

# Evolution du climat et projections futures

Didier Swingedouw  
didier.swingedouw@u-bordeaux.fr

[http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/Didier/public\\_html/index.html](http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/Didier/public_html/index.html)







# Qu'est ce que le **giec** ?

GRUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR l'évolution du climat

- Le GIEC est une organisation qui a été mise en place en 1988, à la demande du G7 par :
  - L'organisation météorologique mondiale
  - Le Programme pour l'Environnement des Nations Unies
- C'est donc une **organisation onusienne** qui émet des rapports d'expertises sur le changements climatique
- Ce n'est donc pas un labo, il ne fait pas de recherche mais **photographie l'état des connaissances** à un instant donné

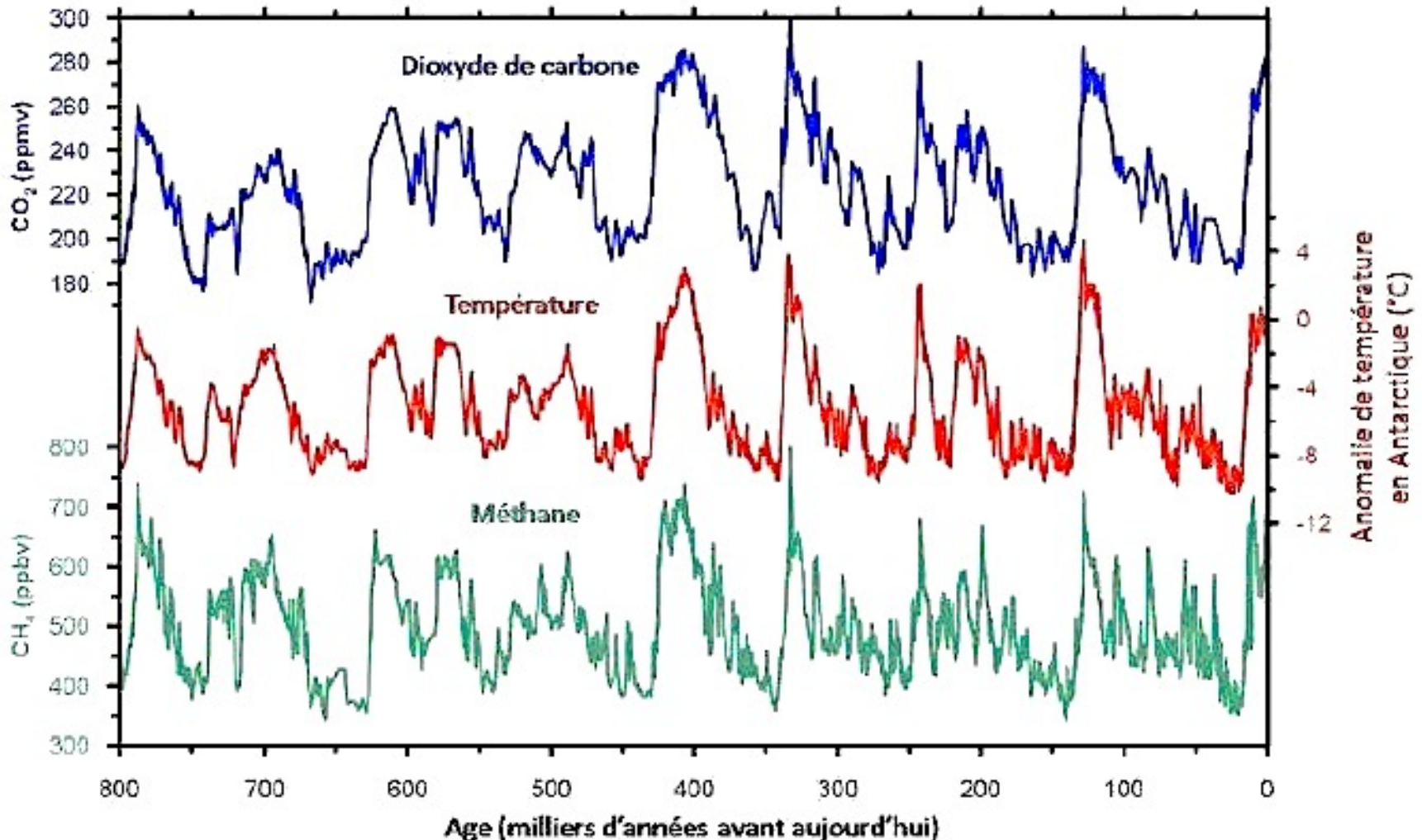


Tous ces faits objectifs sont vraiment très impressionnants, mais je me demandais s'il ne vous serait pas possible de nous proposer plutôt des âneries réconfortantes à la place ?

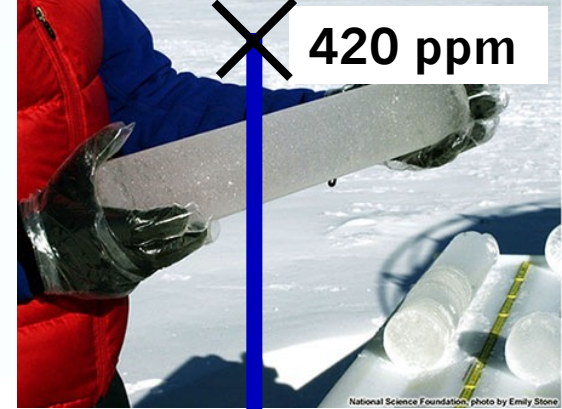


# Les variations passé du climat

Variations enregistrées dans les carottes antarctiques

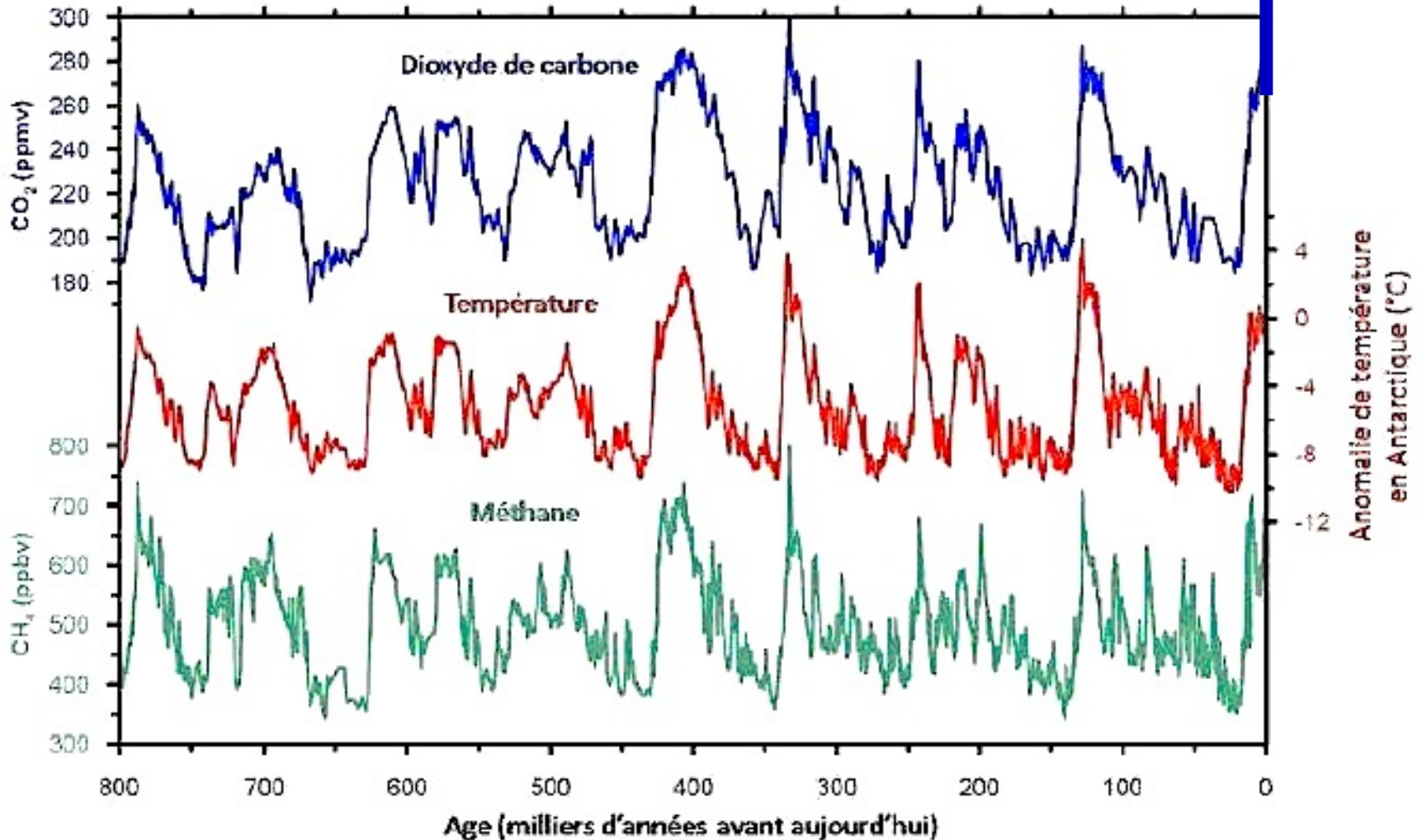


# Les variations passé du climat



420 ppm

Variations enregistrées dans les carottes antarctiques

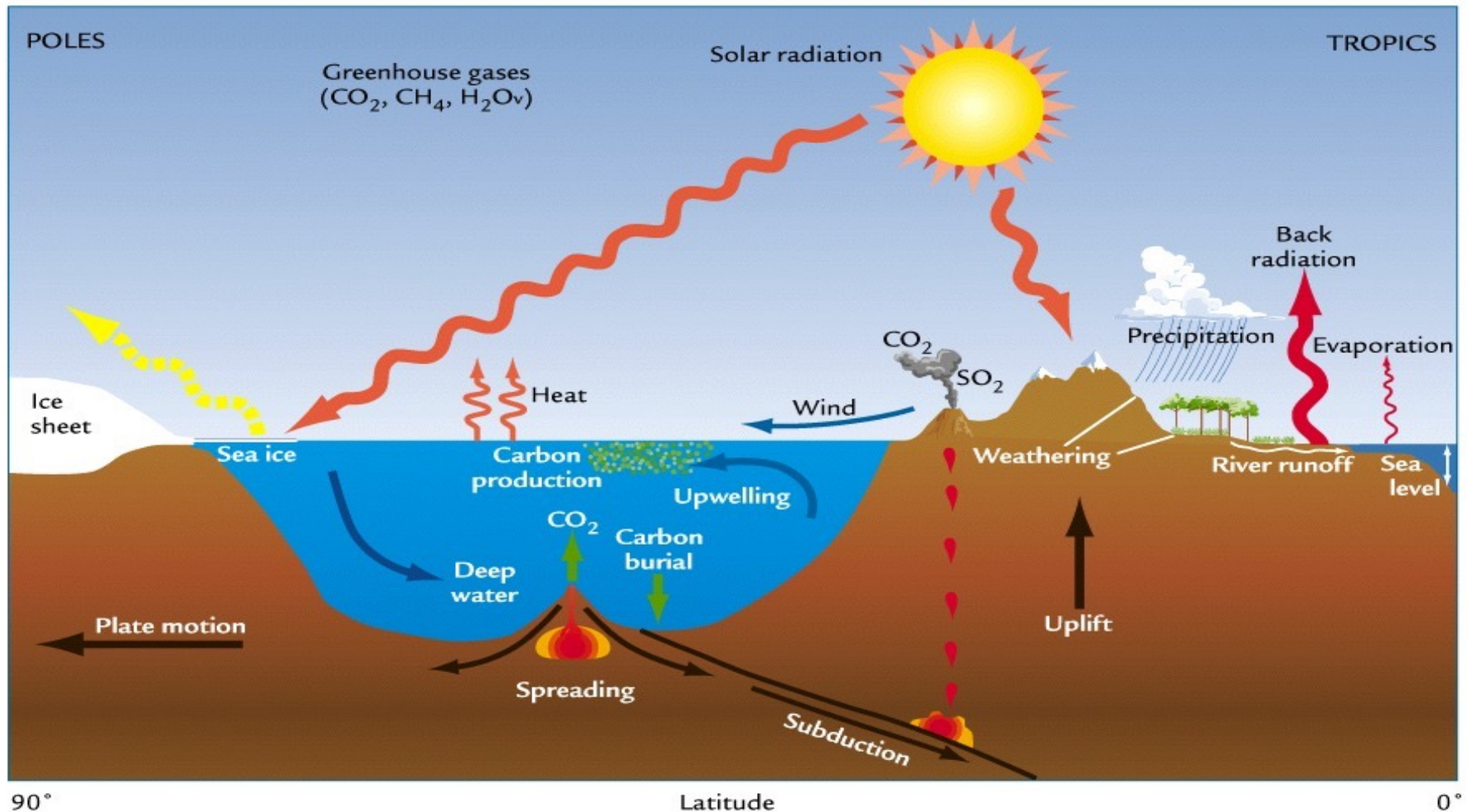




# Qu'est-ce que le climat ?

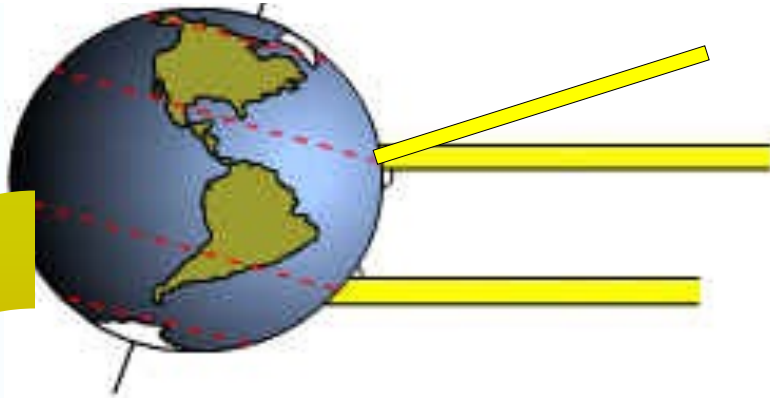
Présence de :

- Forçage : élément extérieur au système climatique qui force son évolution
- Rétroaction : élément interne au système qui peut agir sur une action qui l'a excité



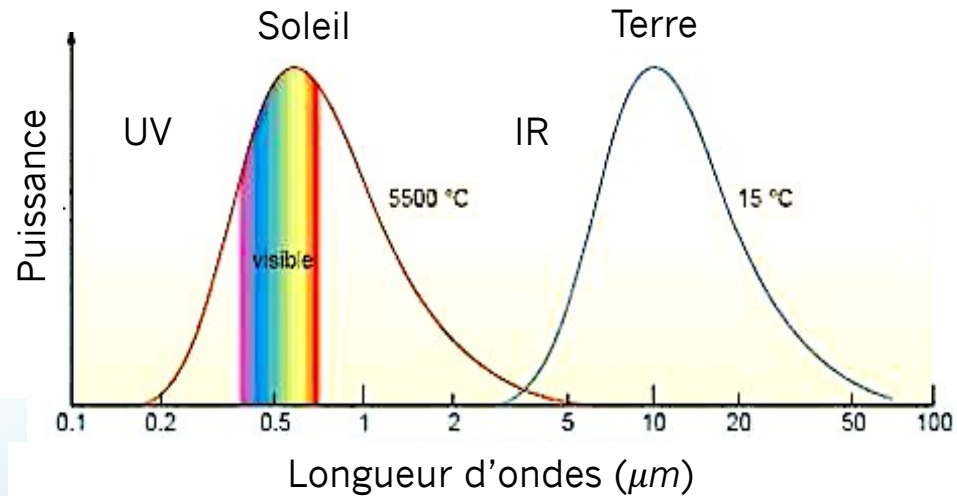
# Equilibre radiatif de la Terre

Rayonnement solaire (directionnel)

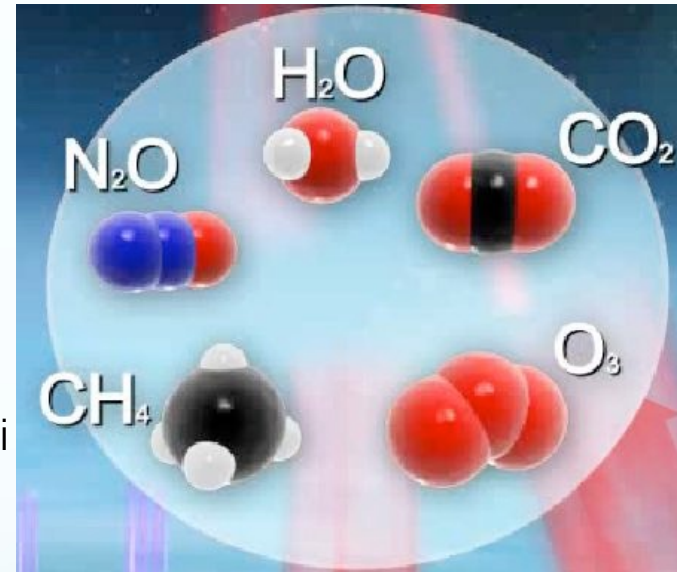
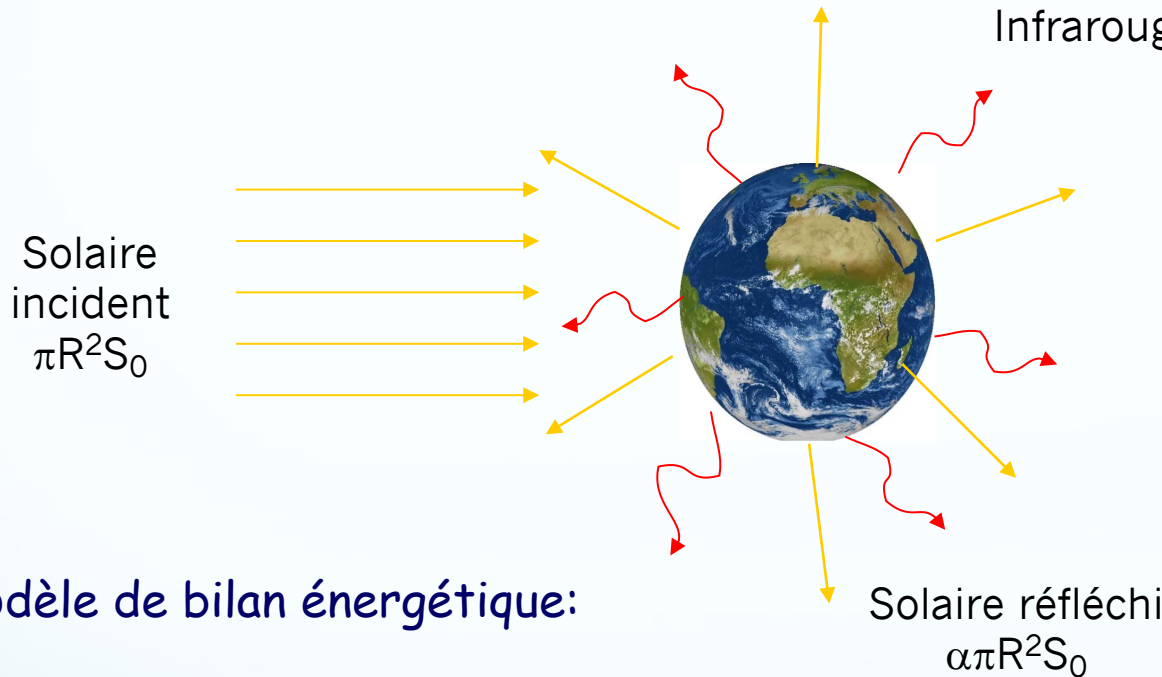


Rayonnement infrarouge terrestre (isotrope)

Radiation du type « corps noir »



# Un modèle simple de Terre



Modèle de bilan énergétique:

$$S_0 (1 - \alpha) \pi R^2 = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

$$S_0 (1 - \alpha) / 4 = \sigma T_e^4$$

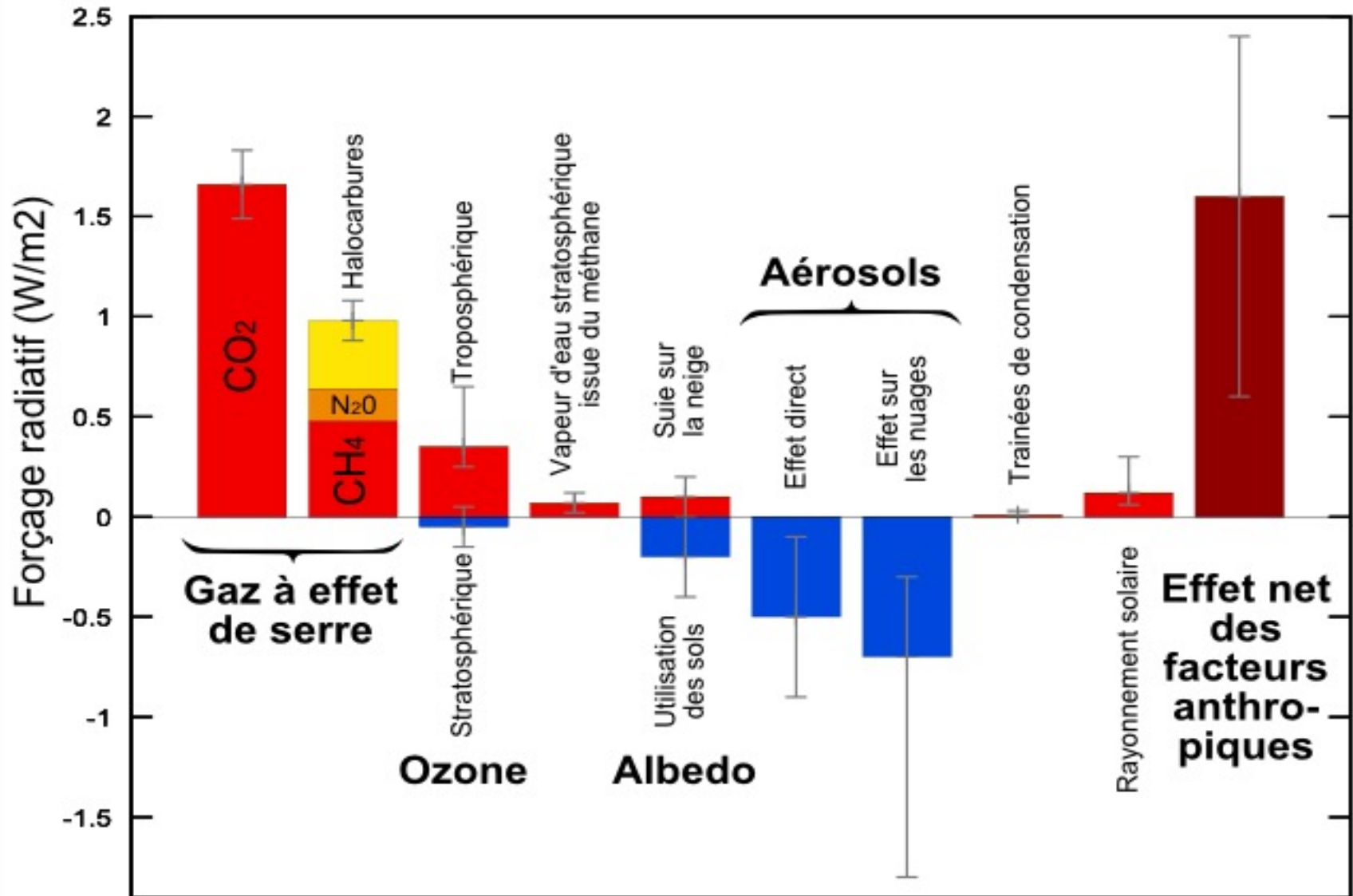
$$\rightarrow T_e = -18^\circ C !!!$$

Effet de serre :  
 $T_s = 15^\circ C$

Connu depuis 1896 ! (Svante Arrhénius)

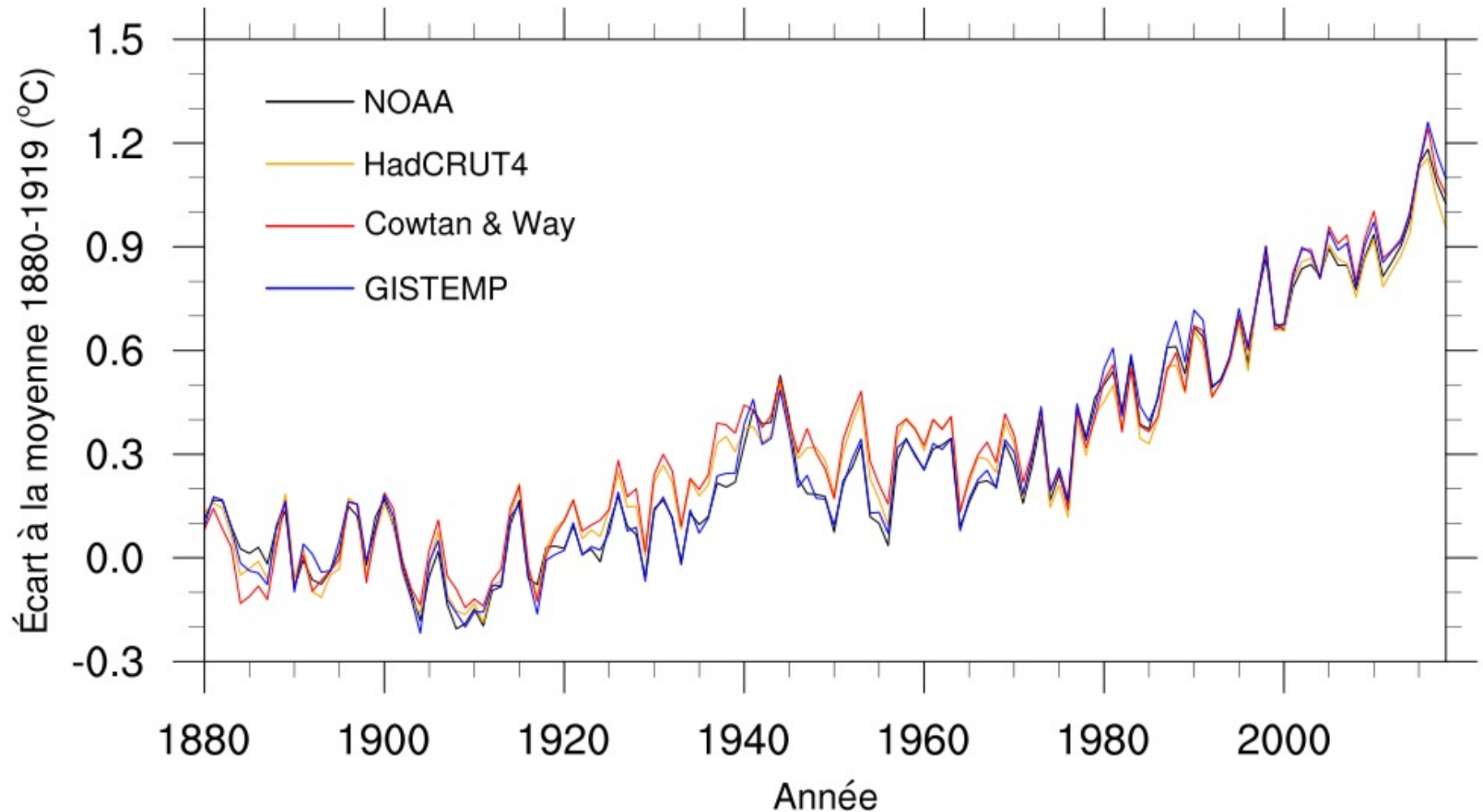


# Changement de forçages externes (1850 → 2005)

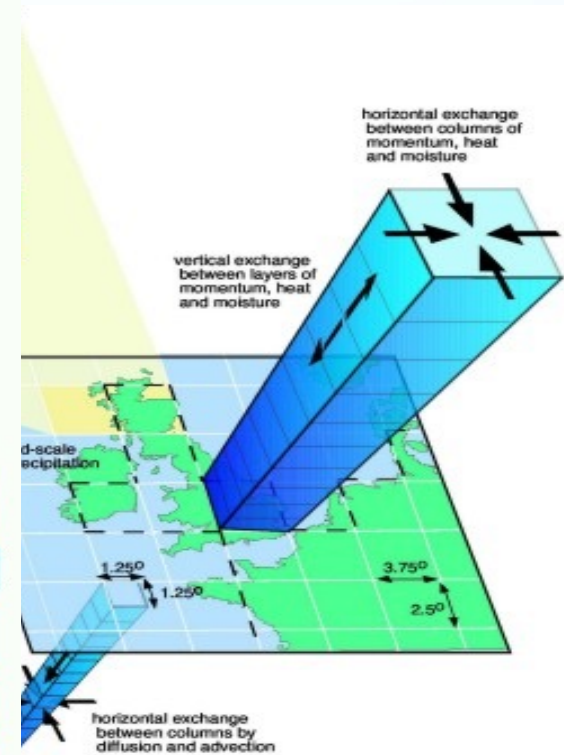
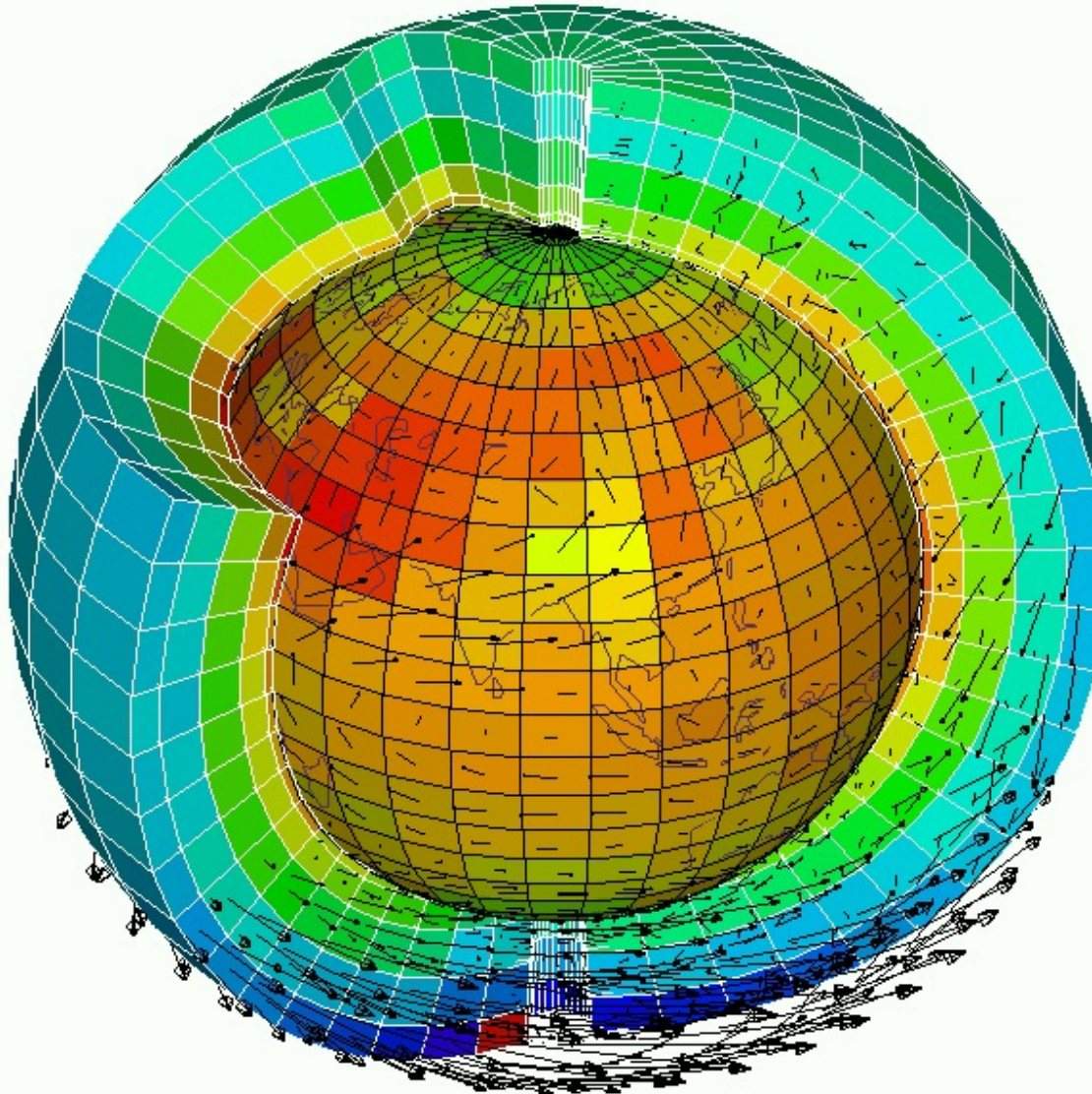


# Changement de température globale

Température globale reconstruite à partir d'observations *in situ*



# La Terre dans de petites boîtes

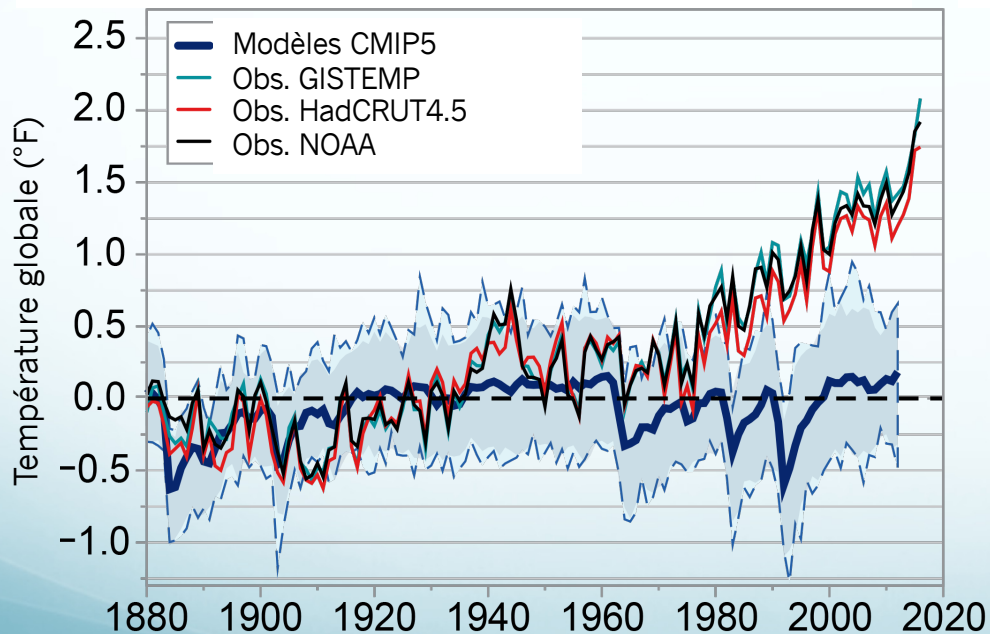




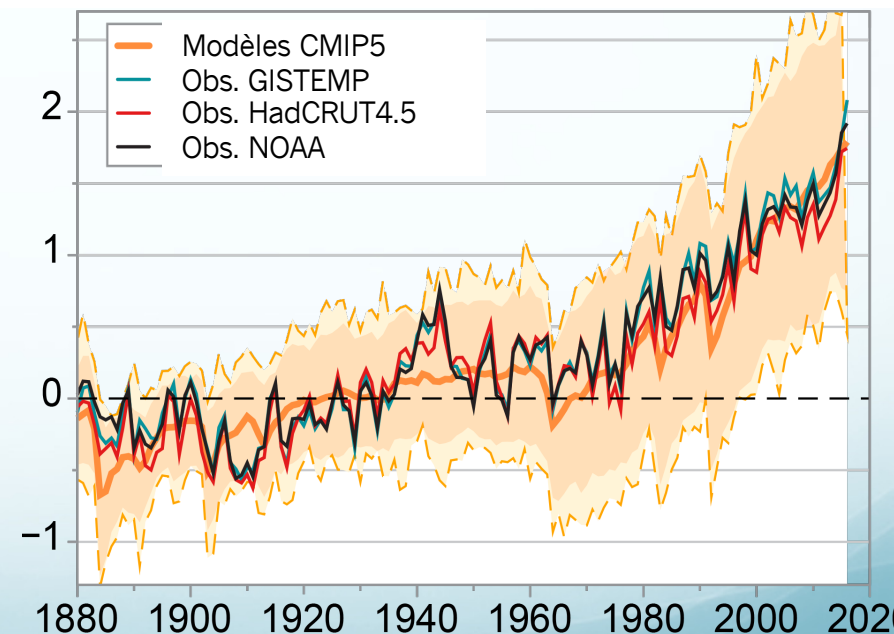
# Détection-attribution du changement climatique

Changement de température globale dans les observations et modèles

a) Avec forçage naturel seulement

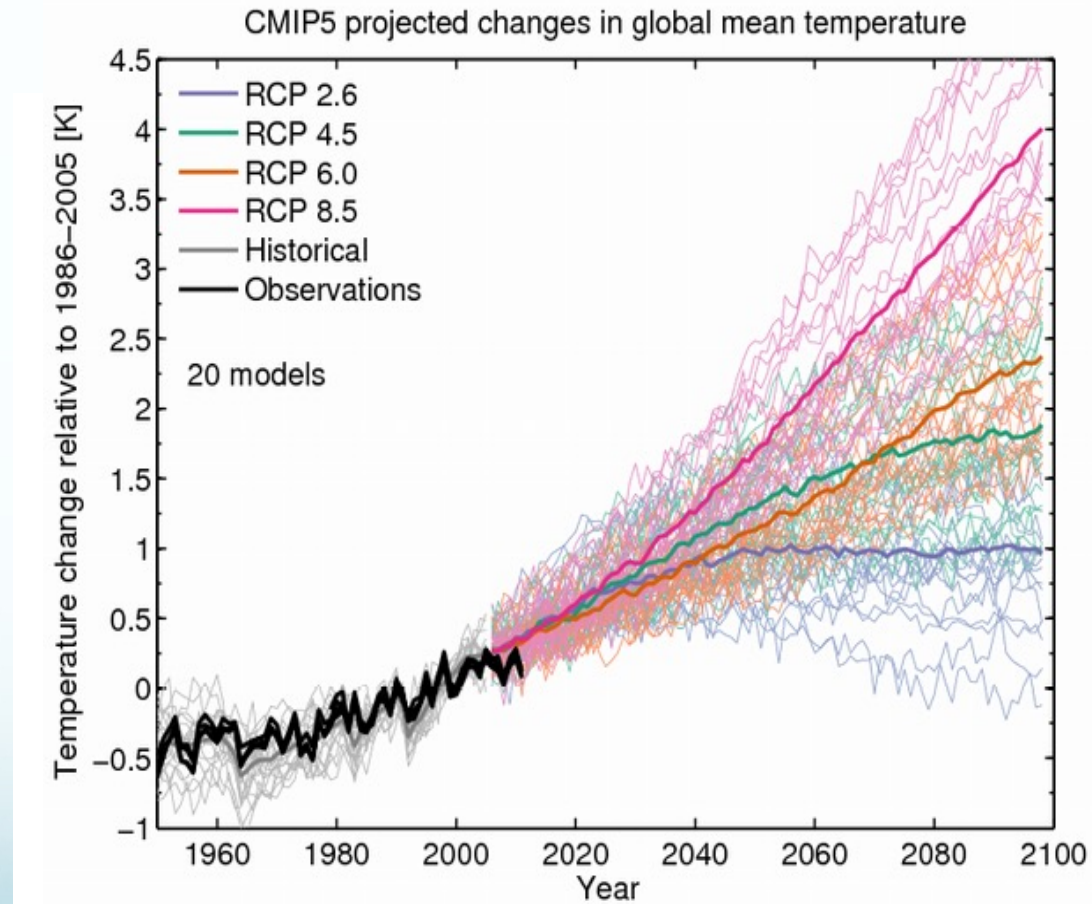


b) Avec tous les forçages, dont anthropiques

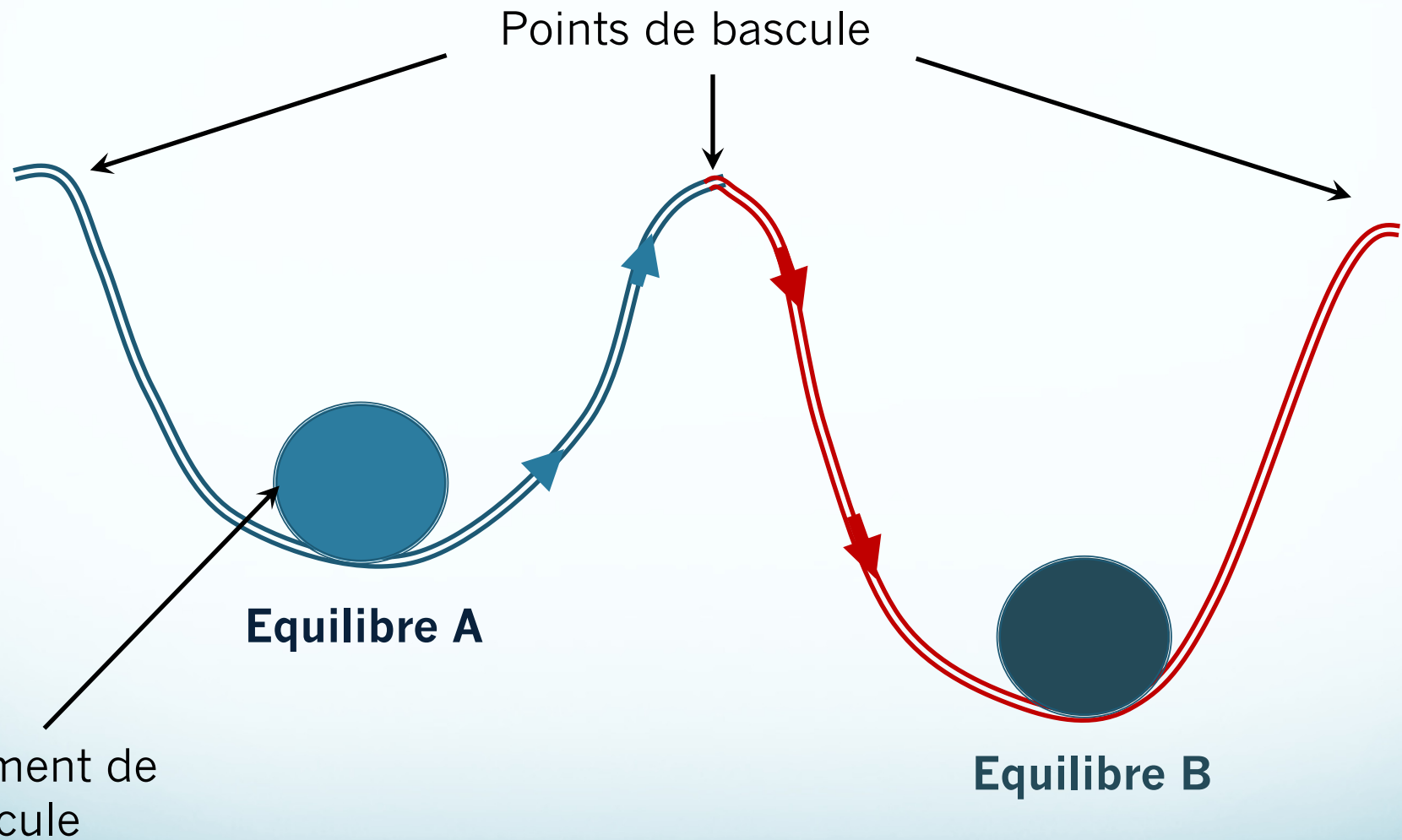


# Projections climatiques

- Des dizaines de modèles développés de par le monde
- Deux en France (“Paris” et “Toulouse”)
- Projettent un réchauffement entre +1.5 et +7°C (par rapport à 1850-1900) en 2100 selon nos émissions de gaz à effet de serre



# Qu'est ce qu'un point de bascule ?

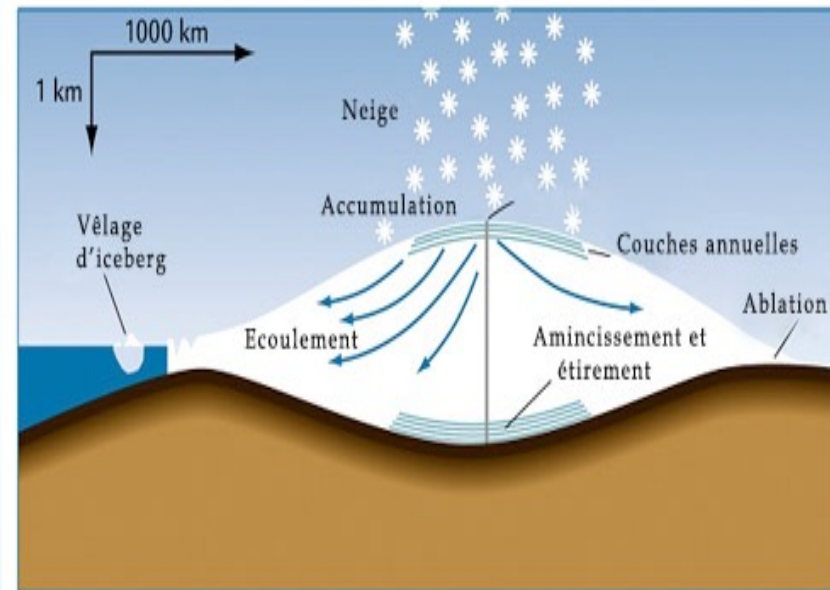


**Lenton et al. (2008)** : Le terme “**point de bascule**” se réfère à un seuil critique au delà duquel une petite perturbation peut modifier qualitativement l'état d'un système.

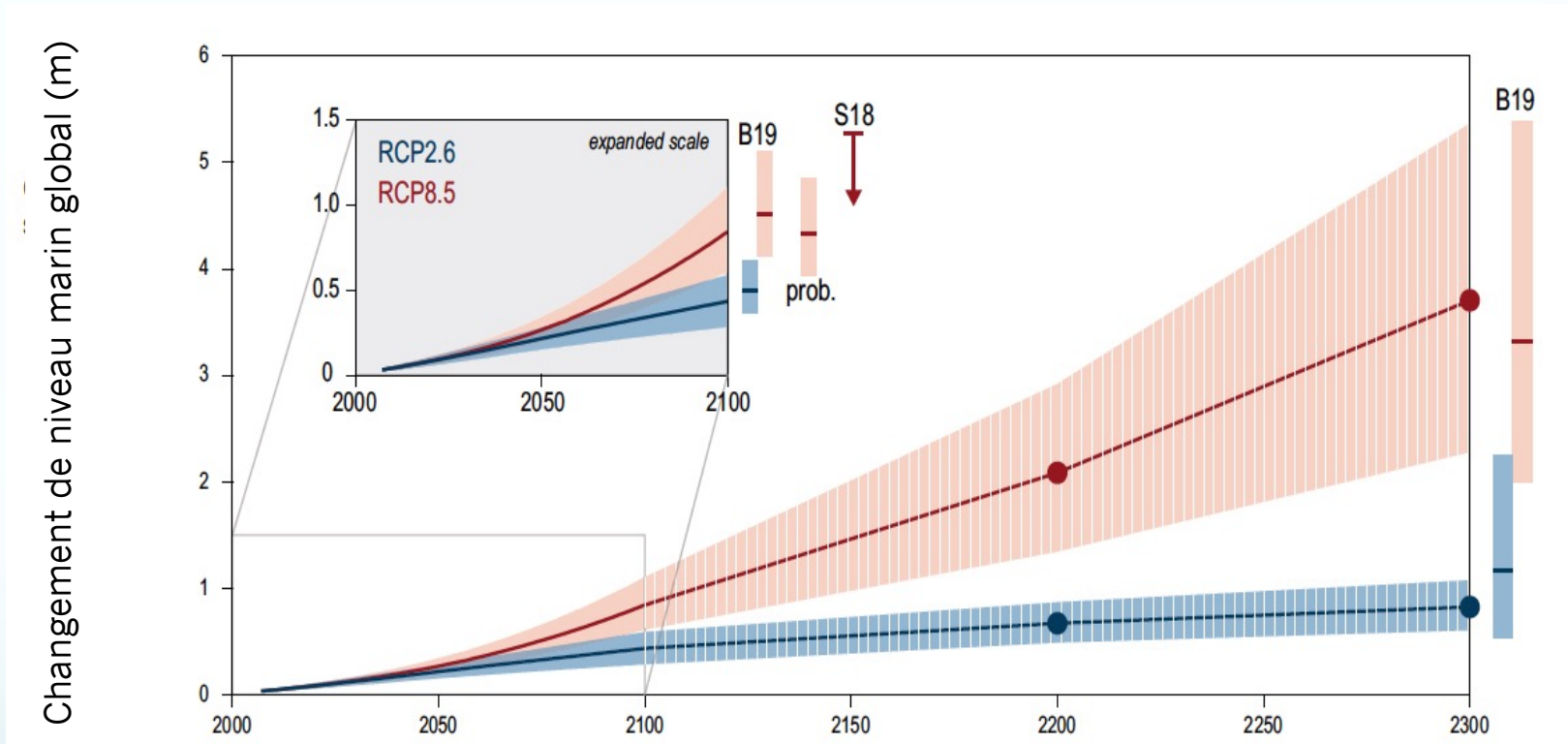


# Points de bascule des calottes polaires

- Groenland : risque de fonte totale dès 2-3°C de réchauffement global
  - ⇒ représente jusque 6-7 m de niveau marin global
- Antarctique : surtout l'Antarctique de l'Ouest qui est "à risque"
  - ⇒ représente jusque 4-5 m de niveau marin global
- Temps de fonte encore difficile à estimer, mais *a priori*, centaines à milliers d'années



# Projections de niveau marin



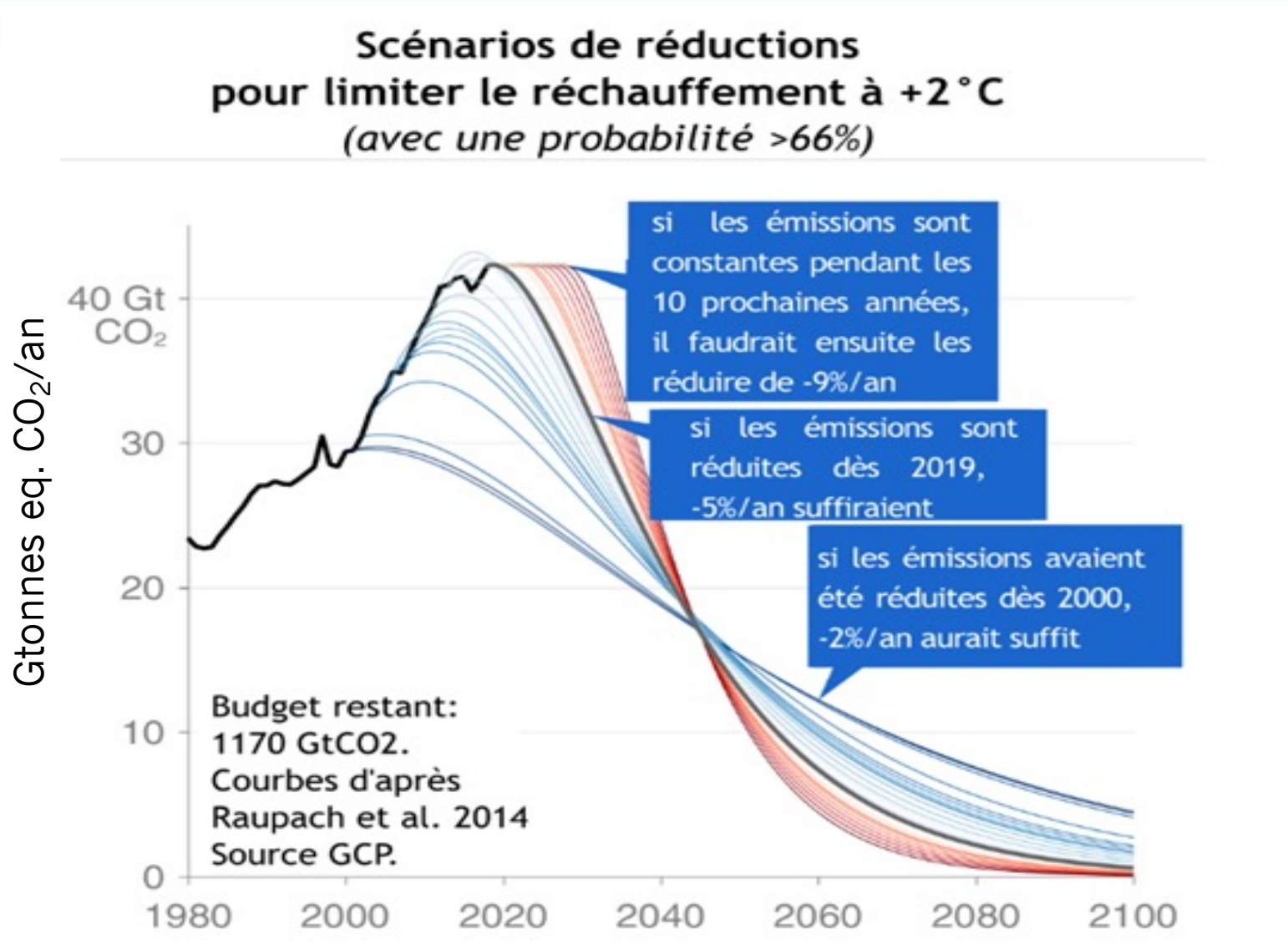
- Plus de 600 millions d'habitants vivent sur des littoraux peu élevés
- De nombreuses villes très vulnérables (New York, Alexandrie, Miami...)

# Coûts du changement climatique

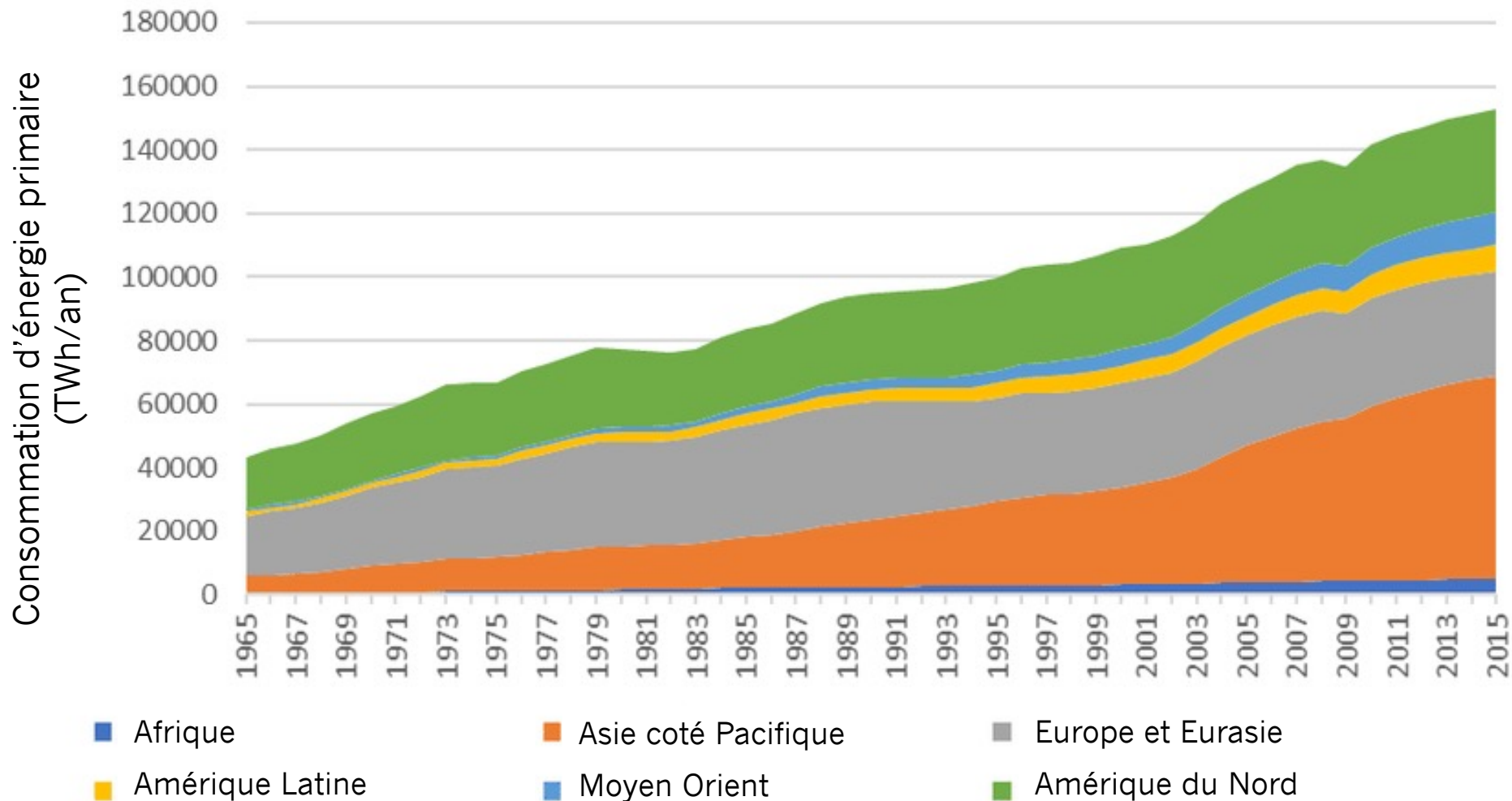
- Rapport Stern (2006) : **plus cher de s'adapter** au changement climatique que de limiter les émissions de gaz à effet de serre
- **2000 milliard d'euros de coût annuel** à partir de 2030 lié au changement climatique d'après un rapport récent de l'ONU
- Chaque  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  compte pour limiter les impacts (GIEC, rapport SR1.5 2018), mais **forte inertie du climat**
- Les impacts augmentent de manière **non linéaire**
- Il existe des **seuils** à ne pas dépasser (1.5°C, 2°C)



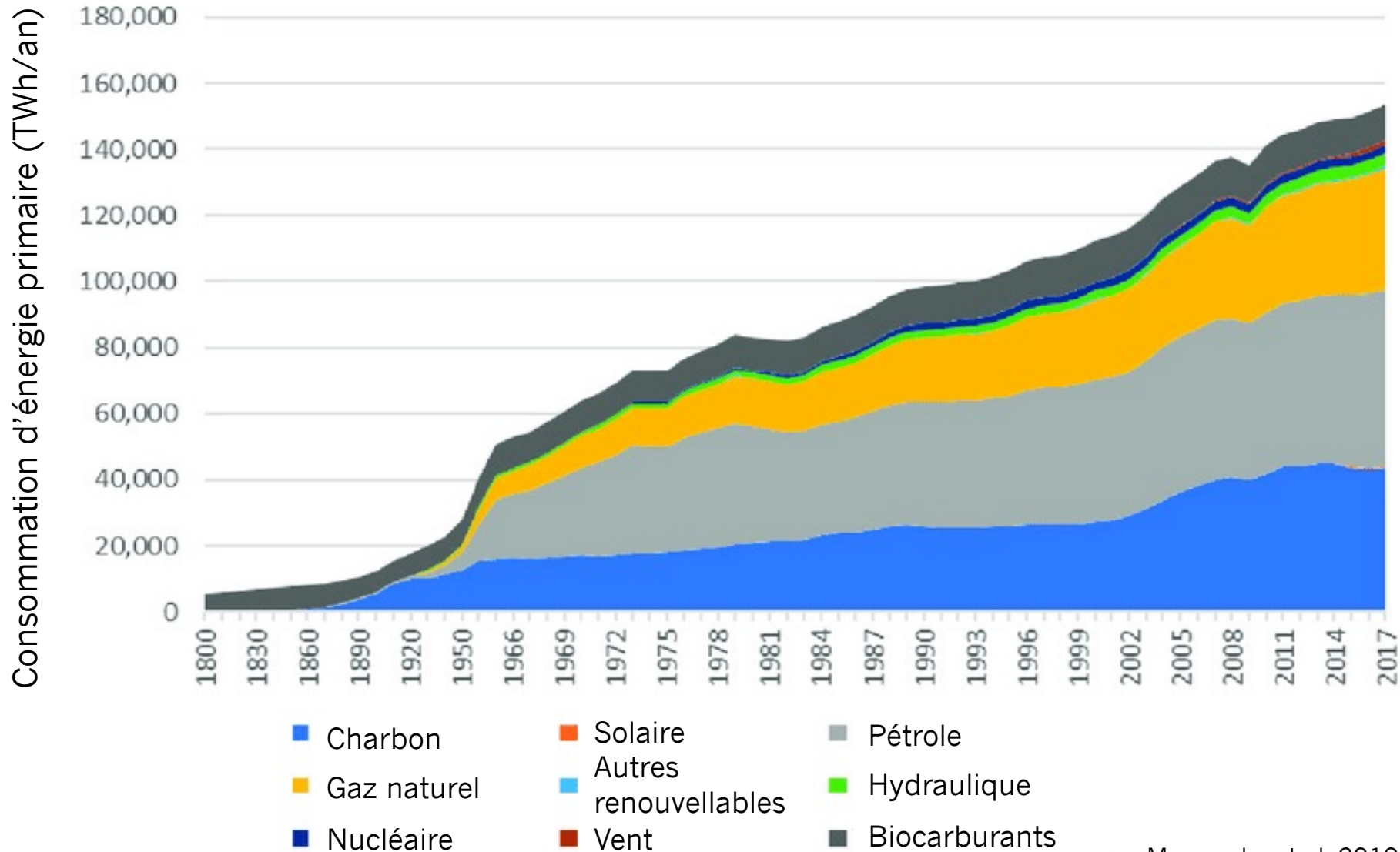
# Accords Paris → Le changement, c'est maintenant ! (pas dans 10 ans...)



# Consommation d'énergie : toujours plus...



# Consommation d'énergie et émissions sont intimement liées





Les chiffres sont têtus : la technologie ne sera *a priori* pas suffisante, la modération n'est pas « optionnelle »

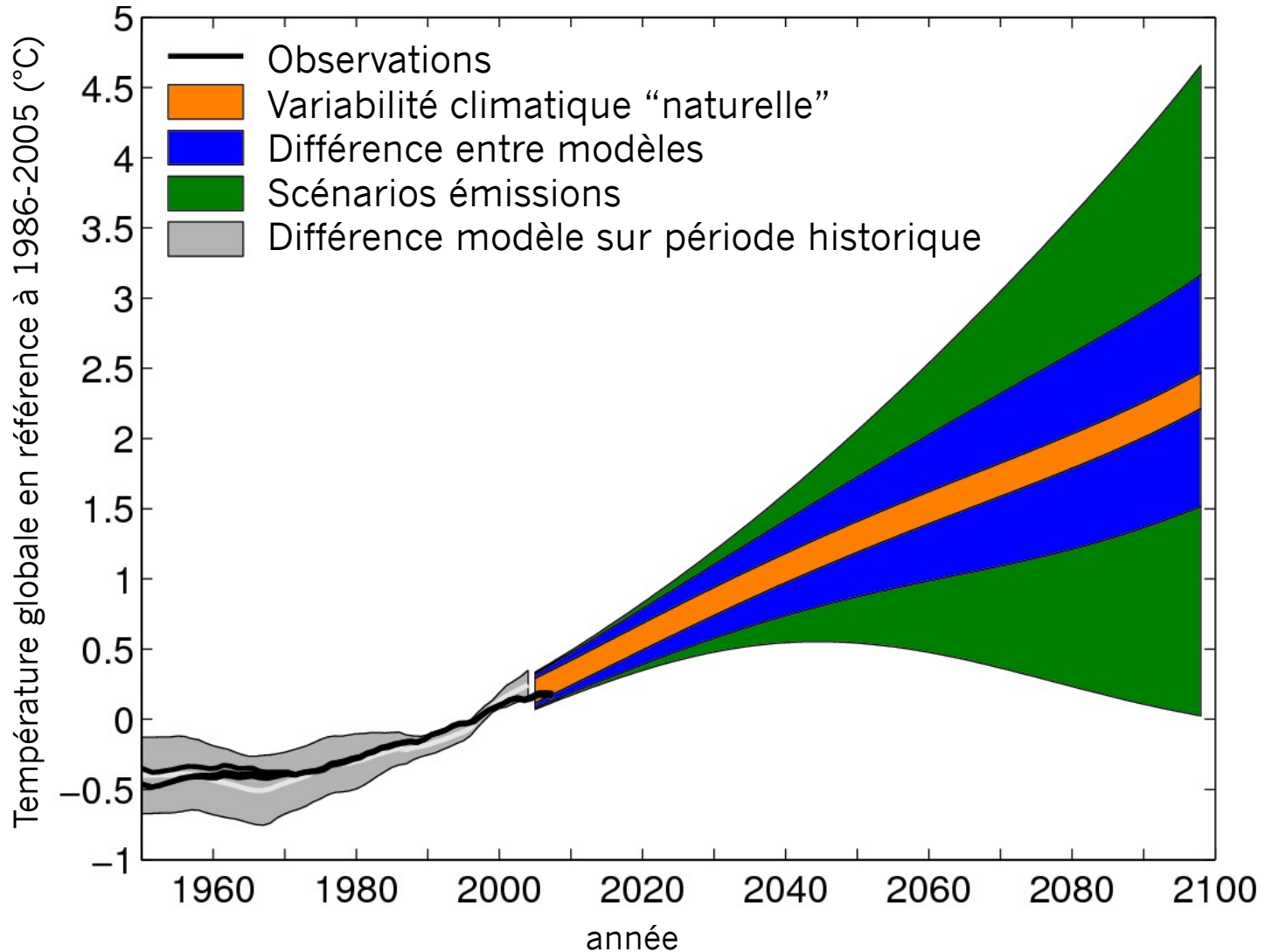
Ca sèche le linge en utilisant les dernières technologies : une combinaison de solaire et d'éolien



CHRIS  
MADDEN

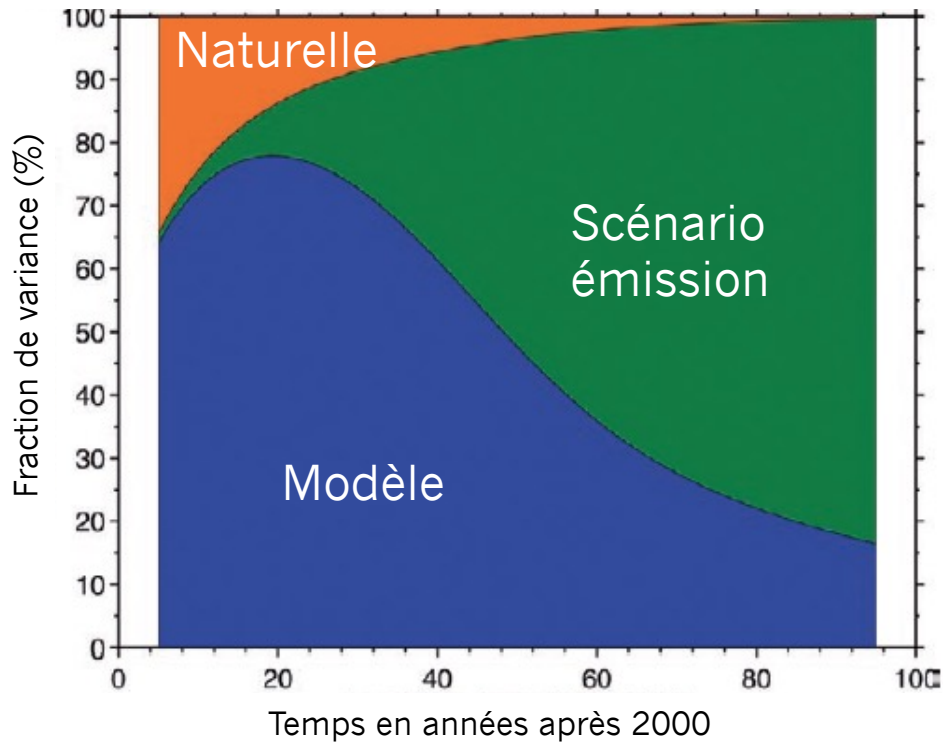
# Notion d'incertitude

Sources d'incertitudes des températures globales projetées

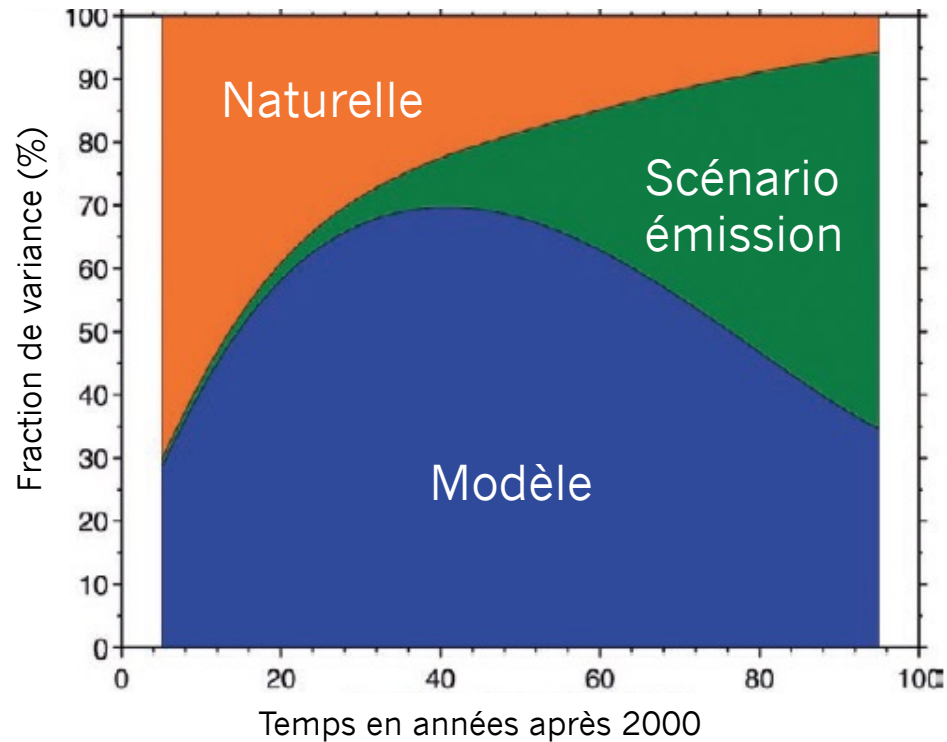


# Sources d'incertitudes

Température de surface globale

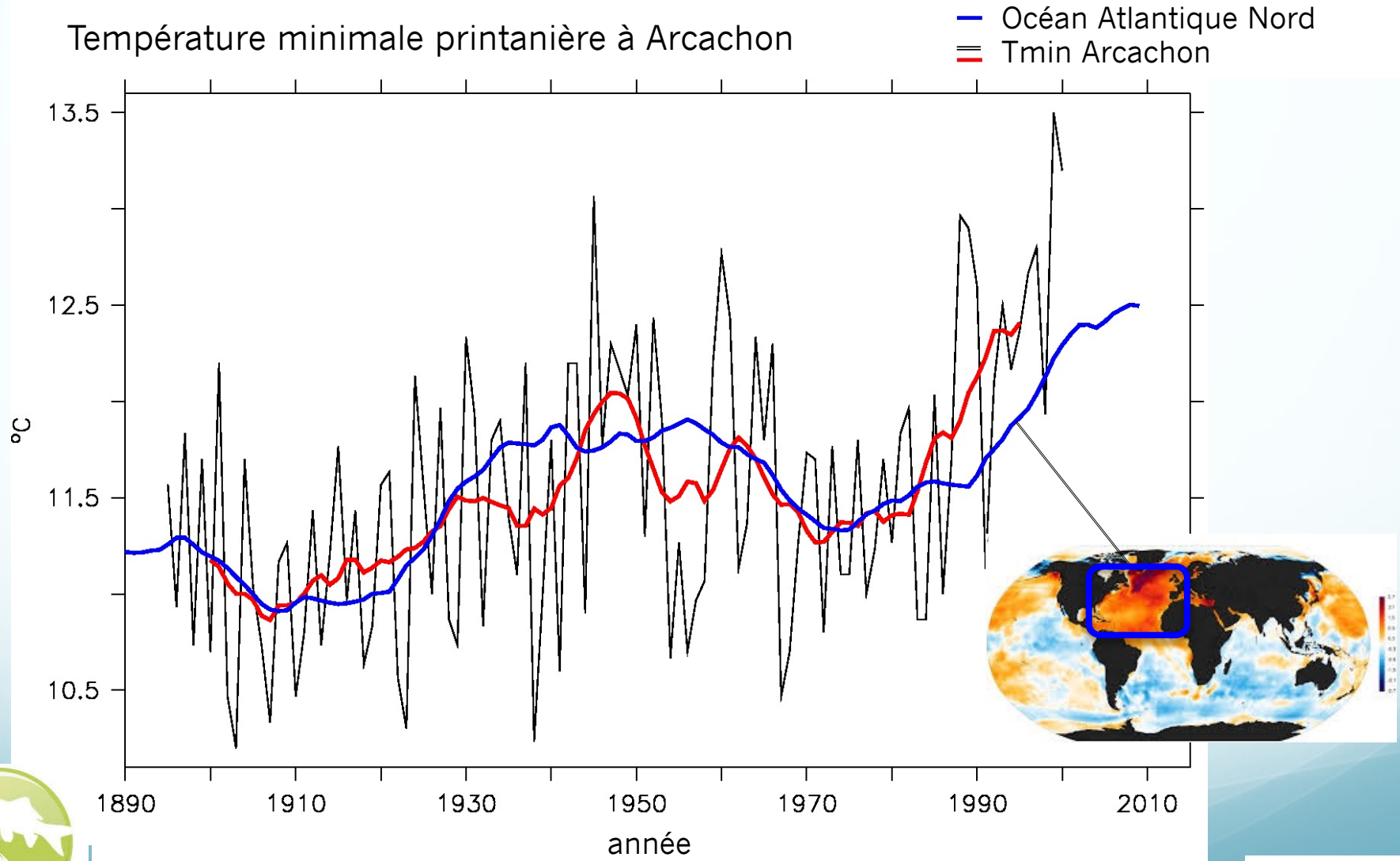


Température de surface des îles britanniques

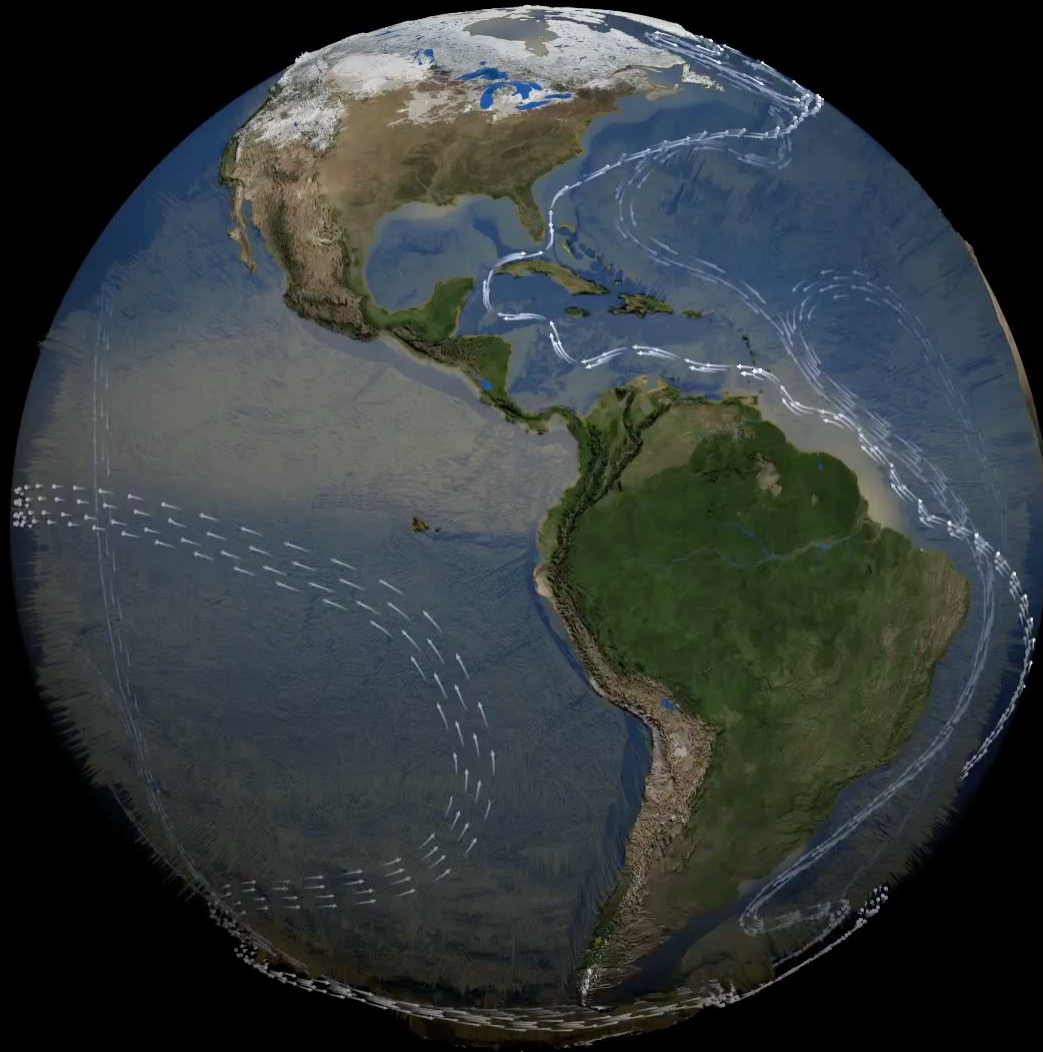




# Variabilité et changements climatiques

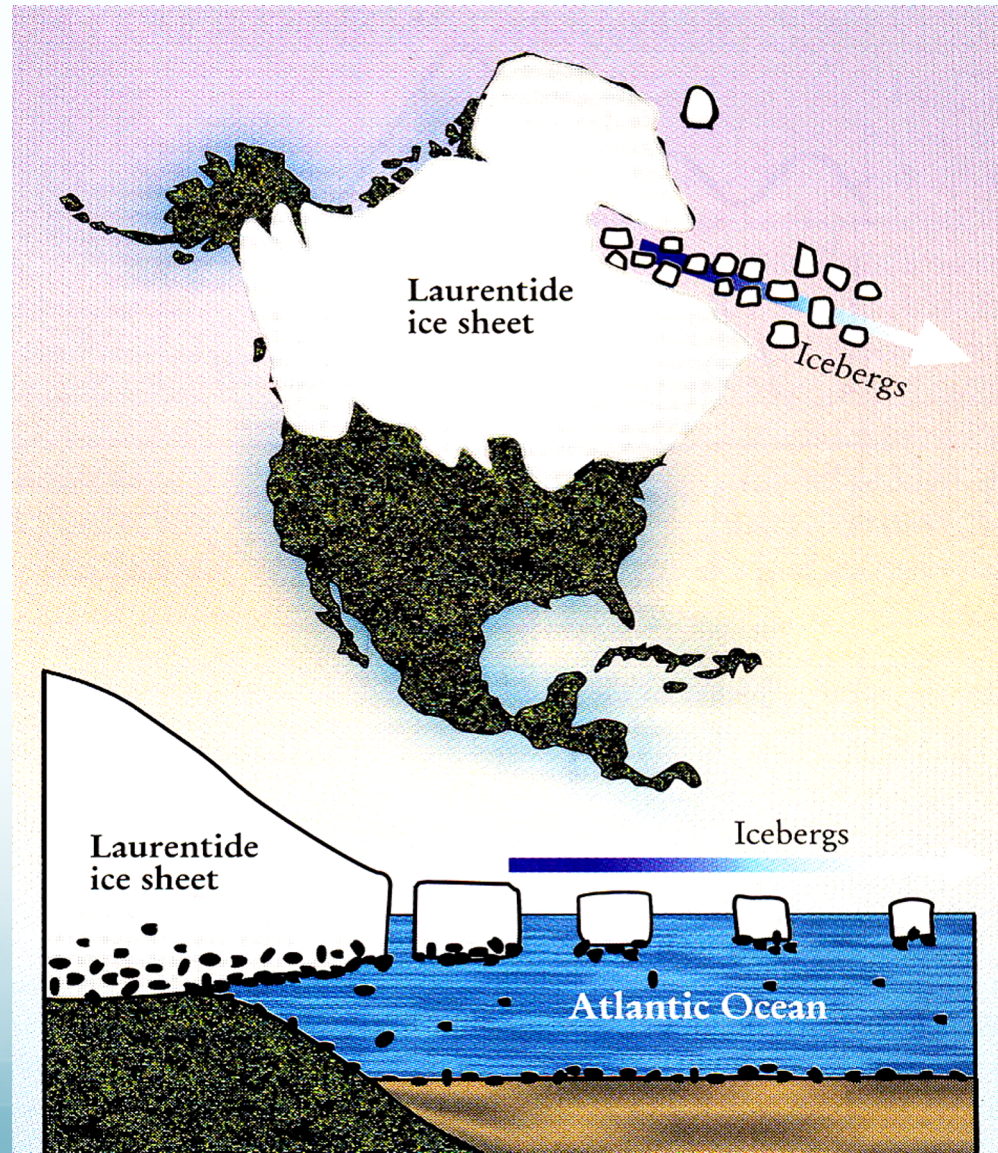
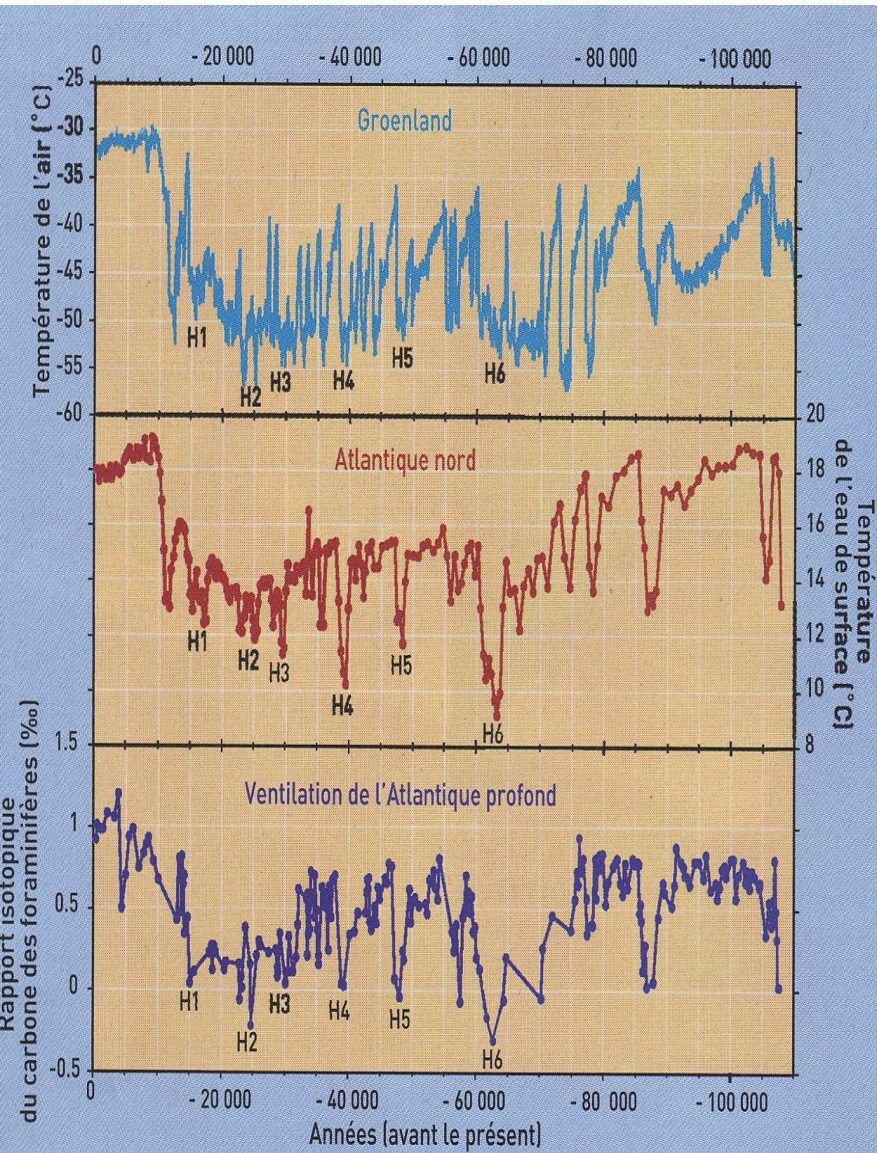


# Circulation océanique de retournement





# Evénements de Heinrich





The image is a movie poster for 'The Day After Tomorrow'. It features a dramatic, high-contrast scene of the Eiffel Tower in Paris, France, completely encased in a thick, white layer of ice and snow. The tower stands as a stark, isolated monument in a desolate, frozen landscape. In the background, the Parisian skyline is visible, also partially buried under the ice. The sky is filled with dark, heavy, grey clouds, suggesting a storm or a period of extreme weather. The overall mood is one of isolation and the overwhelming power of nature.

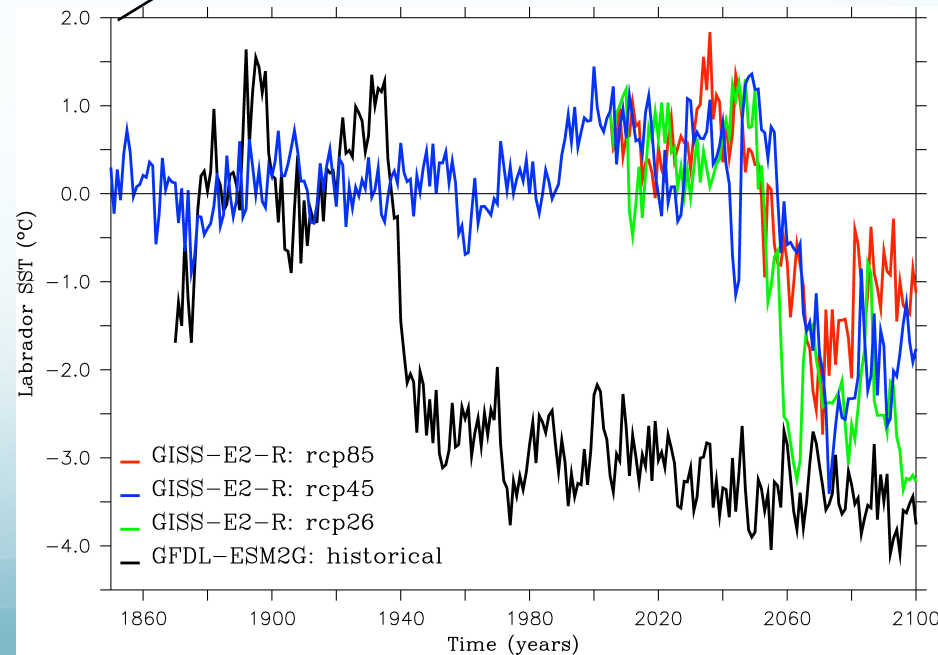
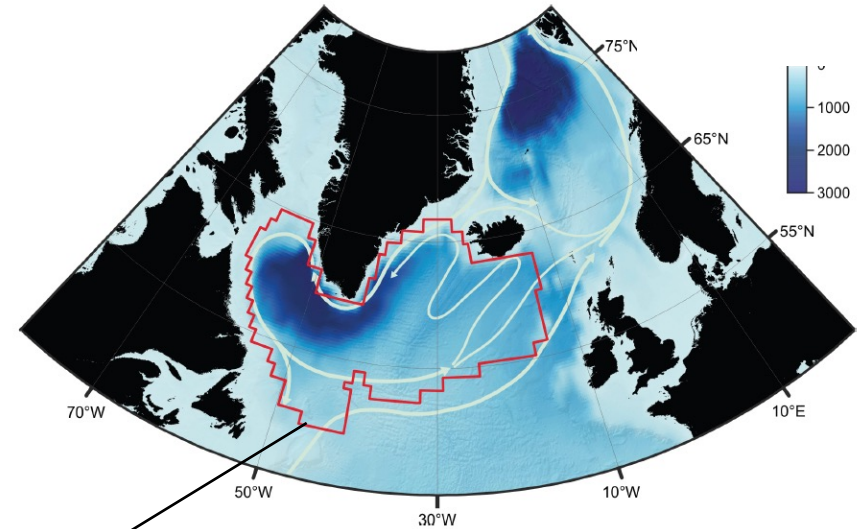
**LE JOUR D'APRÈS**  
— THE DAY AFTER TOMORROW —  
**OÙ SEREZ-VOUS ?**

AU CINÉMA LE 26 MAI 2004



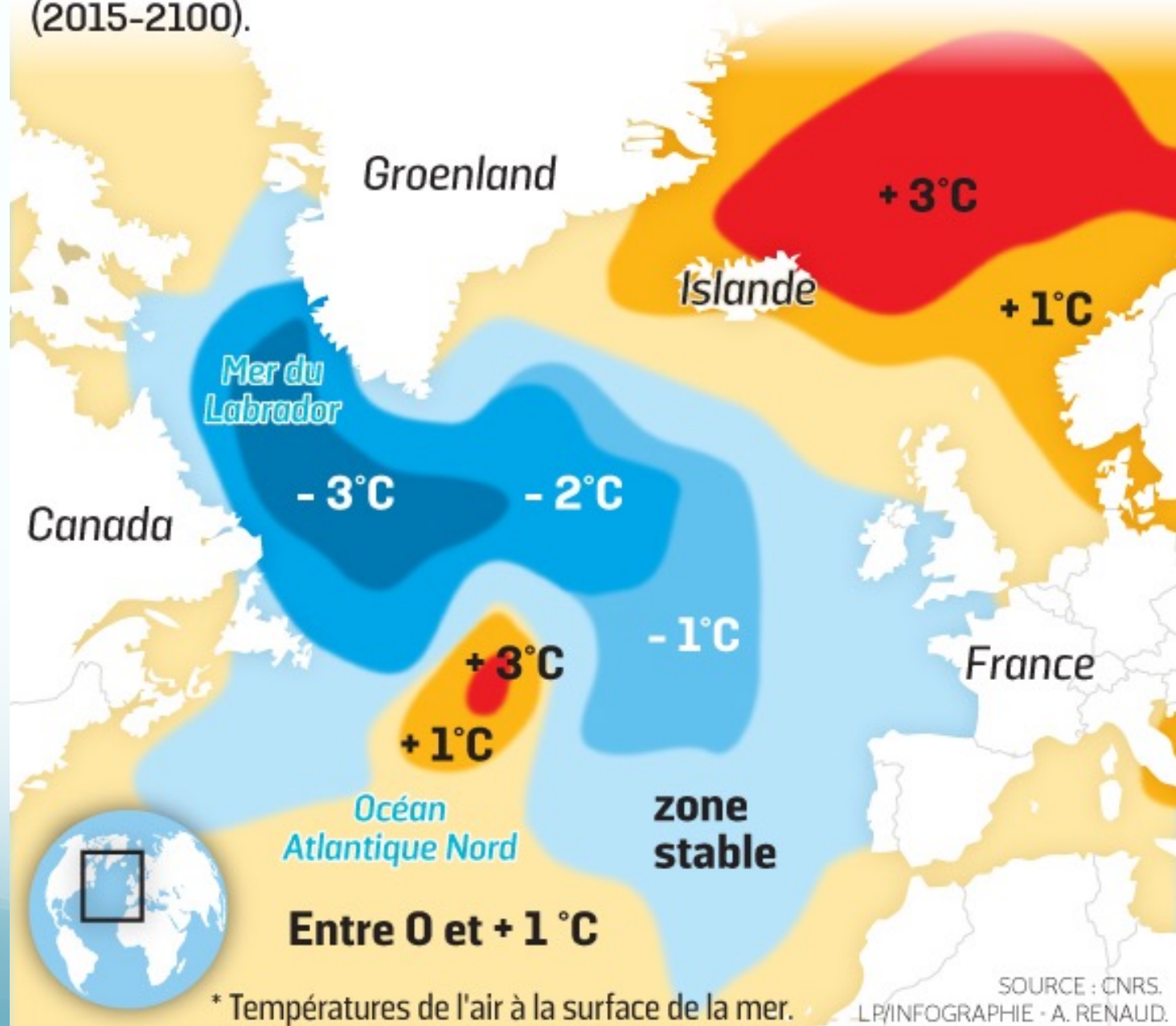
# Surprise climatique ?

- Certains modèles de climat prévoient des changements abrupts de température, avec un refroidissement de 2-3°C en moins de 10 ans dans le gyre subpolaire



# L'étonnant scénario du refroidissement

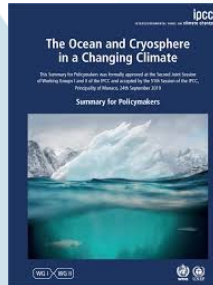
Estimation d'écart de températures\* entre le début et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (2015-2100).



# Impact d'un changement de circulation océanique dans l'Atlantique



**ipcc**  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON  
climate change



## Physical system

- Droughts
- Temperature trend
- Sea level rise
- Cyclones frequency
- Sea ice and snow
- Precipitation and flooding
- Storminess

## Biological system

- Vegetation
- Marine ecosystems
- Wetland methane
- Oxygenation
- Oceanic carbon and acidification

## Human and managed systems

- Agriculture and food production
- Migration pressure due to degradation in livelihoods

## Direction of the change

- Increase
- Decrease

## Confidence in process understanding

- High
- Medium
- Low

Fig. 6.10 from IPCC SROCC report, 2019

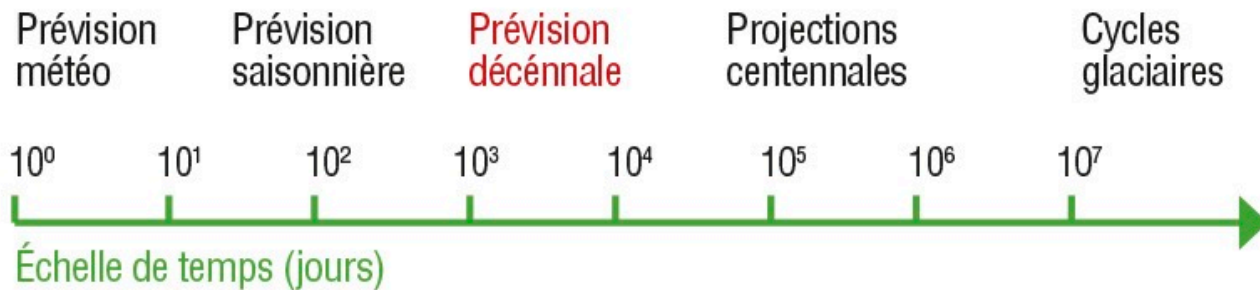
# Prévisions climatiques décennales

© D. Swingedouw

**Importance  
conditions initiales**



**Importance  
conditions aux limites**



► Schéma montrant l'importance relative des conditions initiales et aux limites pour le climat selon les échelles de temps.



# Conclusions

- **Le climat** est une machine complexe qui possède **beaucoup d'inertie** (centaines à milliers d'années)
- Il existe des **points de bascule** dans le système climatique qui demandent de rester sous des seuils de changement de température globale
- Rester sous les 2°C demande des changements très importants à **implémenter maintenant** (car ensuite, la physique du climat indique que ce sera très compliqué)
- **La technique** est clairement une solution à explorer, mais ne sera *a priori* **pas suffisante** pour résoudre le casse-tête climat-énergie
- **L'incertitude** sur les projections climatiques à l'échelle régionale (voir même globale) **reste importante** et ne doit pas être « oubliée »

Merci !



Didier.Swingedouw@u-bordeaux.fr