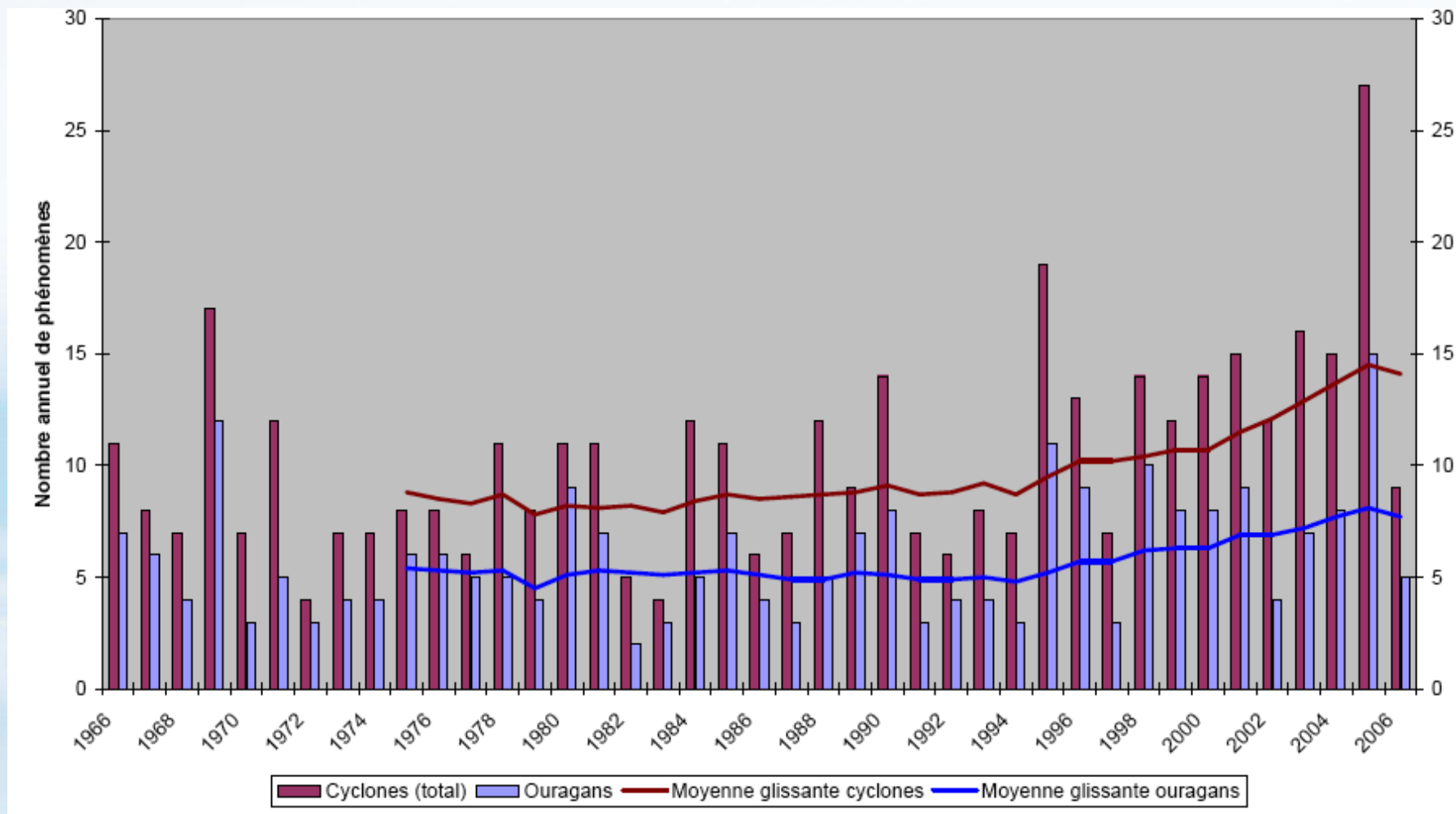
# Petit coup de frein ou gros crash, là est la question



Évolution du flux nord atlantique ( $1\text{Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour le scénario IS 92a (720 ppmv de  $\text{CO}_2$  en 2100 ; élévation de température moyenne de  $2,5^\circ \text{C}$  en 2100). Le niveau actuel est de 20 à 25 Sv. Source : Climate Change 2001, The Scientific Basis, GIEC

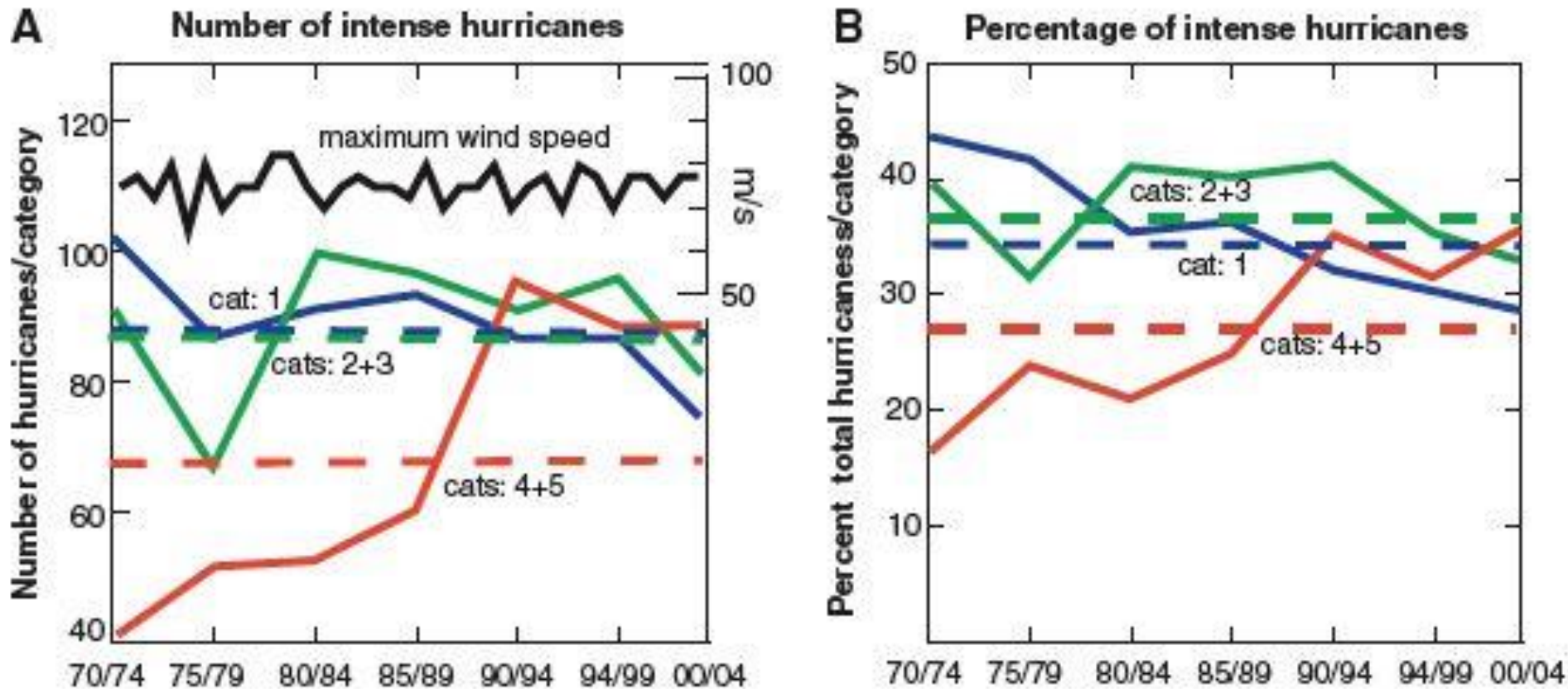


# Déjà plus de cyclones ? P'têt ben qu'oui, p'têt ben qu'non...

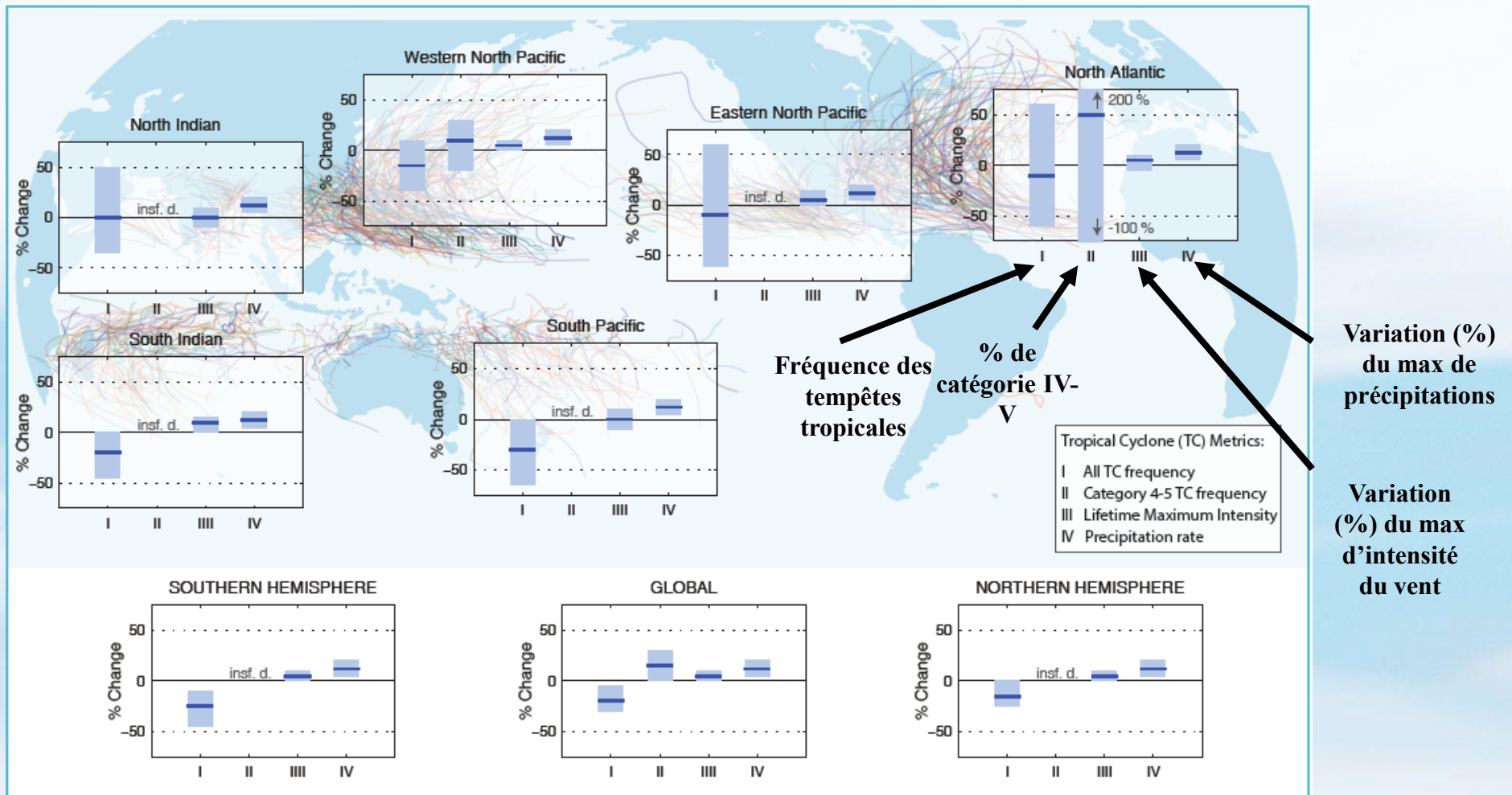


Evolution du nombre de cyclone sur l'Atlantique tropical de 1966 à 2006. Source Météo France

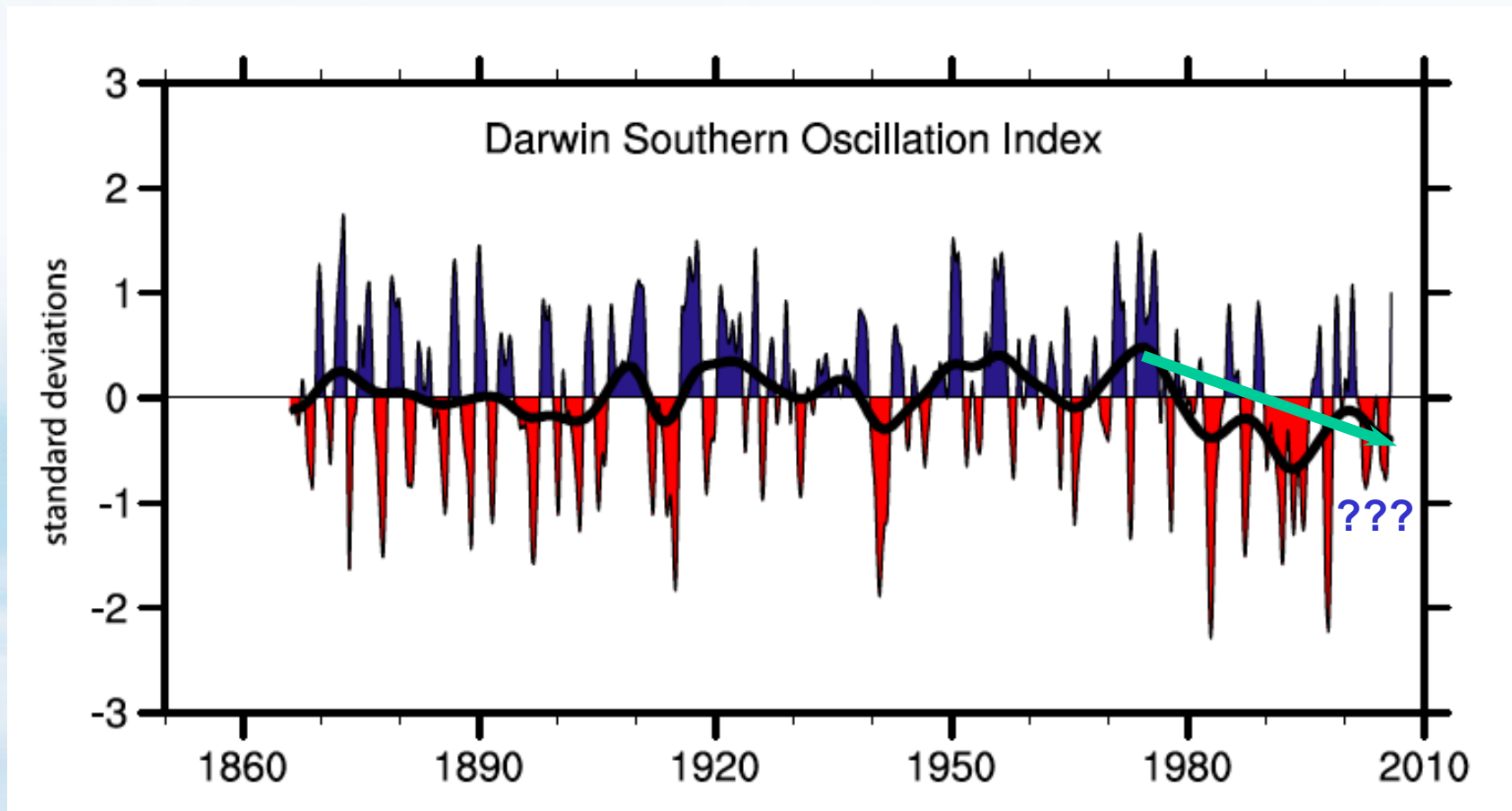
# Une puissance cyclonique accrue ? P'têt ben qu'oui....



Evolution sur 30 ans du nombre de cyclone dans le monde par catégorie (gauche), et proportion de chaque catégorie dans le total (droite). Source Science, 2005



**Variation en 2080-2100 (par rapport à 2000-2019) de caractéristiques diverses des tempêtes tropicales. Source GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014**

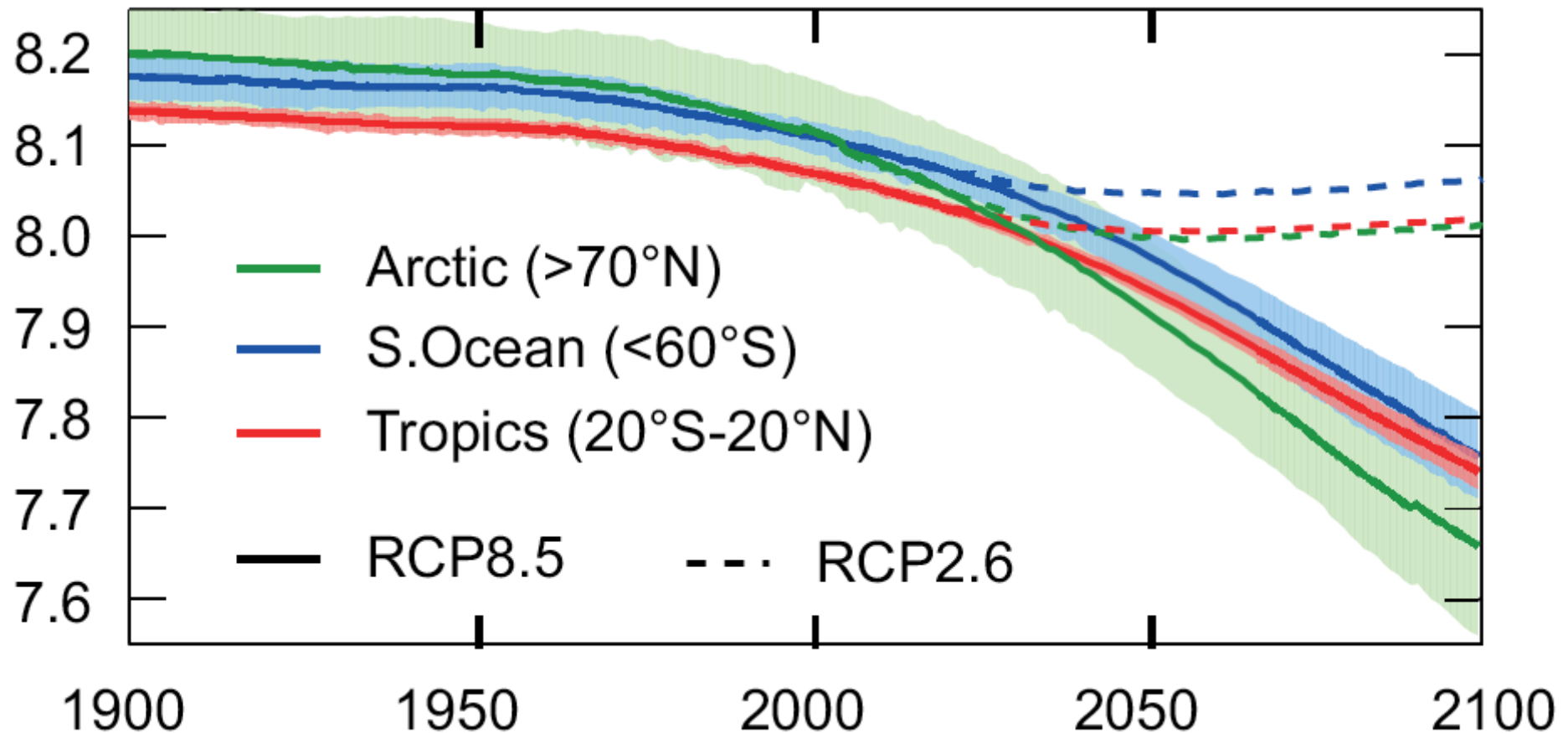


Evolution de l'indice mesurant l'intensité de l'oscillation El Nino-La Nina. Le bleu correspond à une situation « La Nina », le rouge à une situation « El Nino.

Source : GIEC, AR4, 2007



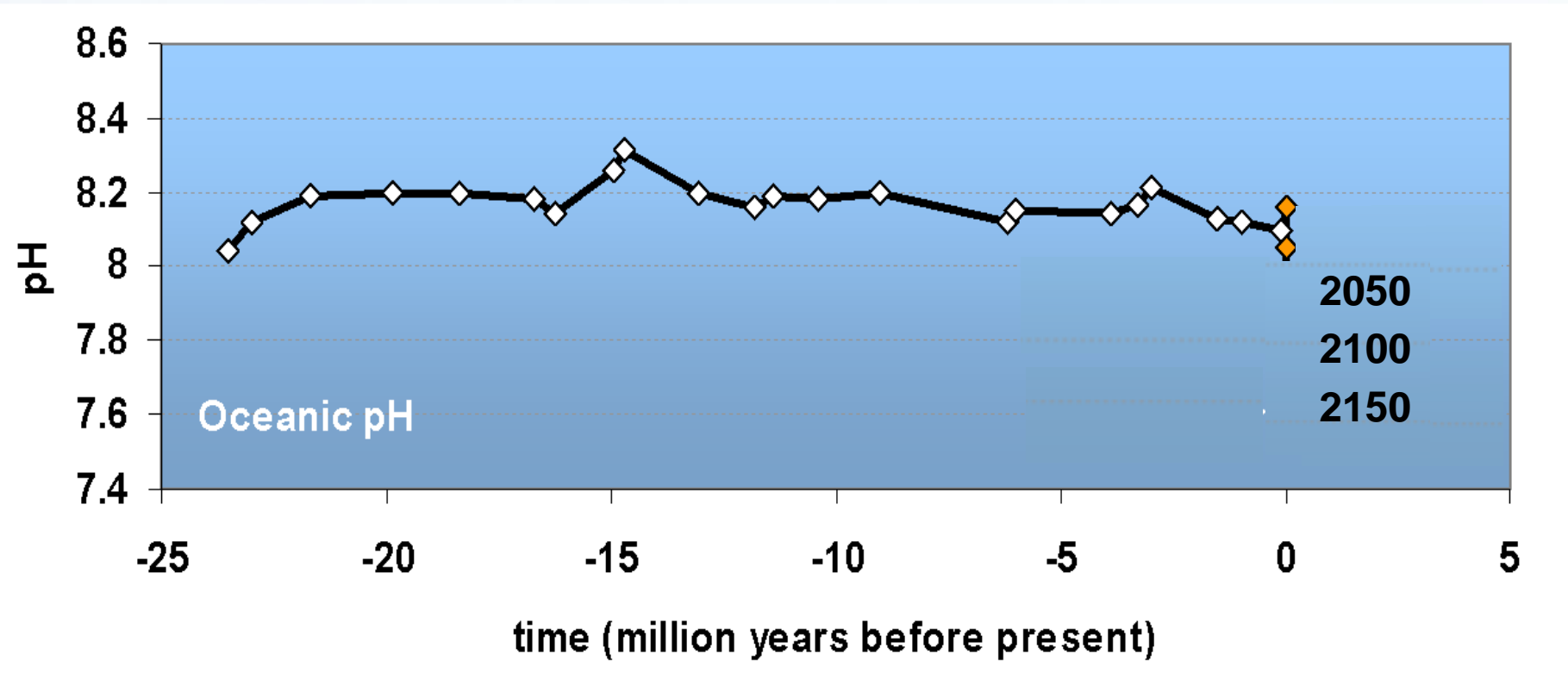
# Il n'est pas toujours souhaitable d'être acide



Simulation de variation du pH de l'océan d'ici 2100 en fonction du scénario.

Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

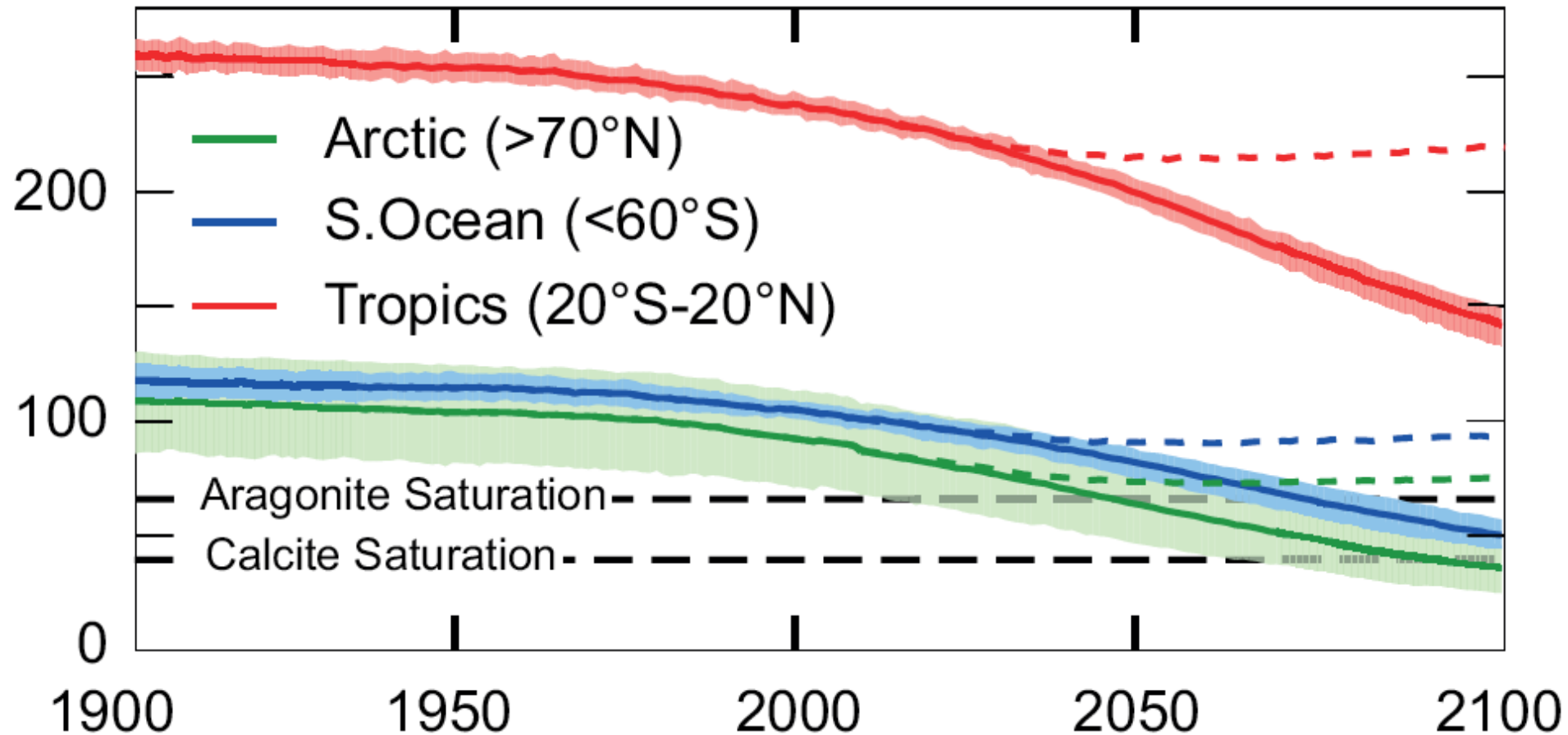
# Le pH de l'océan, bien plus stable que tout régime politique !



Variation du pH de l'océan reconstruite depuis 24 millions d'années, et évolution possible à l'avenir.

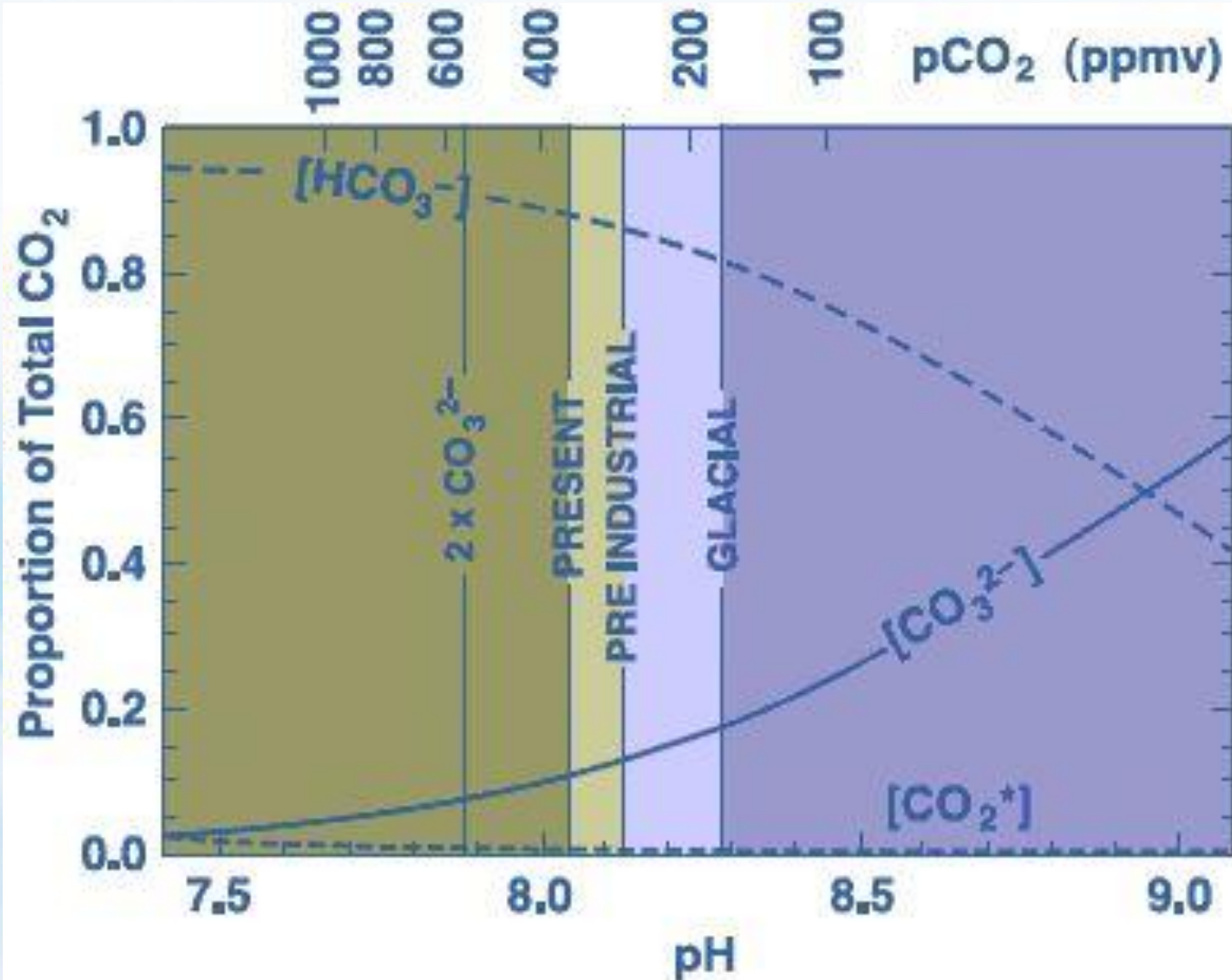
Source Turley et al. 2006

# Moins de calcaire produit = pas de pot pour les coraux



Concentration océanique en ions  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $\mu\text{moles par kg}$ ) en fonction de la concentration atmosphérique en  $\text{CO}_2$ . Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

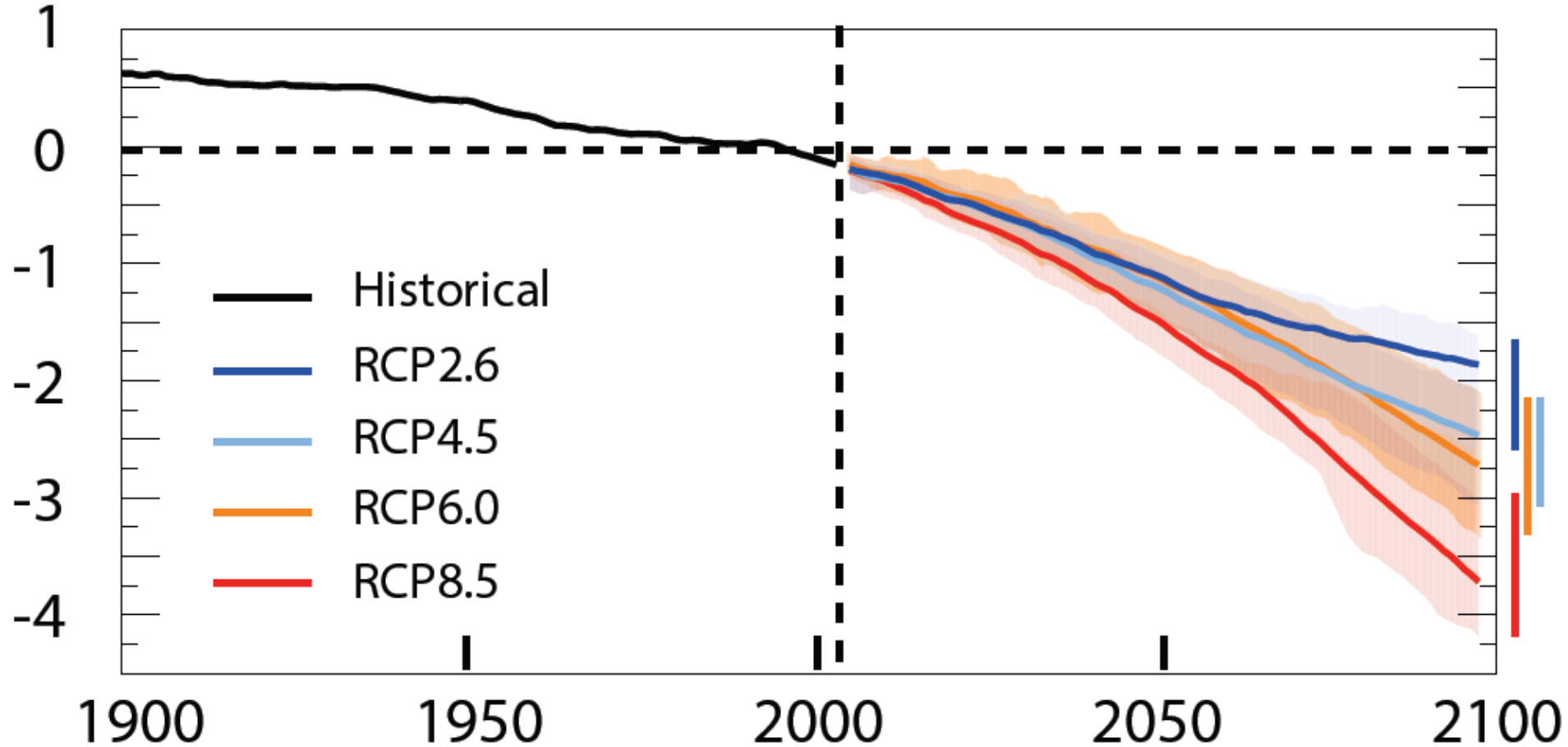
# Un océan plus acide = moins de calcaire produit



Proportions respectives de carbonates et de bicarbonates en fonction du pH. Dans un océan plus acide, la disponibilité en carbonates diminue.

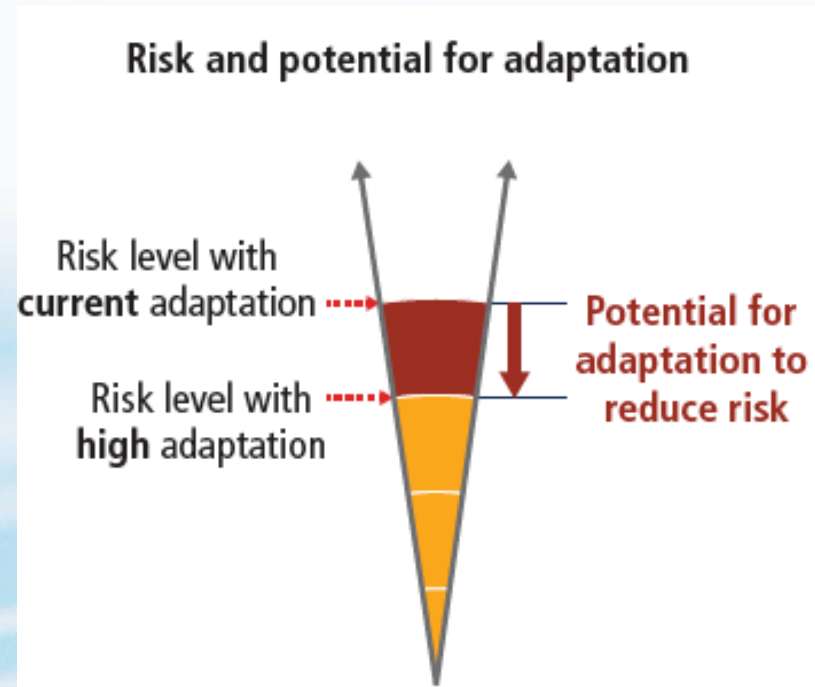
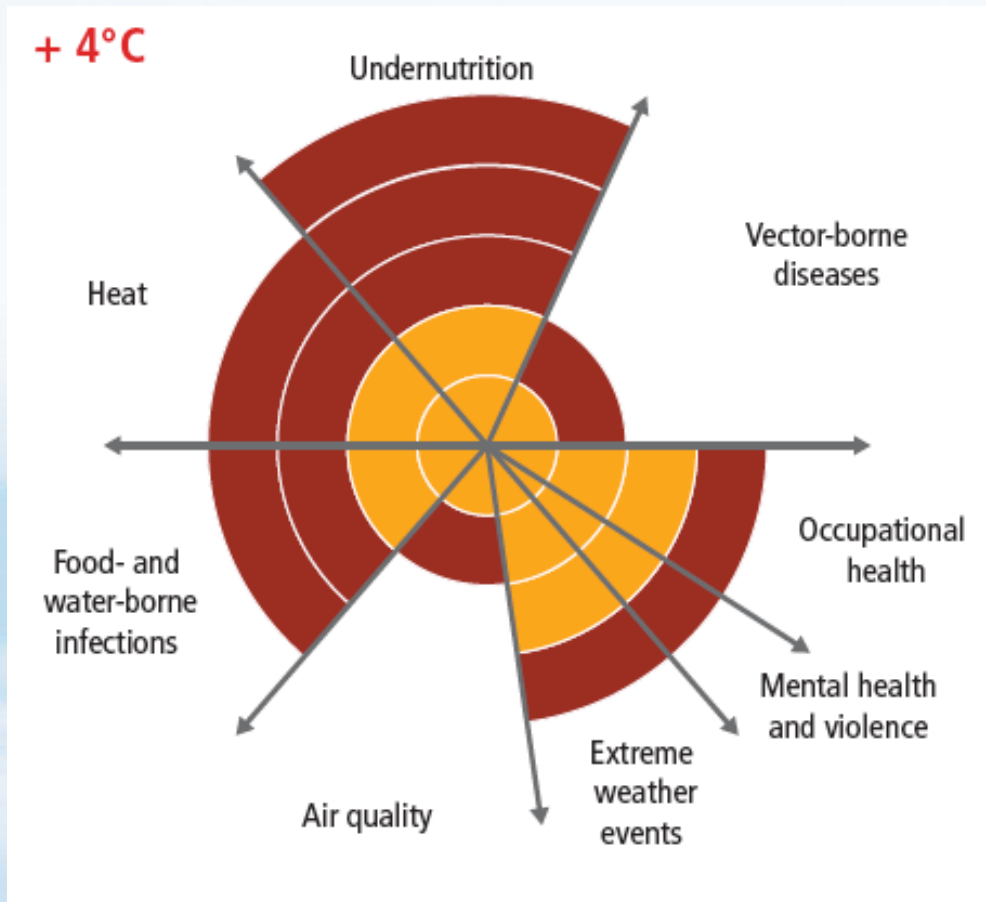


# Dissous, ou pas dissous ?



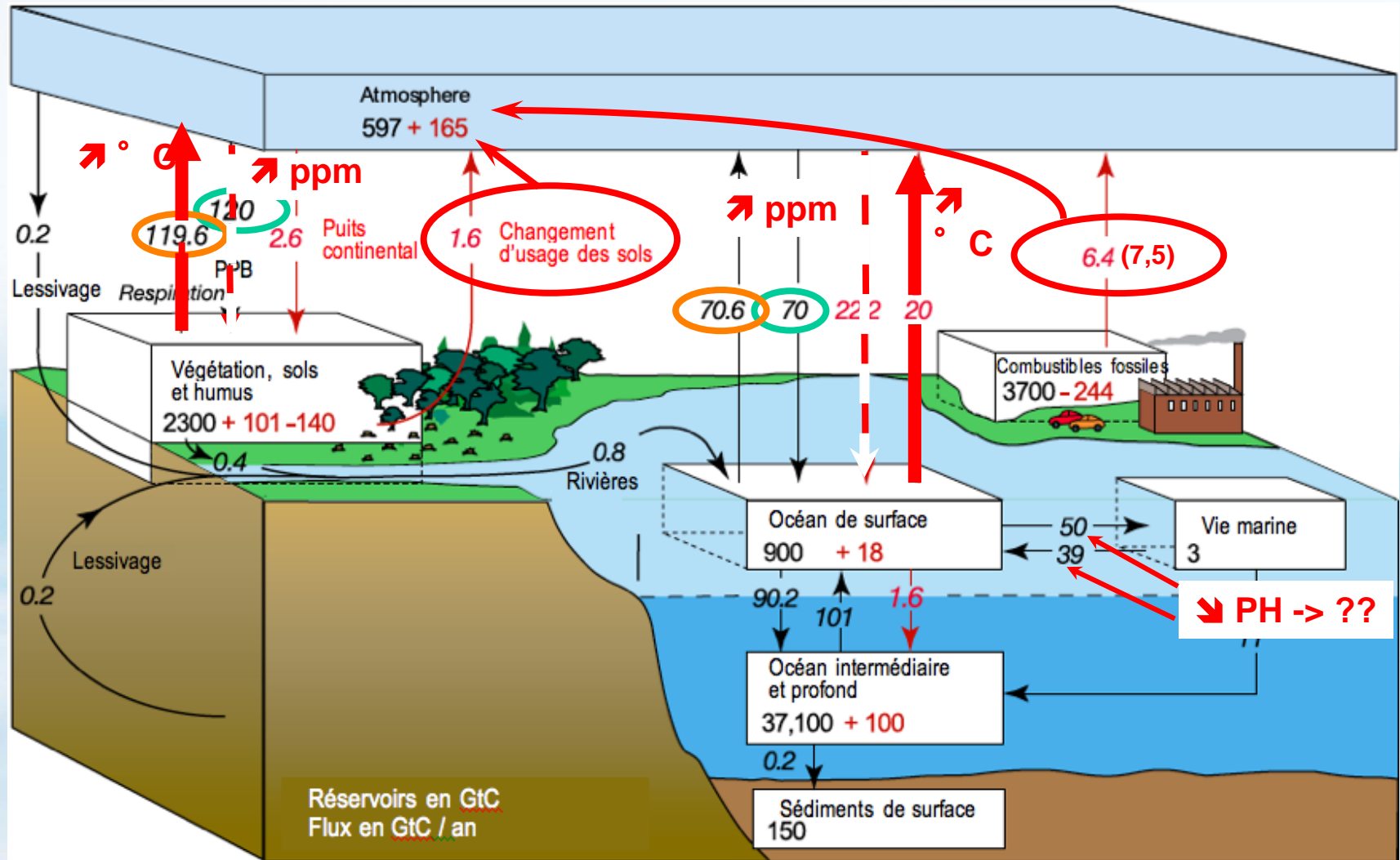
Variation (en %) du contenu de l'océan en oxygène dissous selon les scénarios de forçage radiatif. Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

# S'adaptera, s'adaptera pas ?



**Illustration des divers risques sanitaires liés au changement climatique à l'horizon du siècle. Source GIEC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014**

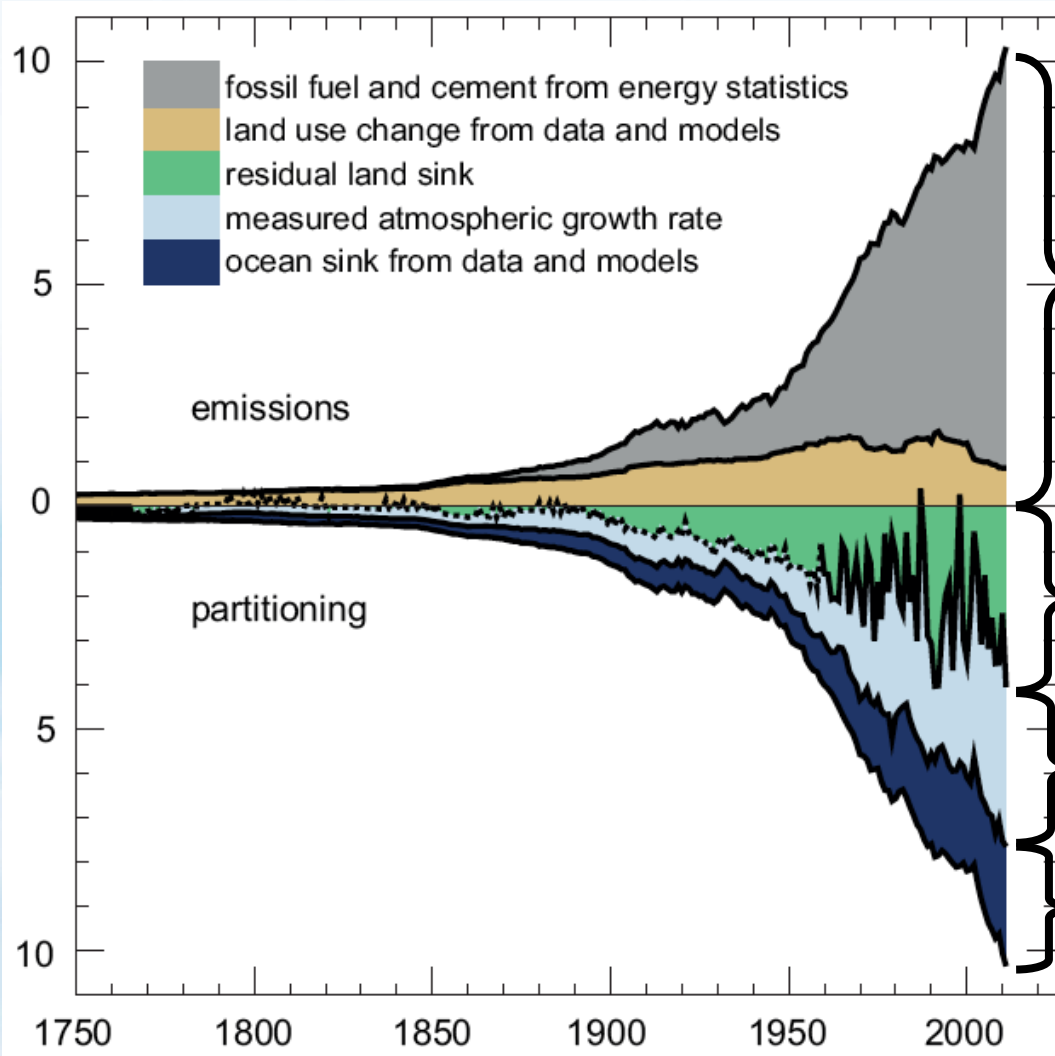
# Plus de CO<sub>2</sub> = plus chaud, mais l'inverse est vrai aussi !



Chiffres en noir : stocks et flux préindustriels, en milliards de tonnes de carbone. Chiffres en rouge : modifications d'origine anthropique (flux pour la moyenne de la décennie 1990 ; modifications des stocks sur la période 1750-1994). Source GIEC, 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2007

# Le CO<sub>2</sub> dans l'air : un petit tour et puis s'en va... ou pas ?

Milliards de tonnes de carbone



Emissions de CO<sub>2</sub> passées de **8** à **presque 40** milliards de tonnes depuis 1950

L'atmosphère conserve environ **45%** des émissions ↗

Les végétaux absorbent environ **30%** des émissions →

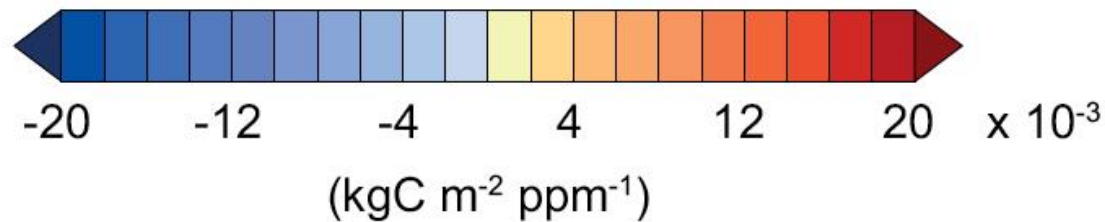
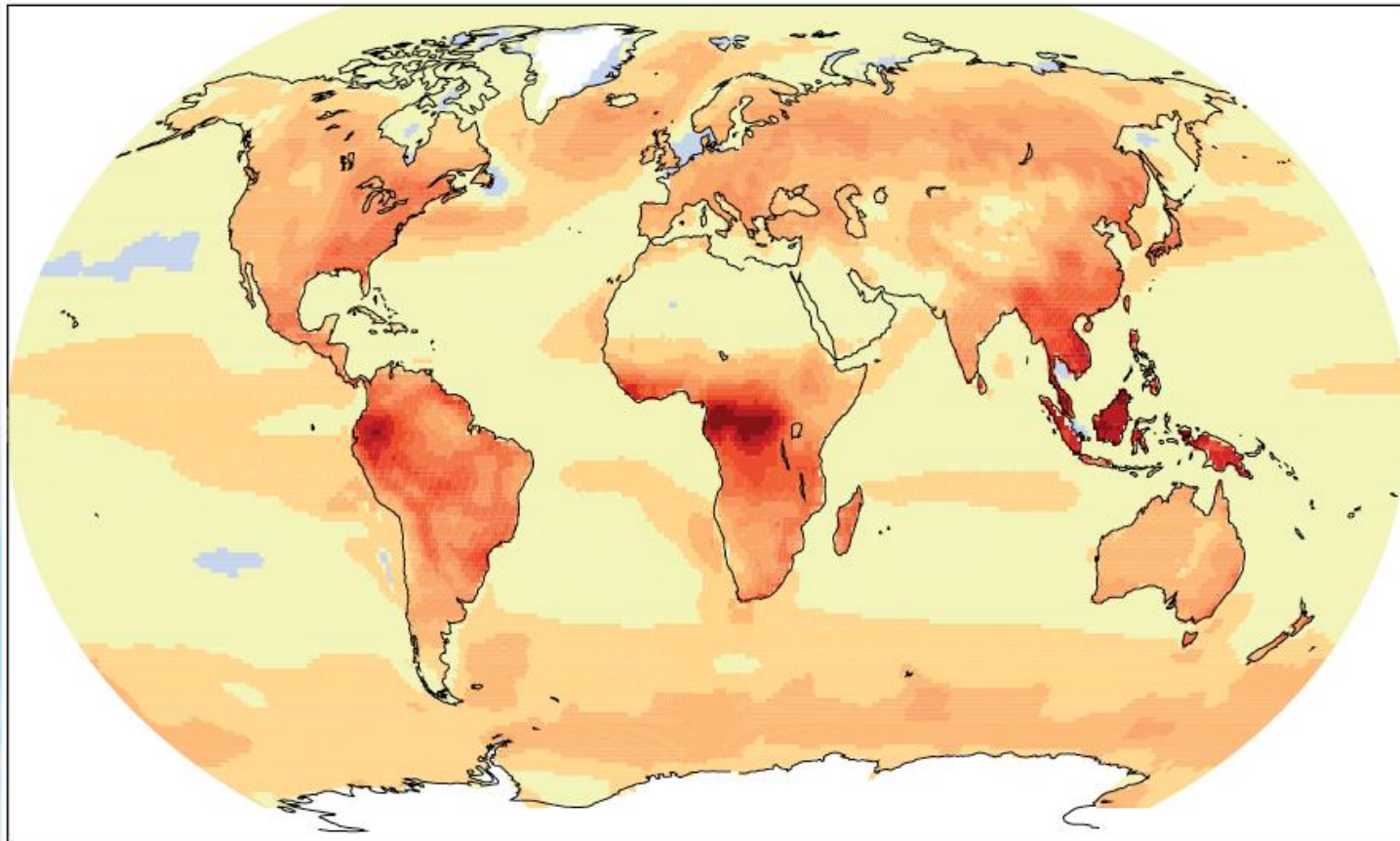
L'océan absorbe environ **25%** des émissions, ↘

Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> depuis 1750 (en haut), et accroissement du stock de carbone de chaque compartiment de la planète sur la même période (en bas).

Source : IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2013

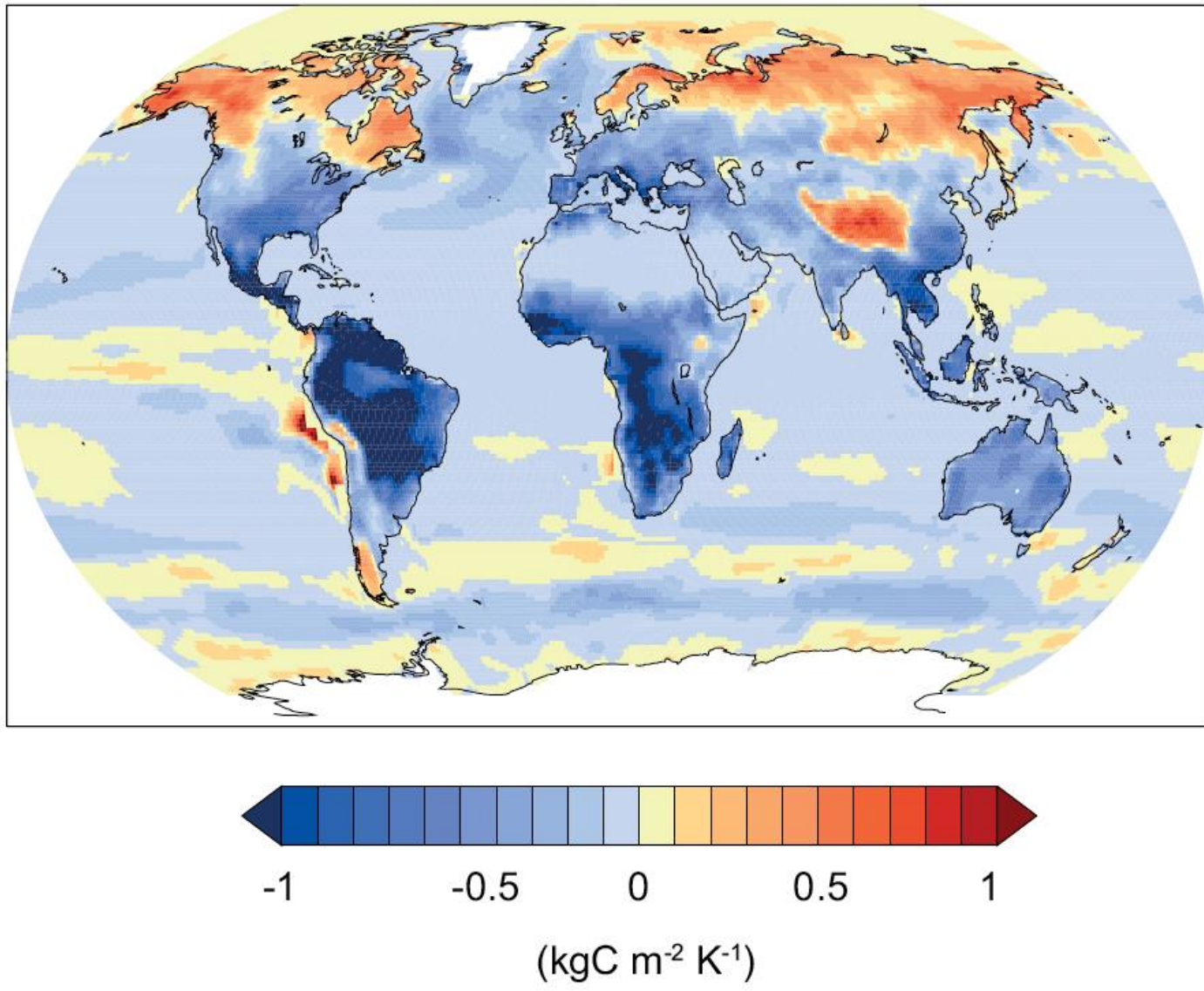


# Mets la pression ! (partielle)



Réponse du flux net de carbone vers le sol par ppm additionnel de CO<sub>2</sub> (à climat constant).  
Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

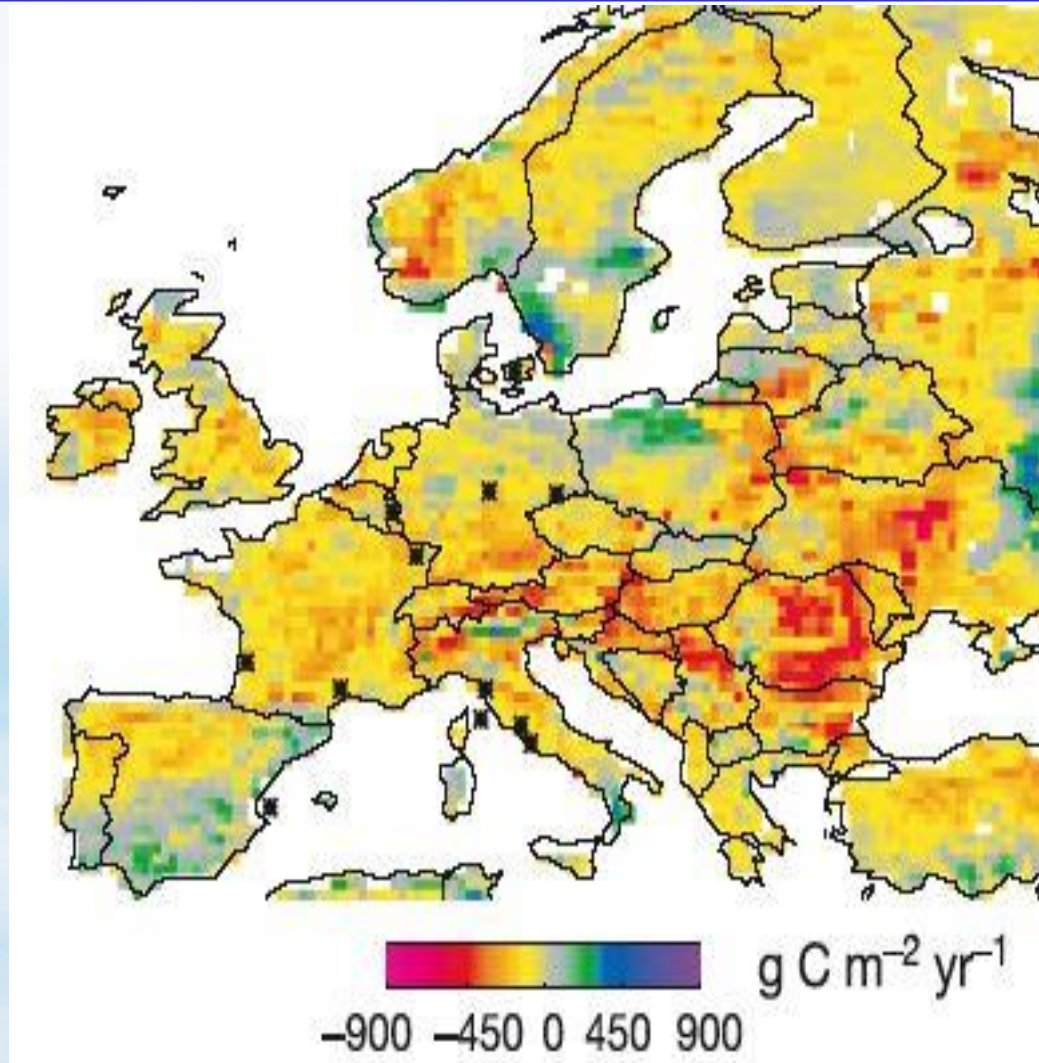
# L'amortisseur amortit un peu moins bien



Réponse du flux net de carbone vers le sol par K de température additionnelle. Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014



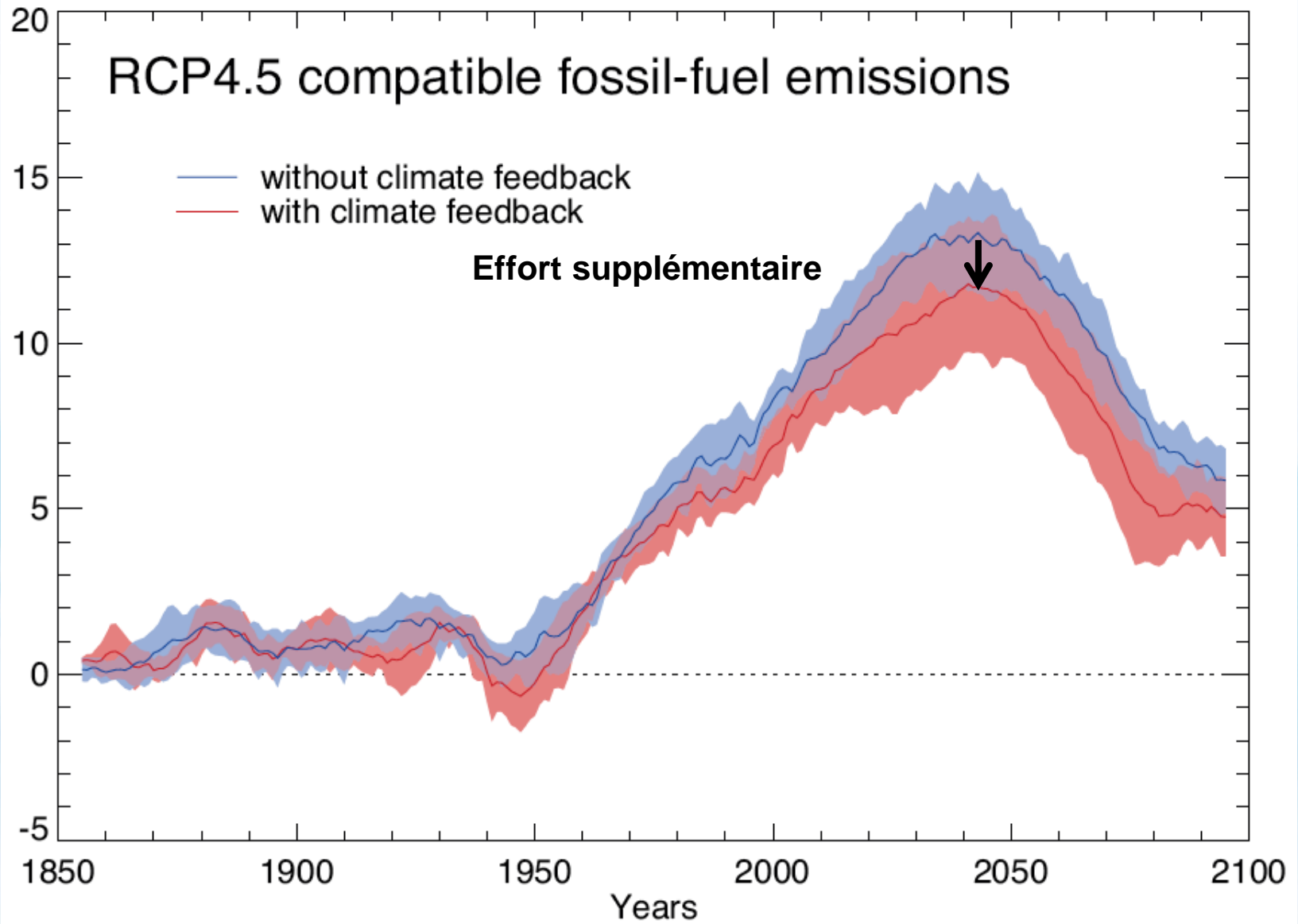
# Le déstockage est-il pour bientôt ?



**Comparaison de la productivité primaire nette des écosystèmes en 2003 avec la moyenne 1998-2002. Quasiment partout le flux descendant s'est affaibli, et en 2003 les écosystèmes européens ont « recraché » 4 ans de « pompage » du CO<sub>2</sub>**

**Source Ciais et al., Nature, septembre 2005**

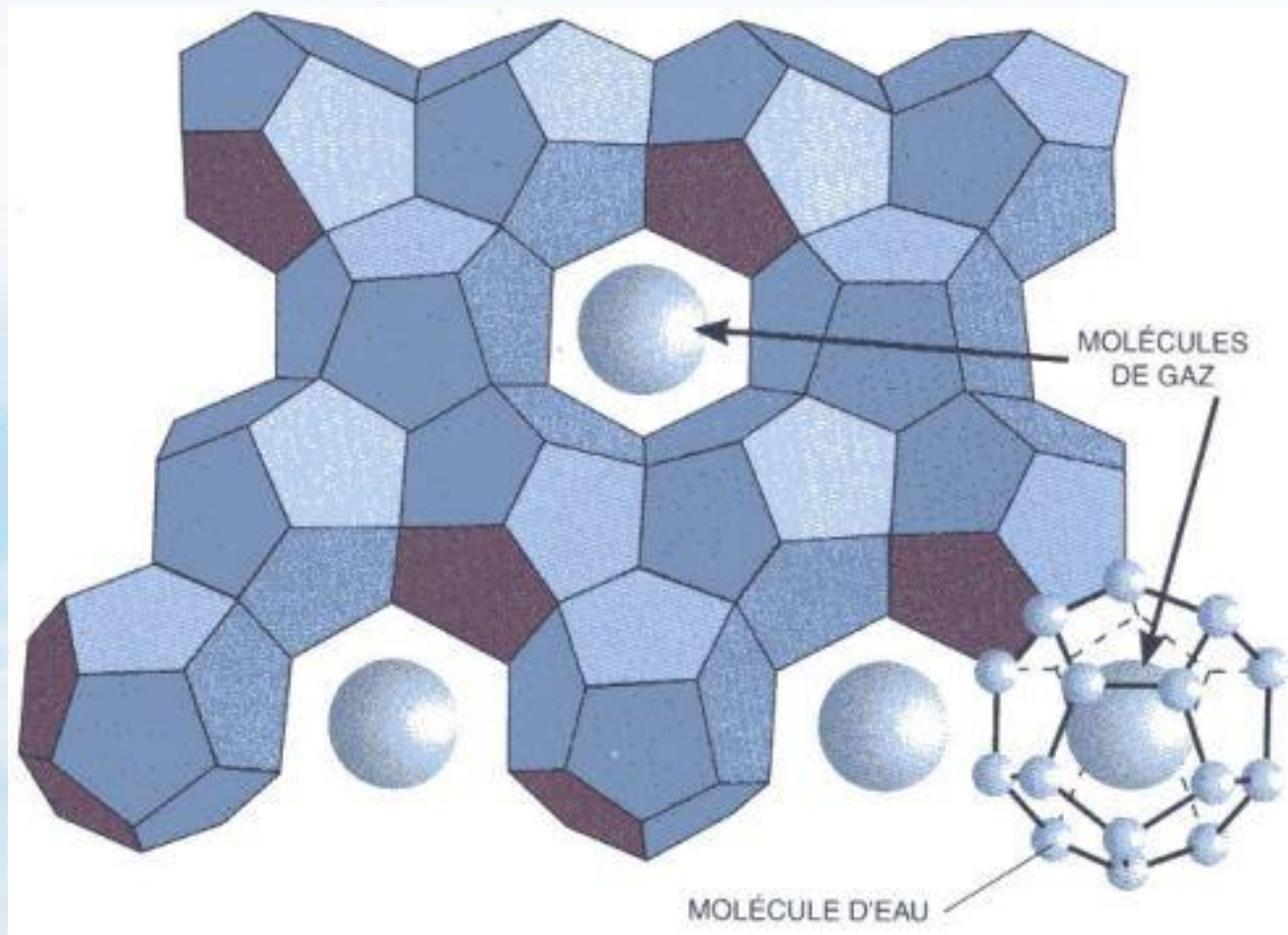
# Et l'ingénieur devra bosser un peu plus



Trajectoire maximale pour les émissions pour limiter le forçage radiatif . Source IPCC, 5è rapport d'évaluation, 2014

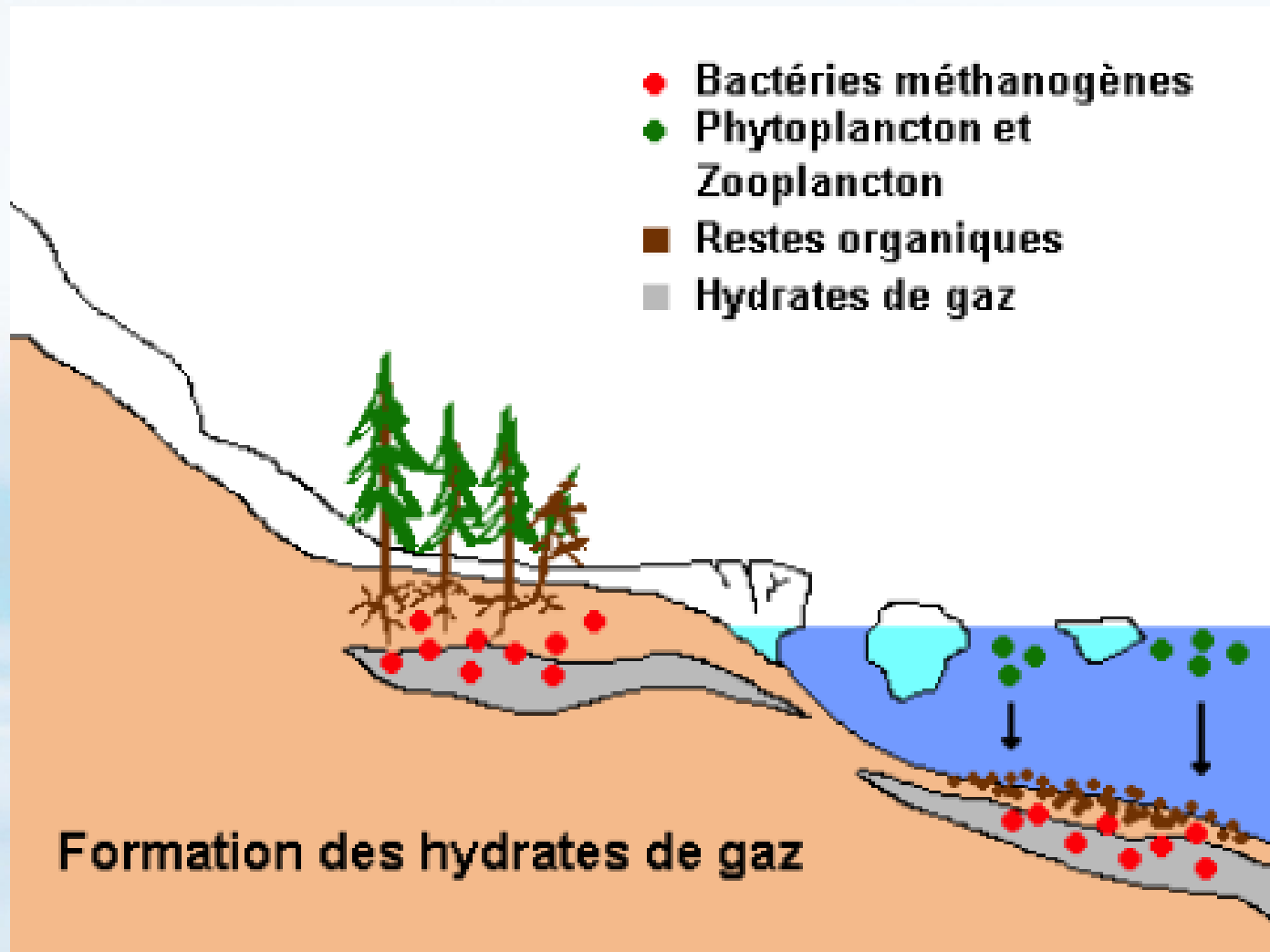


# Encore plus fort : les hydrates de méthane



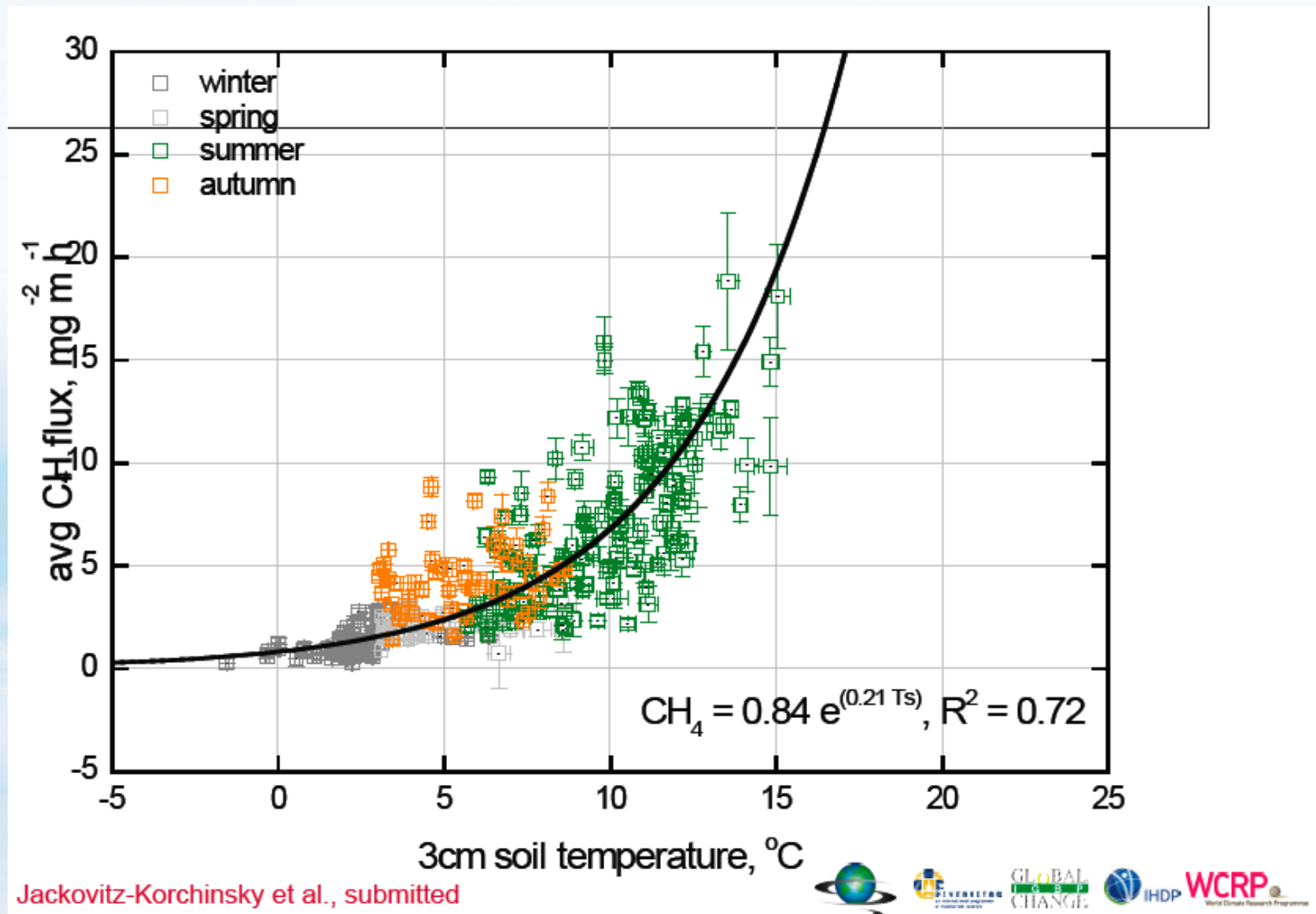
**Structure d'un hydrate de méthane**

# Les hydrates de méthane, c'est où ?



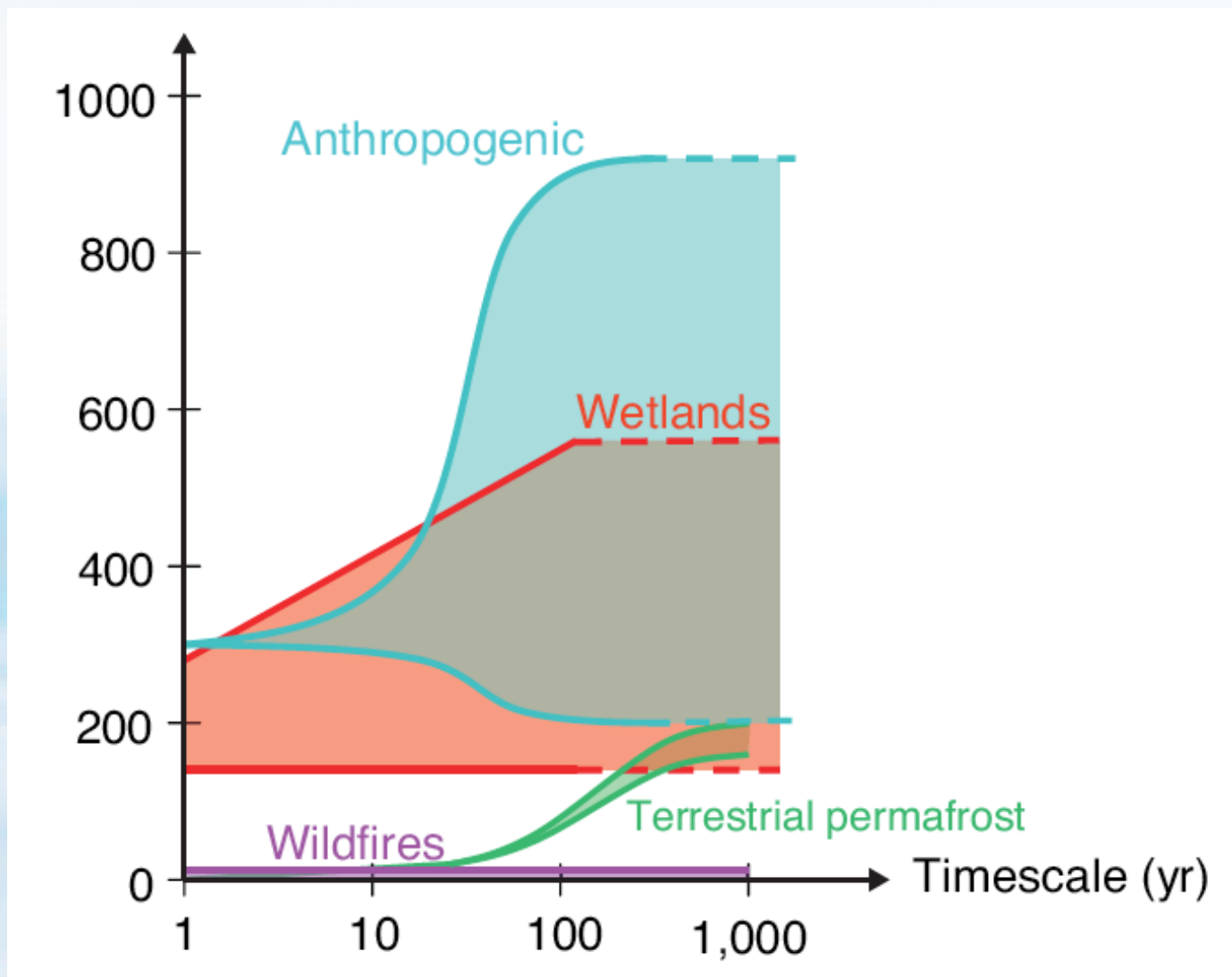
Formation des hydrates de méthane

# Plus chaud (et plus humide), le CH<sub>4</sub> aime aussi



Emissions de CH<sub>4</sub>, en mg par m<sup>2</sup> et par heure, en fonction de la température du sol (3 cm sous la surface). Source sur le graphique.

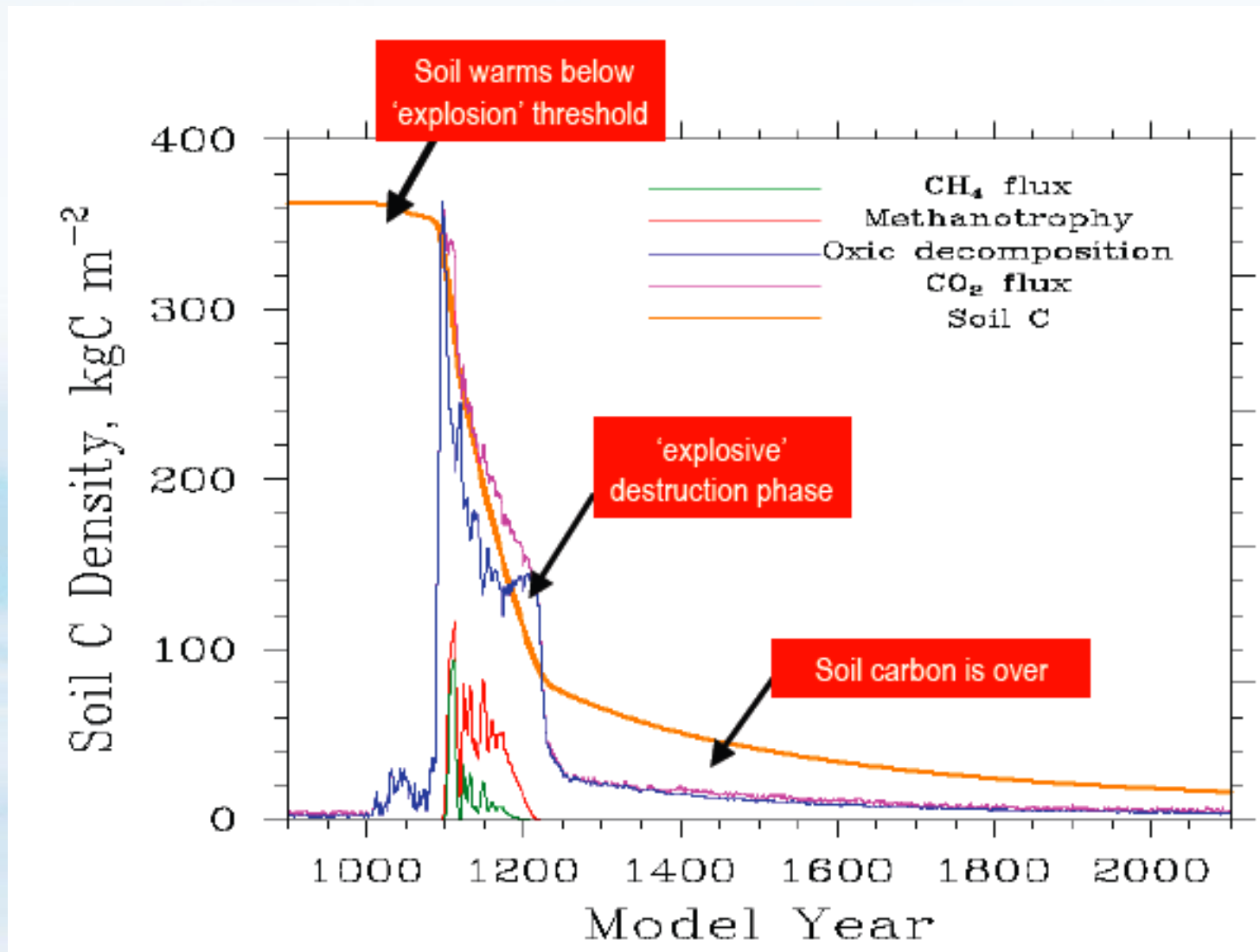
# Les hydrates de méthane, c'est où ?



Ordres de grandeur des émissions de méthane, en millions de tonnes par an, selon la source et l'horizon de temps. La possible déstabilisation des hydrates marins n'est pas représentée car l'incertitude est trop grande. Source IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2014

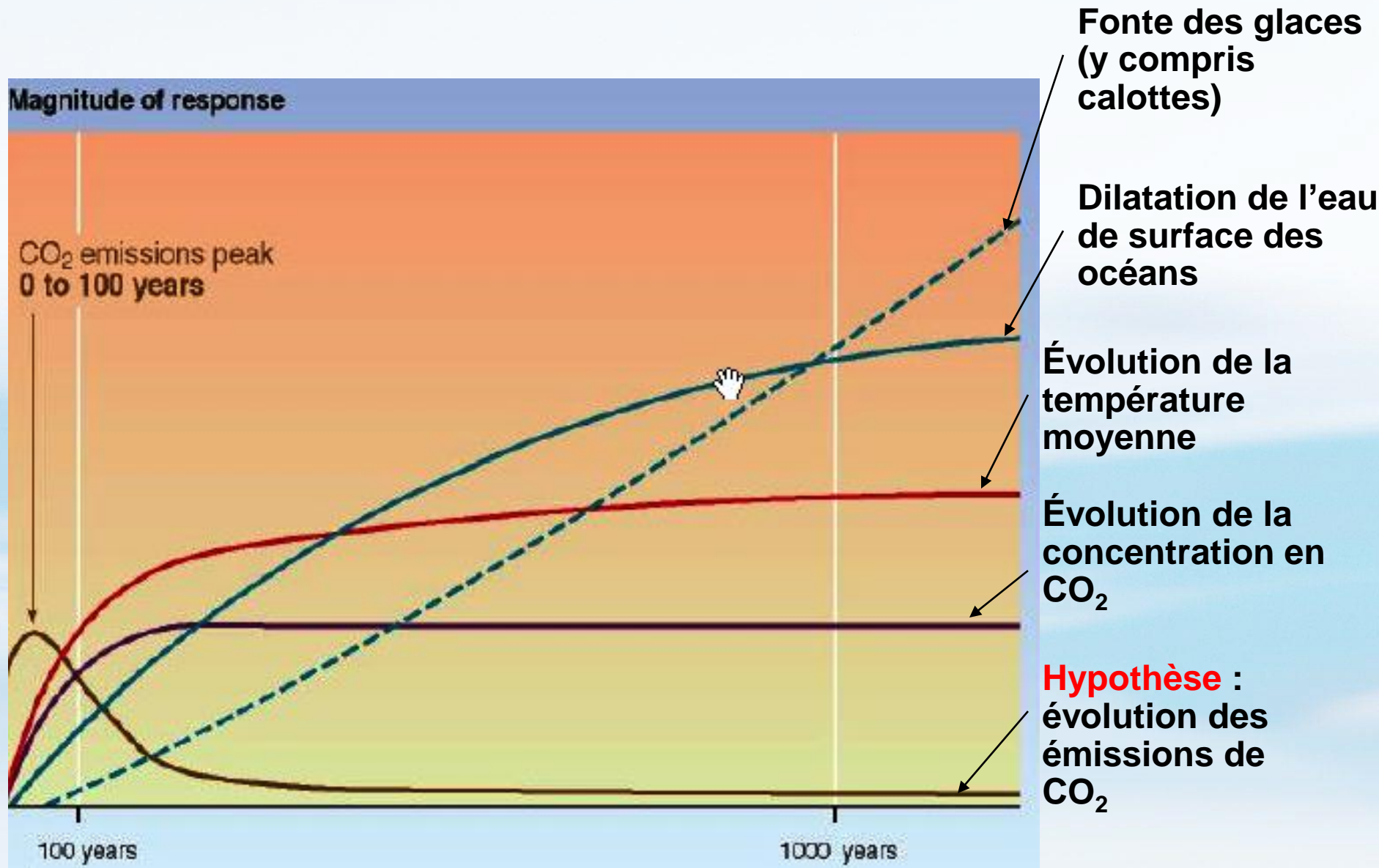


# Le carbone du sol : un petit tour dans l'air... ou pas ?



Carbone résiduel dans le sol des hautes latitudes, en kg par m<sup>2</sup>, si la température franchit le « seuil de réveil » des bactéries contenues dans le sol. Source : P Ciais, en cours de soumission, 2009

# Au secours ! Où est le bouton « reset » ?



Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

La connaissance des risques **restera** toujours partielle. Il faut faire avec.

Attention à ne pas confondre conditionnels et futurs simples : tout ce qui est possible n'arrivera pas nécessairement, mais plus nous émettons, et plus le risque est sérieux

Attention aussi à ne pas confondre « ignorance » et « garantie qu'il ne se passera rien » ! **L'ignorance n'est pas une police d'assurance.**

Attention enfin à **ne pas raisonner à capacité de réaction constante** : ce qui fait notre capacité de résistance à l'adversité aujourd'hui, c'est essentiellement l'abondance de l'énergie, et ce qu'il restera de cette abondance dans un siècle est un énorme point d'interrogation