

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

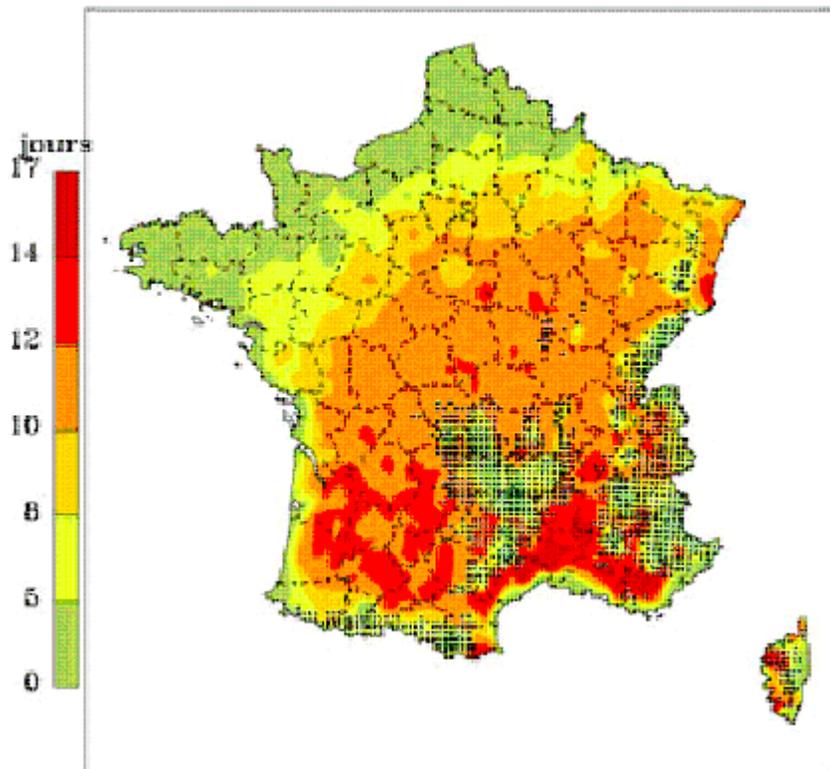
- DU PASSE VERS L'AVENIR -

Gilles DELAYGUE

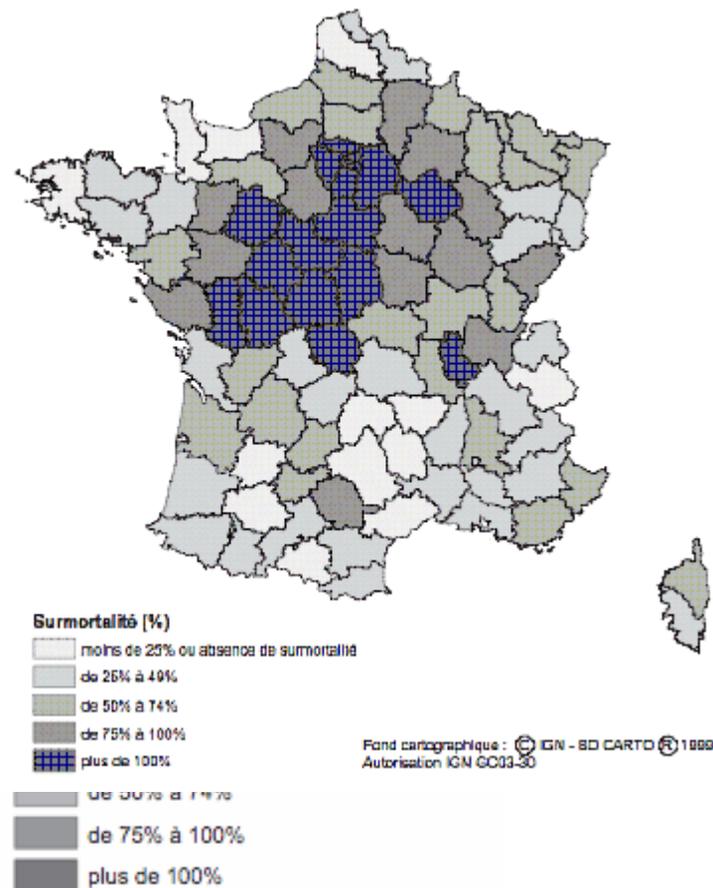
- ◆ maître de conférence à l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille III (**UPCAM**)
- ◆ chercheur au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (**CEREGE**)



Août 2003 : canicule et surmortalité



Nombre de jours avec $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$
(MétéoFrance)



Surmortalité en Août 2003 / 2000-2002
(InVS, 2003) 2

un problème de mémoire ?

MAI TORRIDE

**LA PLUS CHAUDE JOURNÉE
DU SIÈCLE**

33°4 à l'ombre le 24 mai 1922, à Paris

Et rien n'annonce le refroidissement

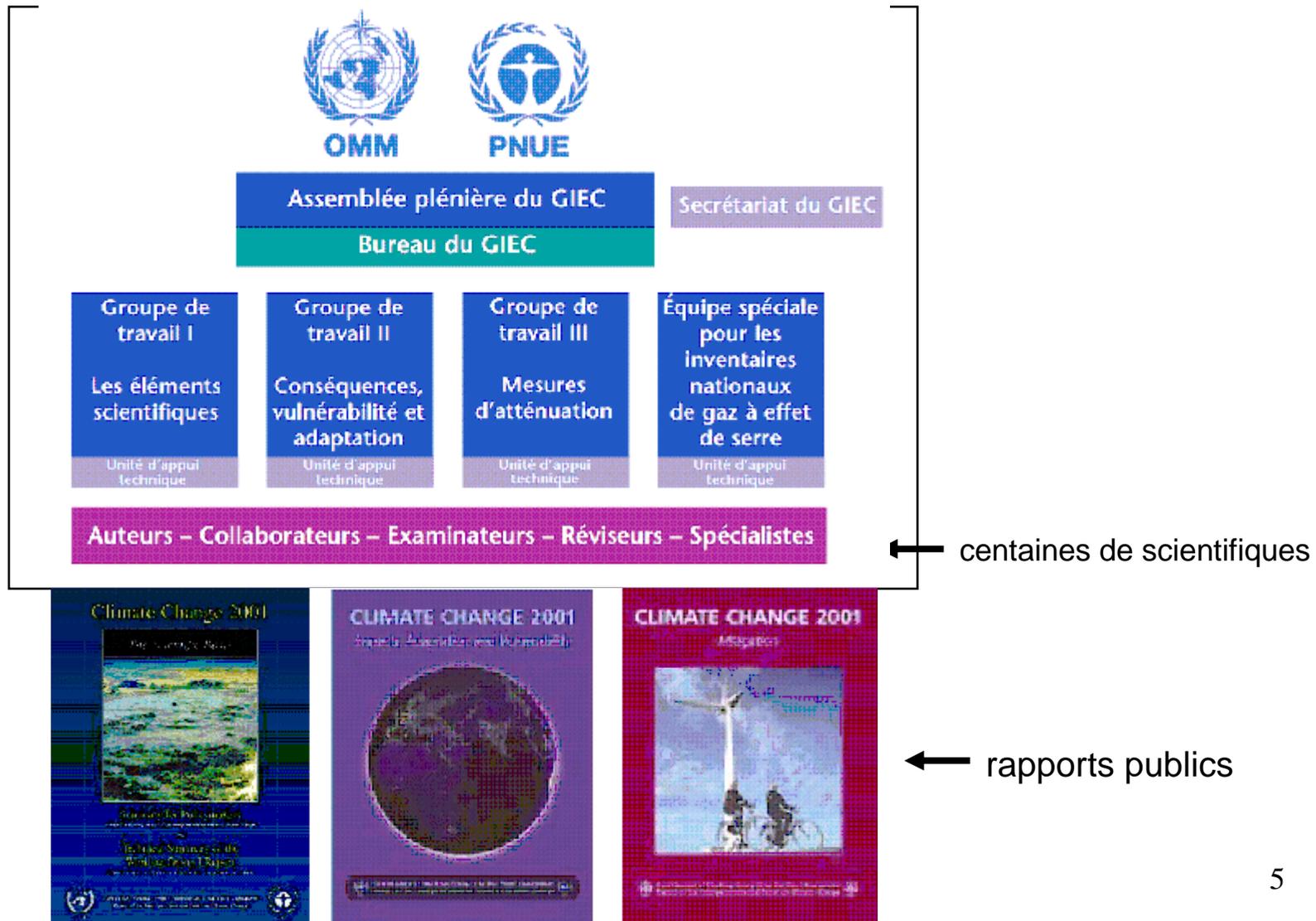
Avec 32°6, avant-hier 23, tous les maxima connus au mois de mai étaient surpassés. Le maximum d'hier, 33°4, s'élève encore au-dessus et prend le premier rang de toute la période 1873-1922 et peut-être d'un siècle entier.

L'Echo National , 26 mai 1922

démarche (*incertitude croissante*)

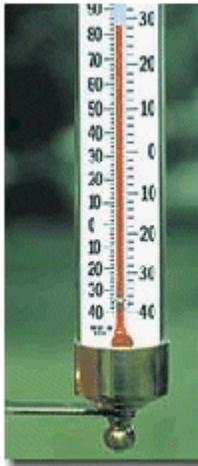
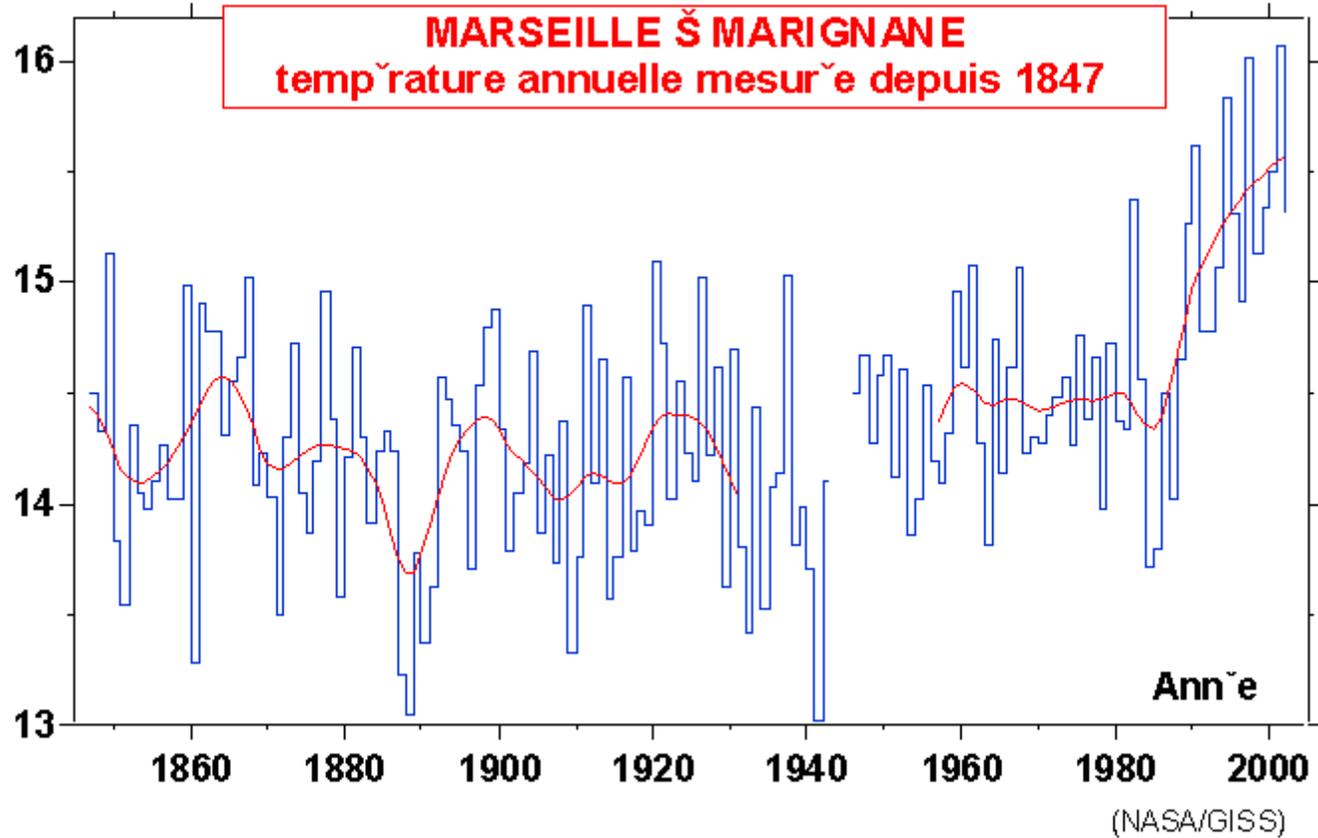
- 1) **un réchauffement global avéré sur le dernier siècle**
- 2) **un réchauffement global exceptionnel par rapport
aux variations naturelles récentes**
- 3) **les causes : une origine anthropique prédominante**
- 4) **les prévisions sur le prochain siècle**

le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) -



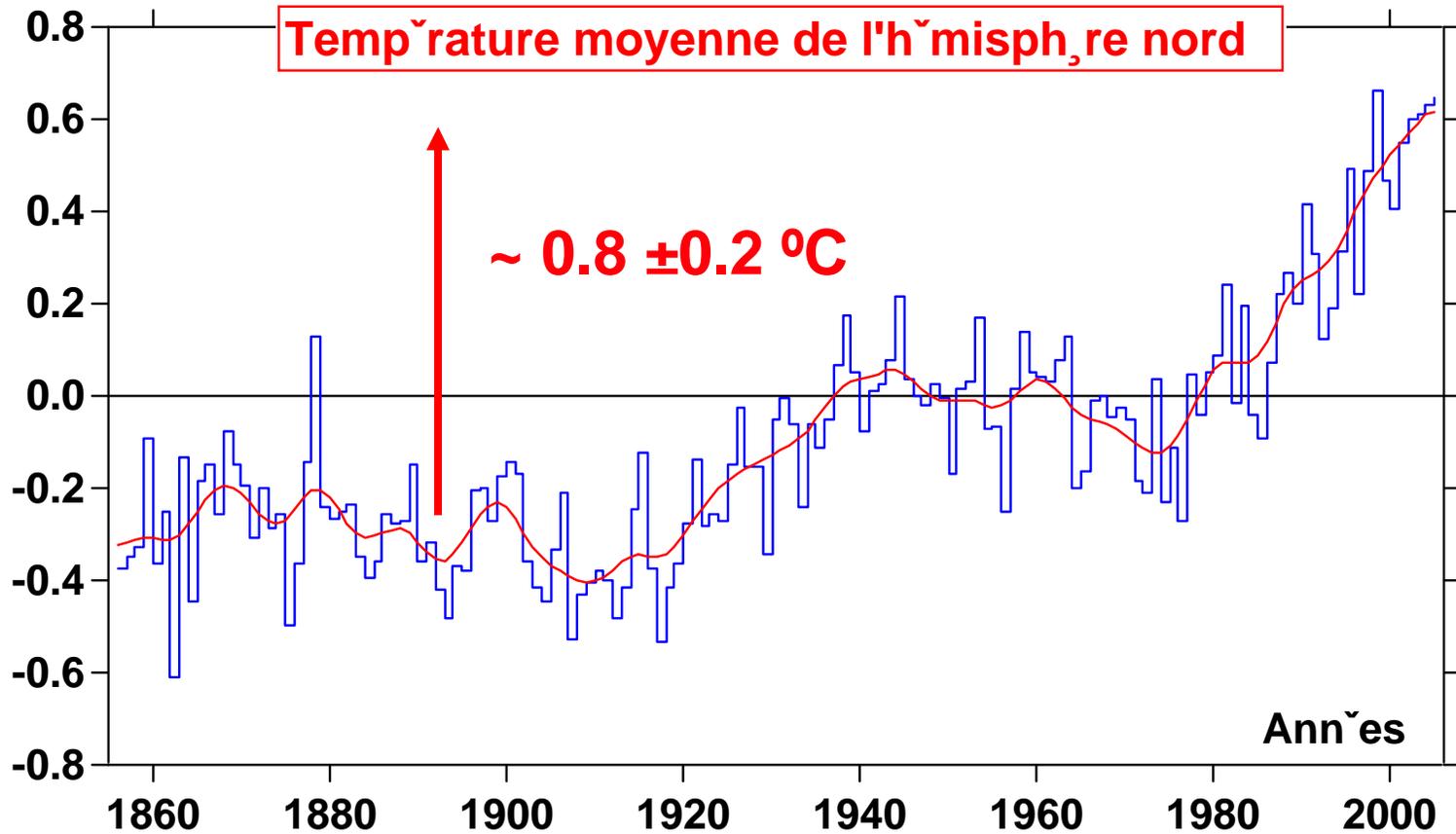
Des observations locales...

Température (°C)



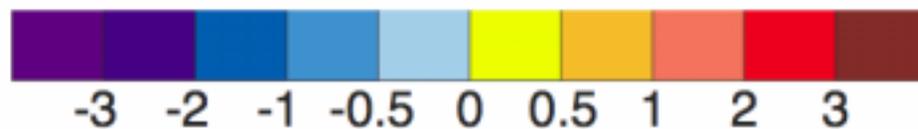
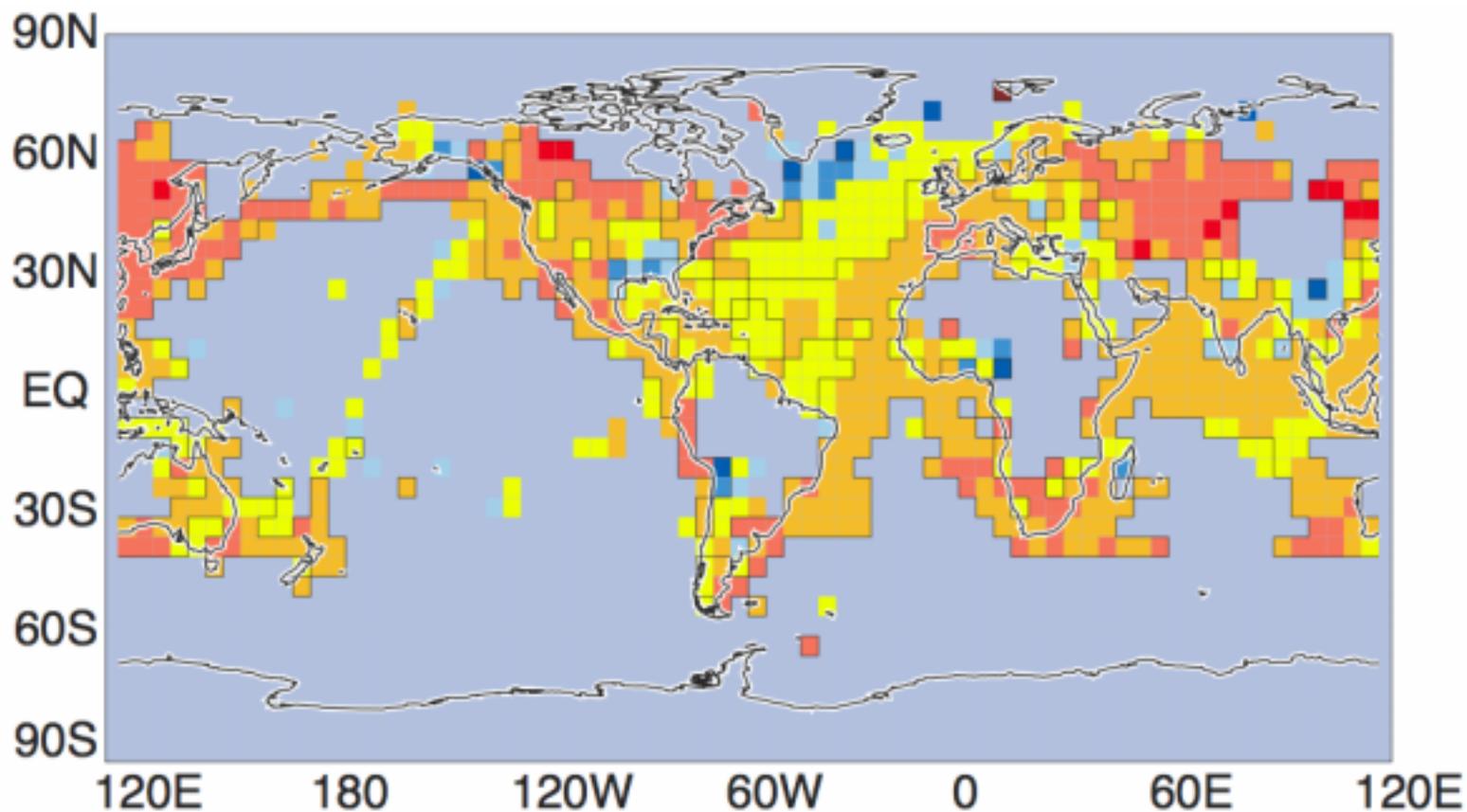
...et à l'échelle globale...

Anomalie de température (°C)



Jones et al., 2001

... mais **hétérogène** :



**Tendance de la température annuelle (°C / siècle)
(1901-2000)** *P. Jones, UEA/CRU*

Des marqueurs indirects :

fonte des glaciers alpins

**(glacier inférieur de Grindelwald,
Suisse)**



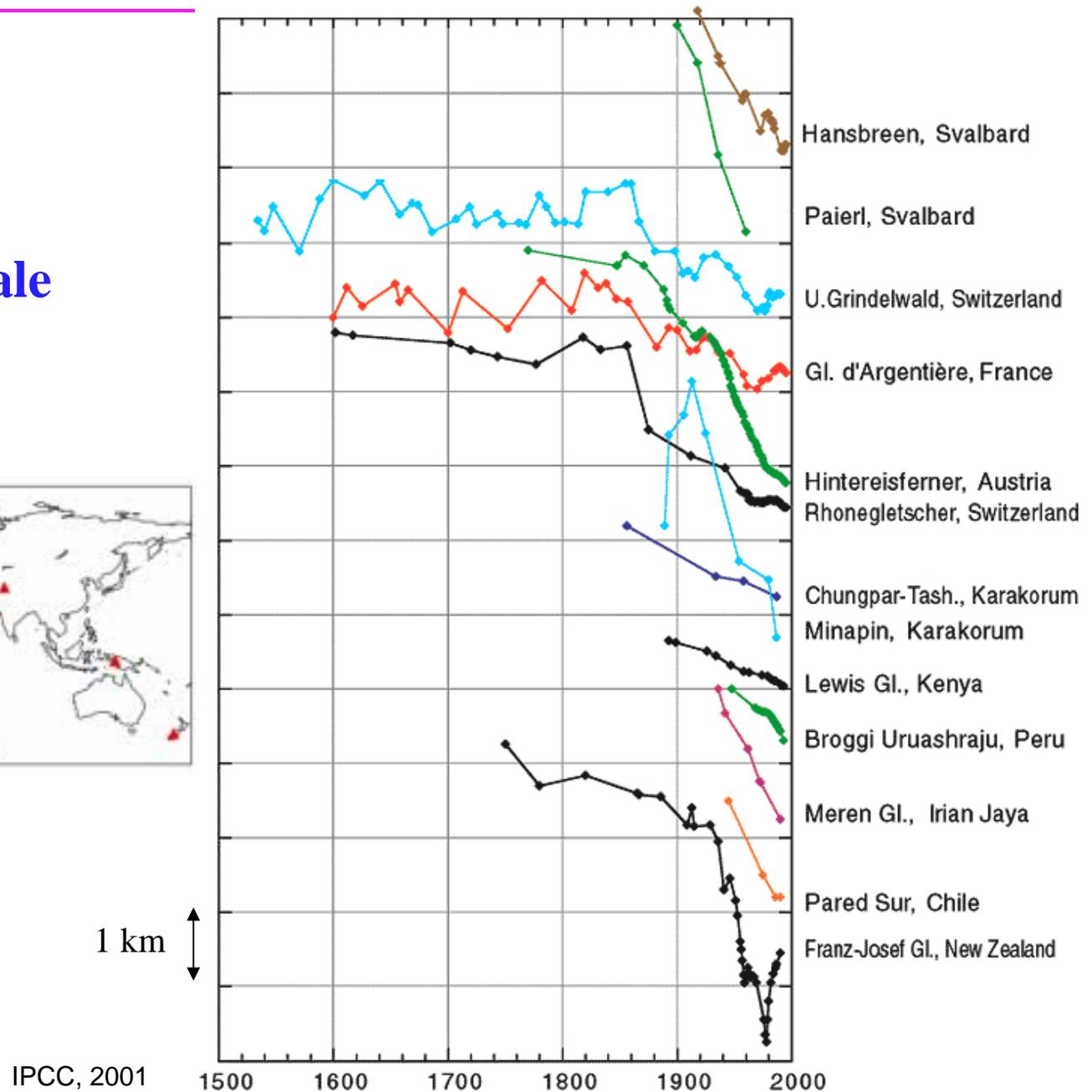
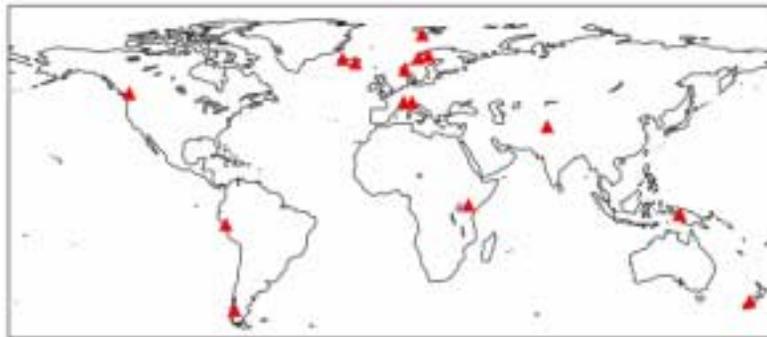
Samuel Birnmann, 1826 (39,2 x 49,7 cm; Kupferstichkabinett, Kunstmuseum Basel), Zumbühl, 1980

1826



2002

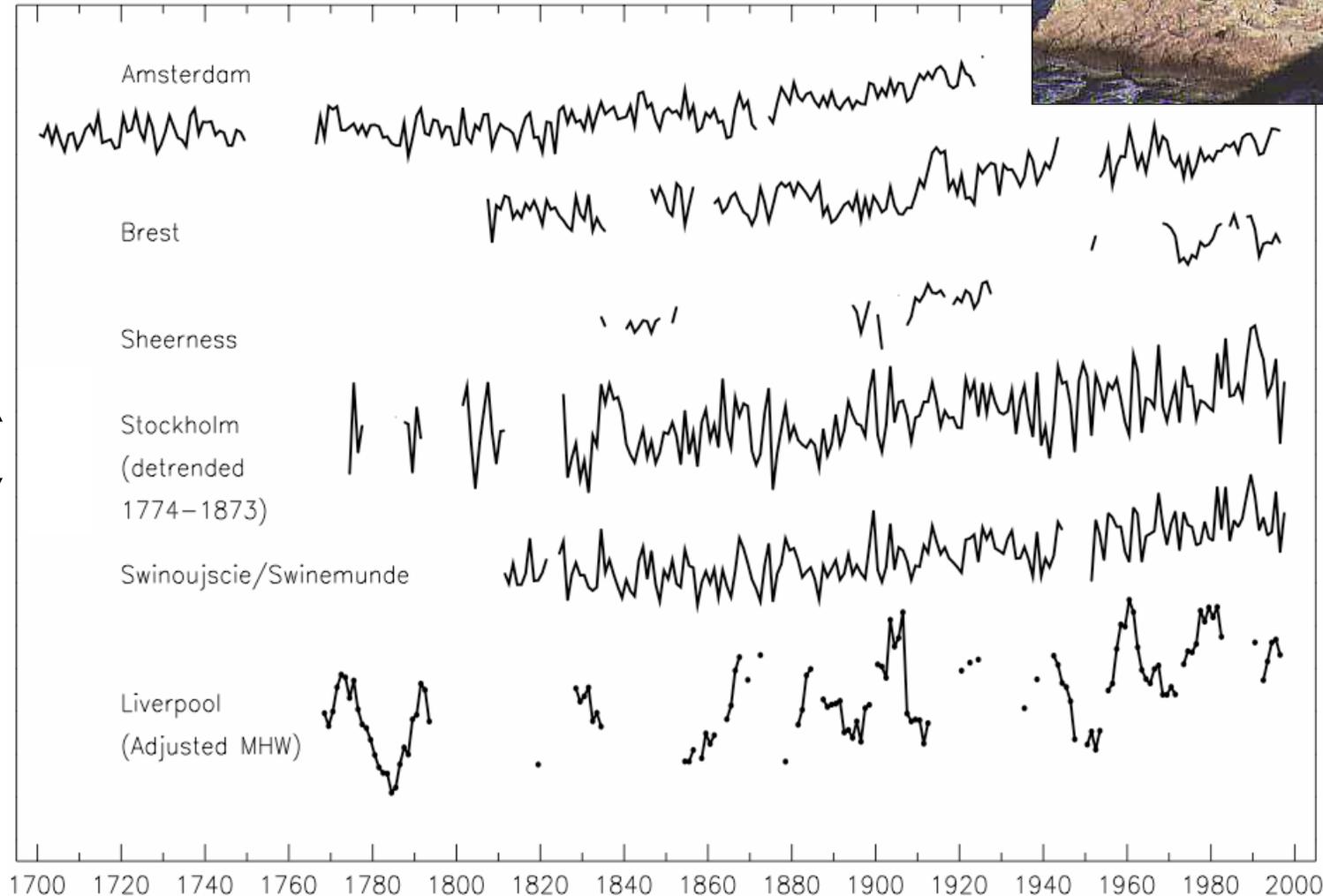
Une fonte générale des glaciers :



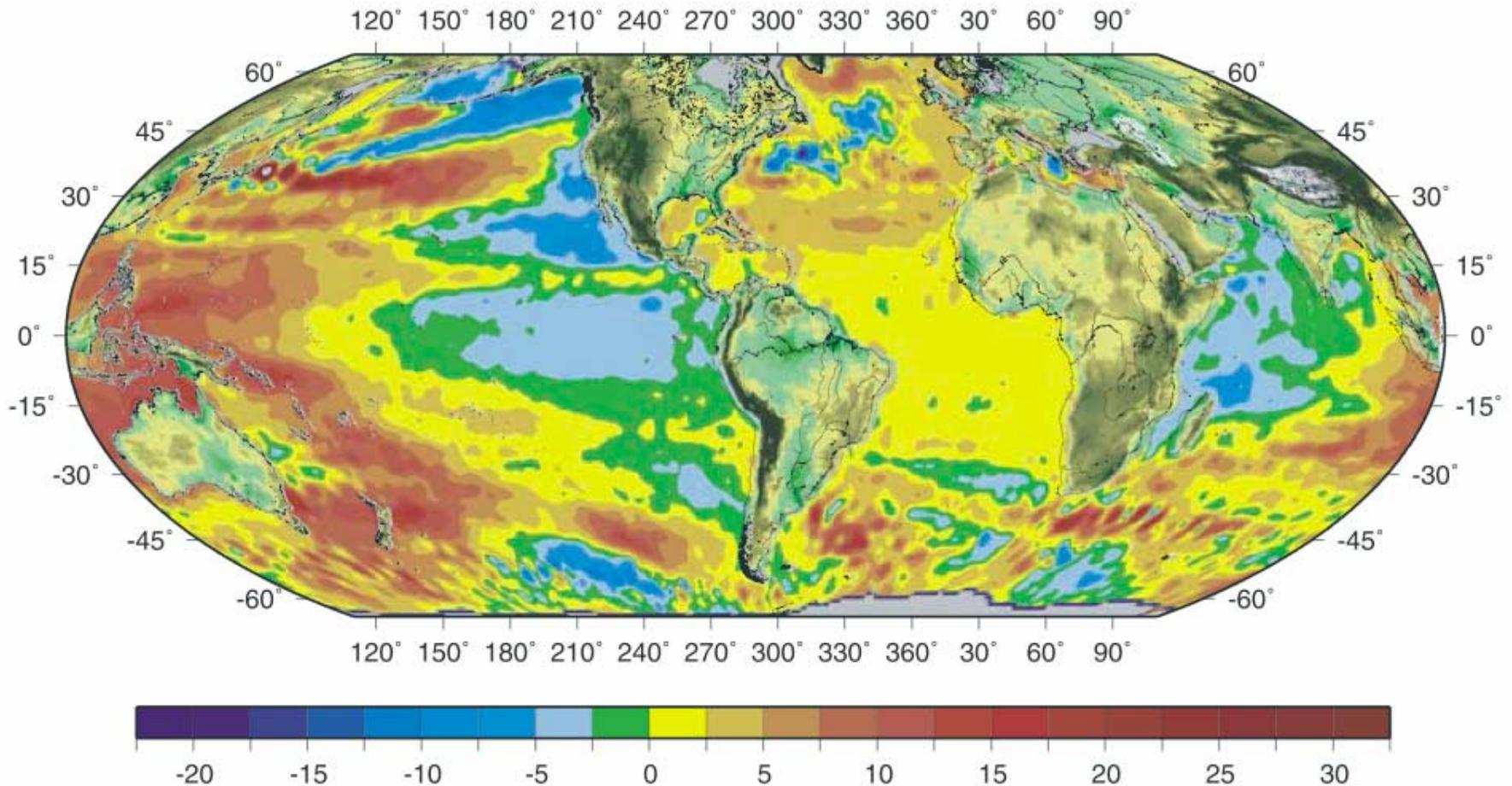
Une élévation du niveau de la mer : (fonte + réchauffement de l'océan)



Marégraphe de
Marseille

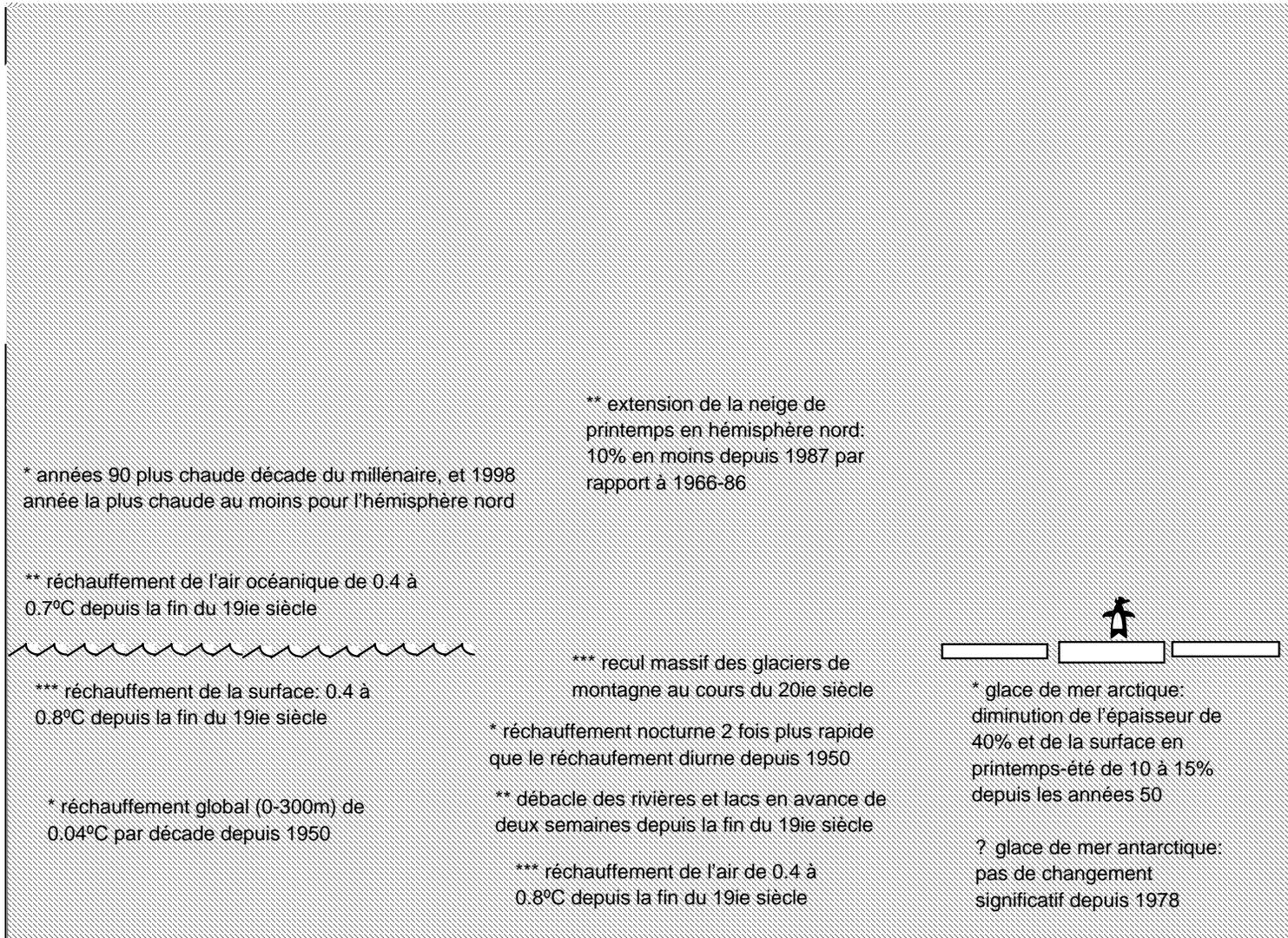


... mesurée par satellite :

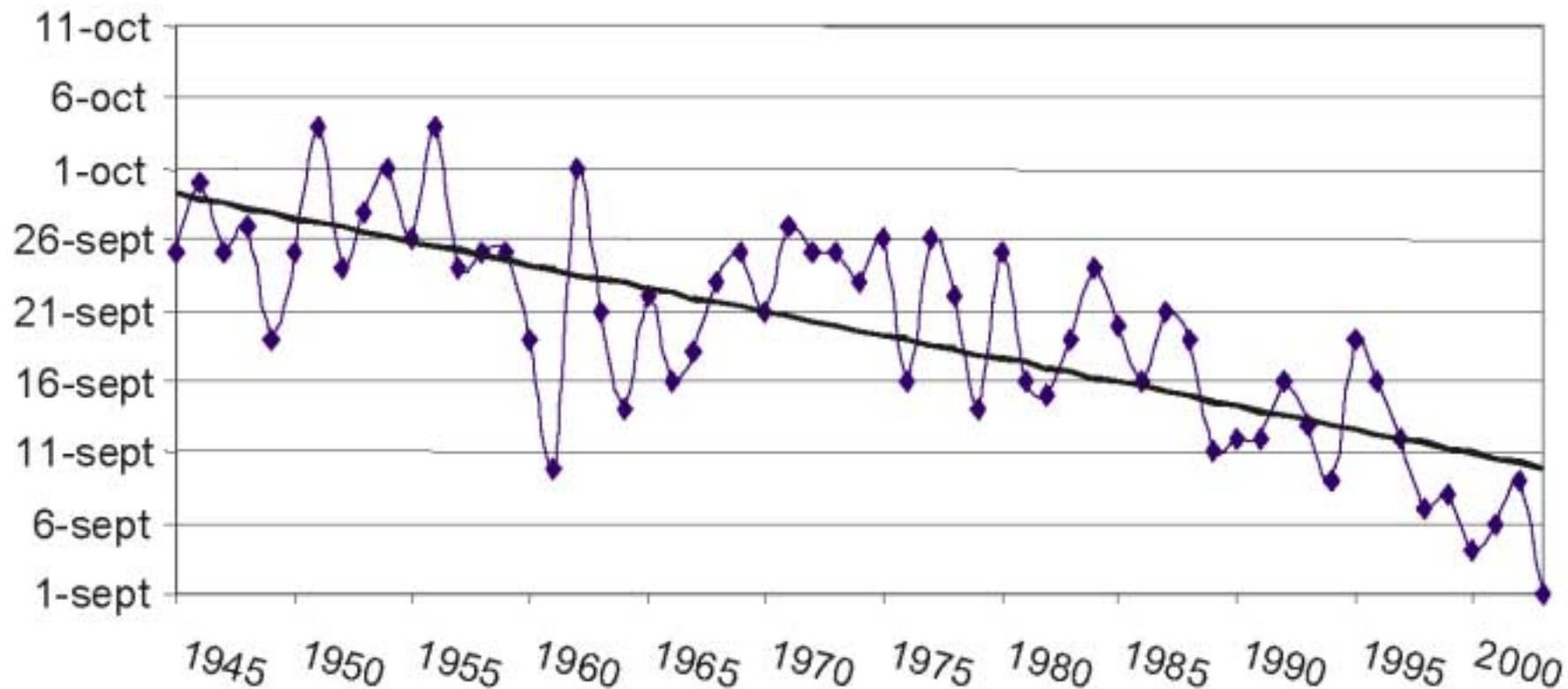


Tendance du niveau de la mer en mm/an sur la période 1993-2003 ,
mesurée par TOPEX-Poseidon et Jason (Cazenave & Nerem, 2004)

GIEC, 2001 « Un nombre croissant d'observations nous donne aujourd'hui une image d'ensemble d'une planète qui se réchauffe et de plusieurs autres changements dans le système climatique. »



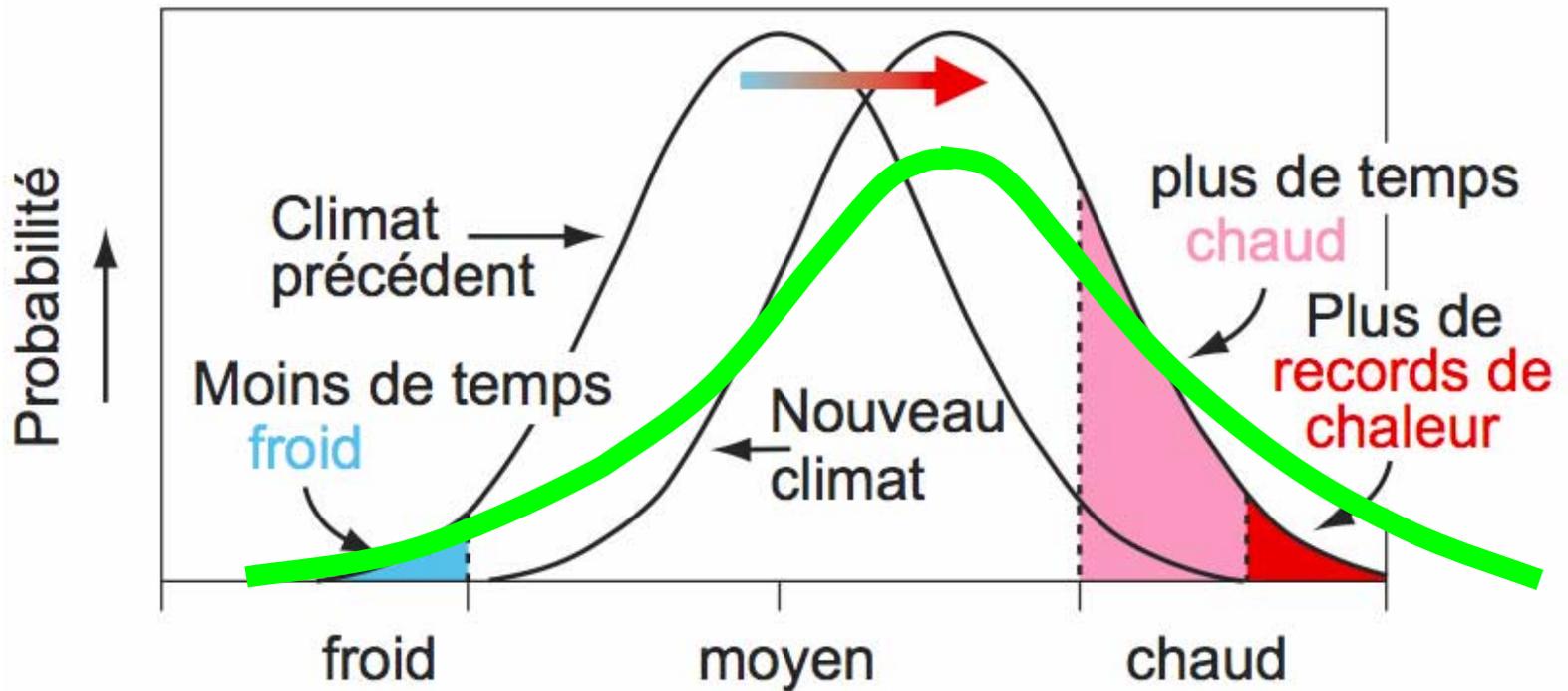
Impacts écologiques : avancement du cycle végétatif (‘phénologie’)



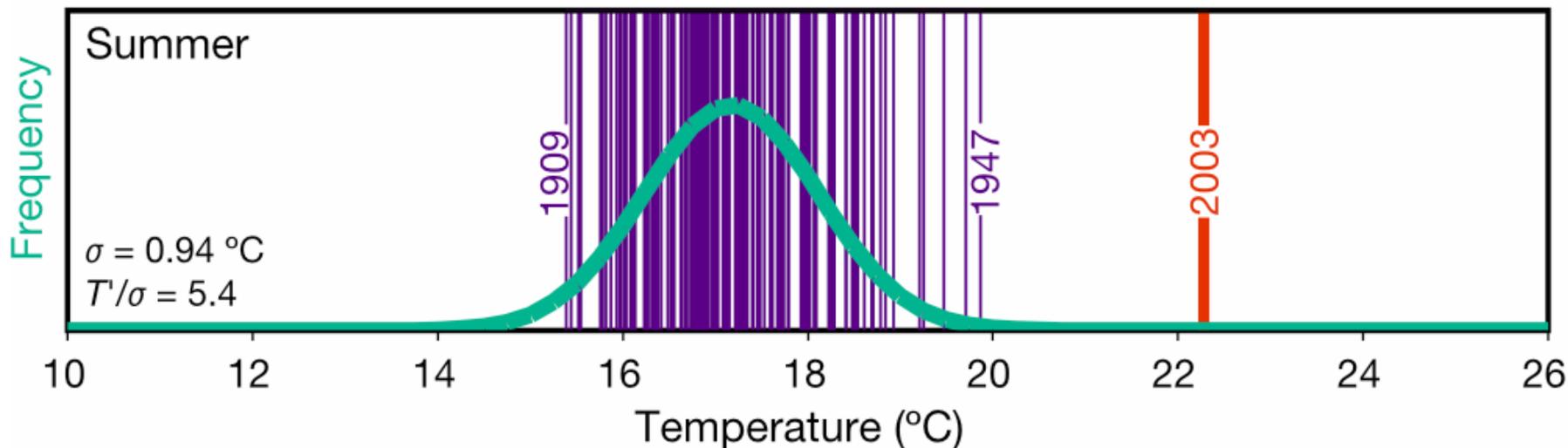
Evolution de la date de vendange à Châteauneuf-du-pape
de 1945 à 2003 (d'après *Ganichot, 2002*)

Augmentation des événements extrêmes ?

Augmentation de la moyenne



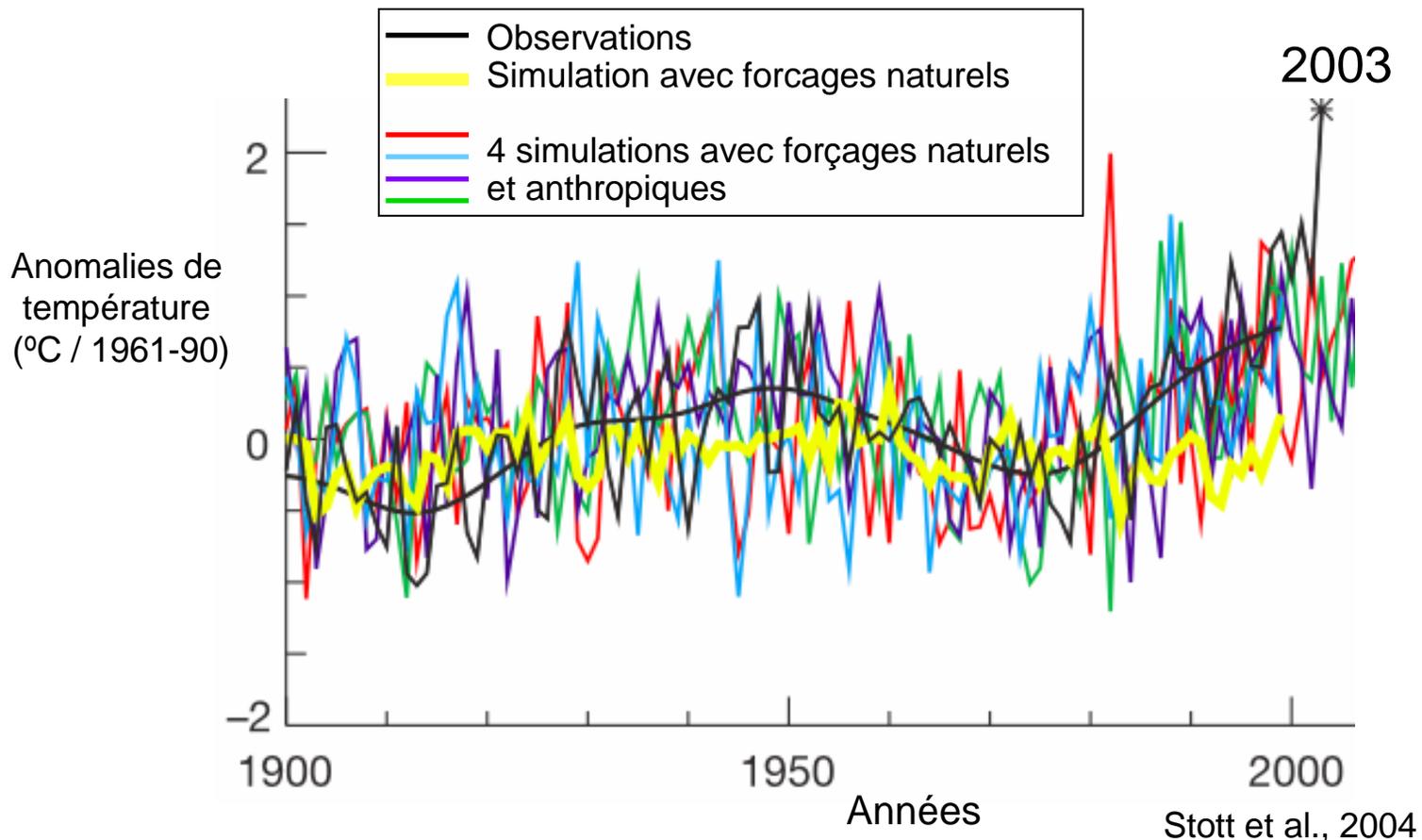
Canicule de 2003 : liée au réchauffement ?



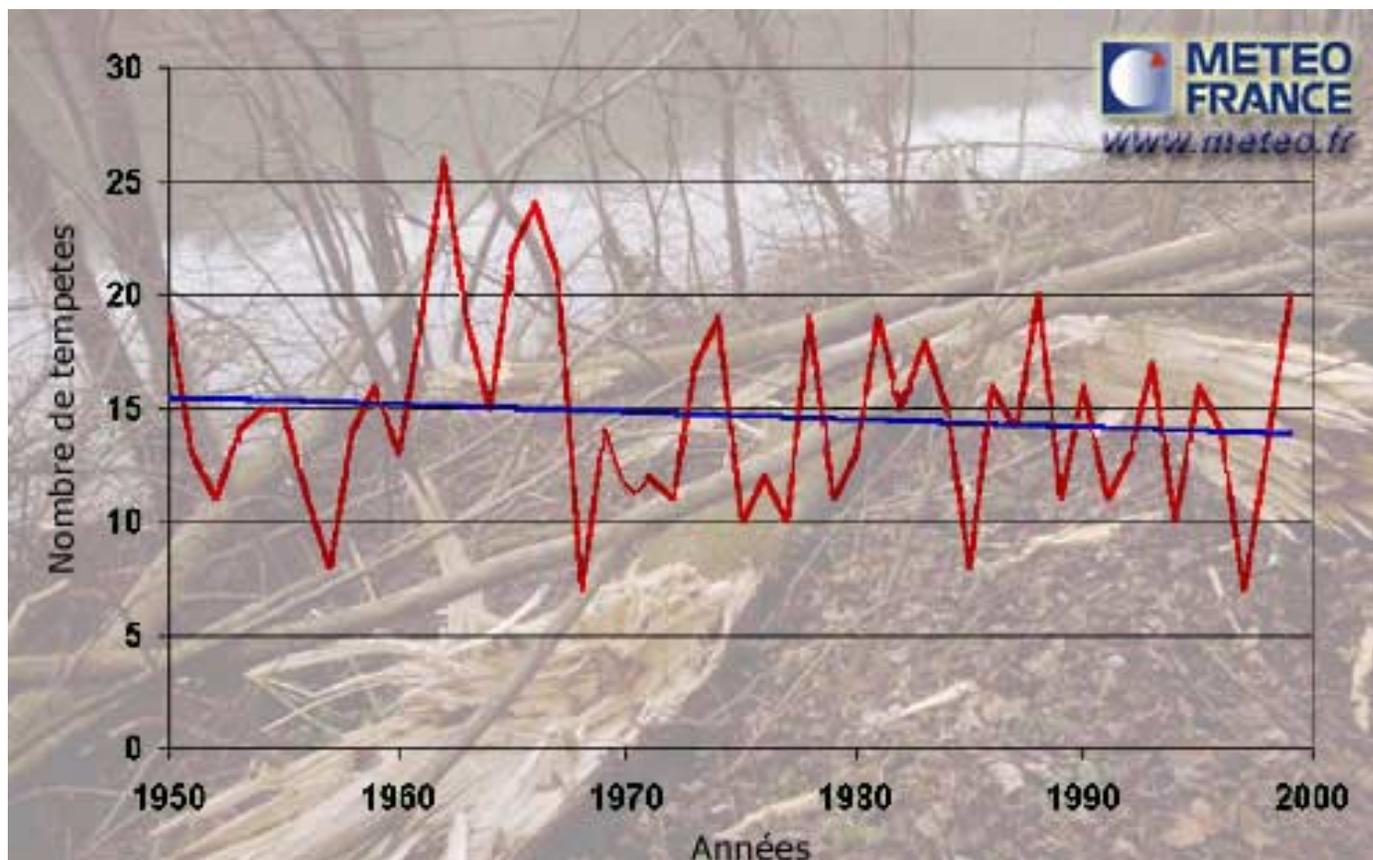
Distribution des températures d'été en Suisse sur la période 1864-2003 (distribution gaussienne correspondante en vert). T' est l'anomalie de 2003 par rapport à la moyenne 1864-2000.

Schär *et al.*, 2004

« Il est très probable (niveau de confiance > 90%) que l'influence humaine a au moins **doublé le risque** de vagues de chaleur du niveau de 2003. » Stott *et al.*, 2004

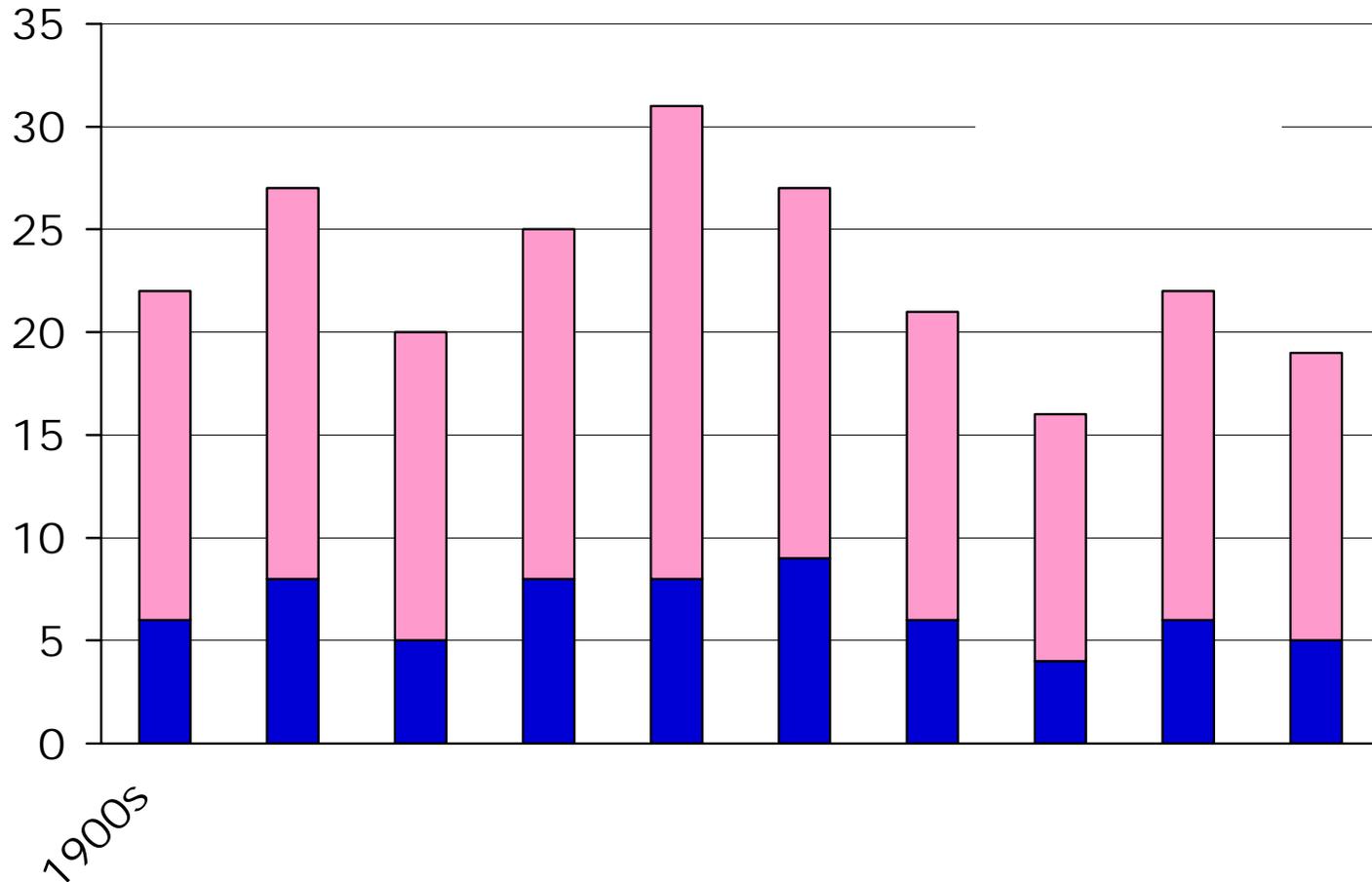


Pas d'augmentation significative des tempêtes en France



Nombre de tempêtes par an en France depuis 1950

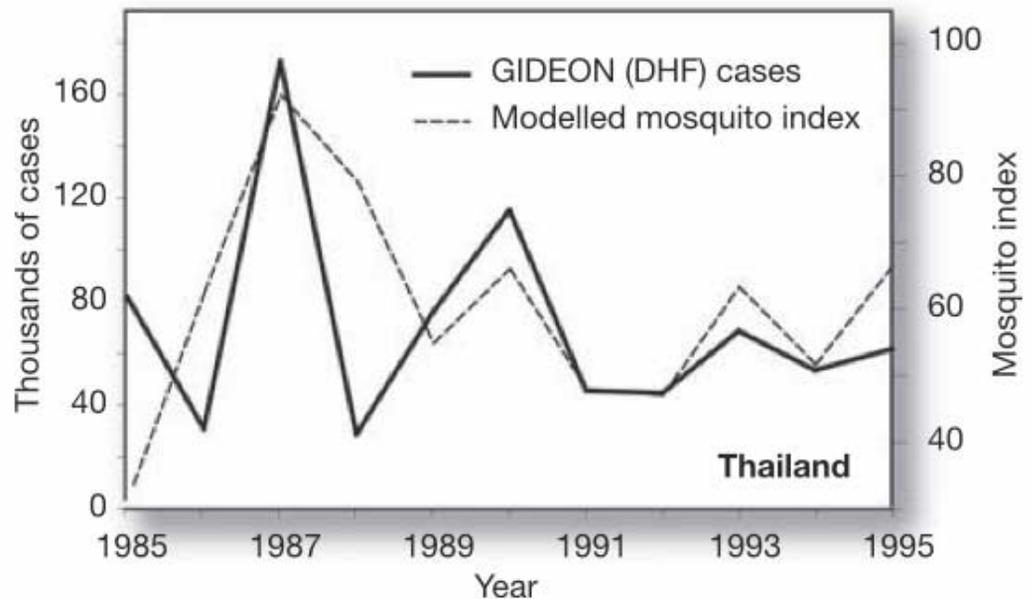
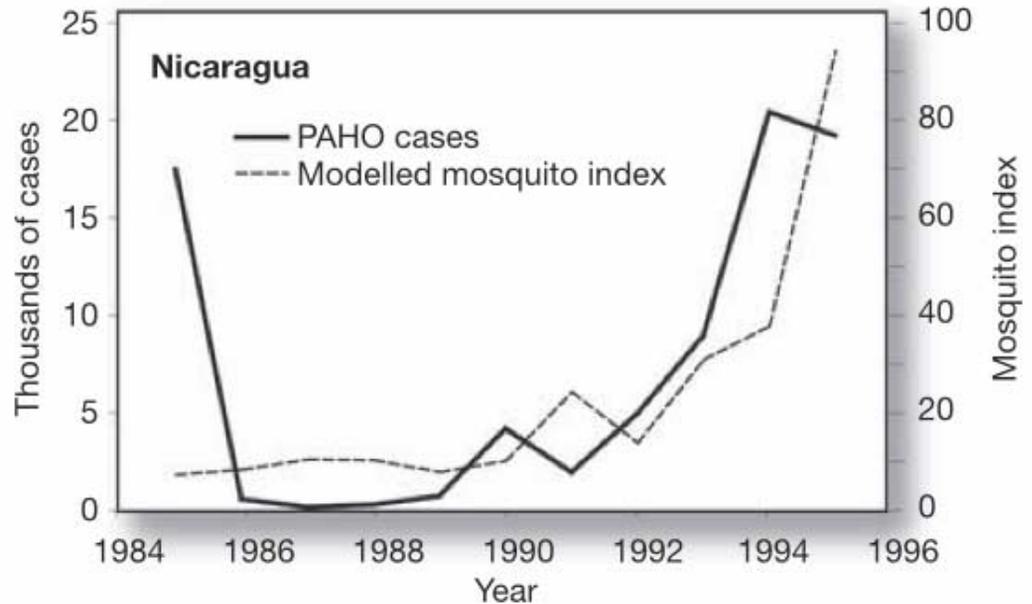
Ni des cyclones touchant les Etats-Unis (?)



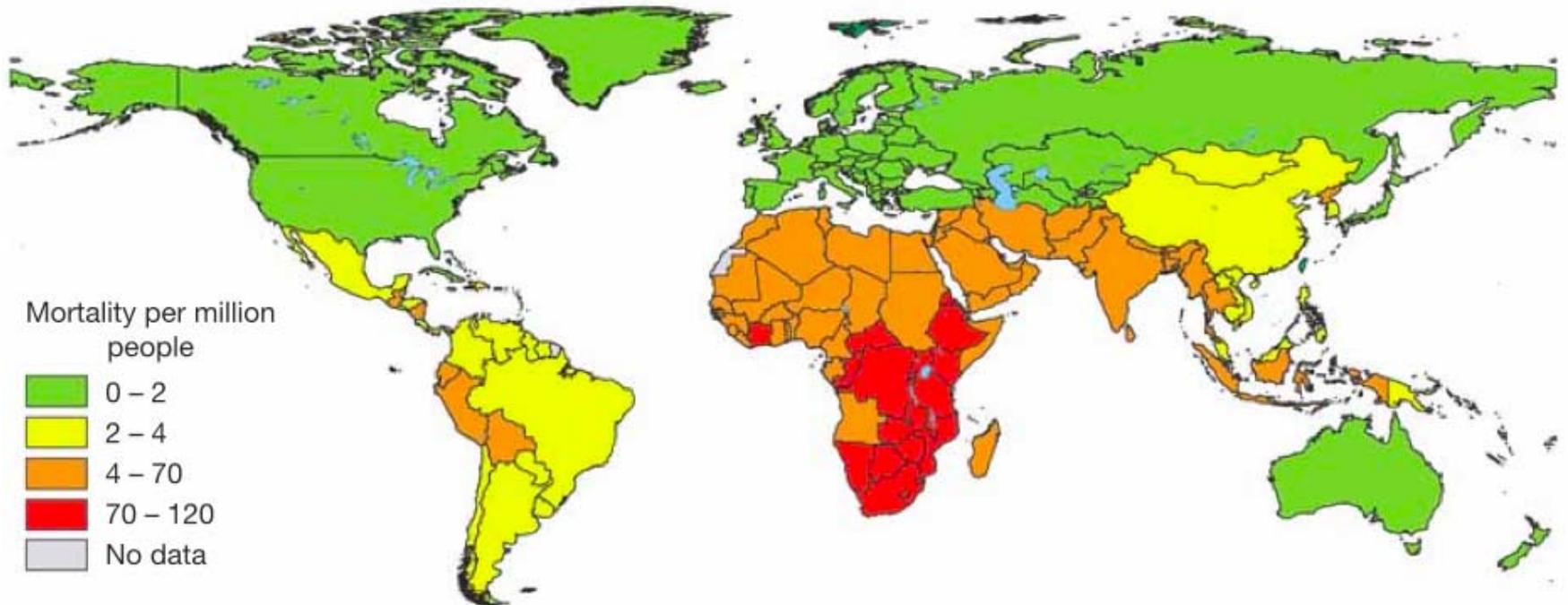
Nombre de **cyclones** atteignant le continent américain par décennie

Impact sur la santé (corrélation avec la variabilité climatique)

Prévalences de la dengue et
DHF comparées à des
simulations du nombre de
moustique (*Aedes aegypti*)
basée sur des paramètres
climatiques.
(Hopp & Foley, 2003)

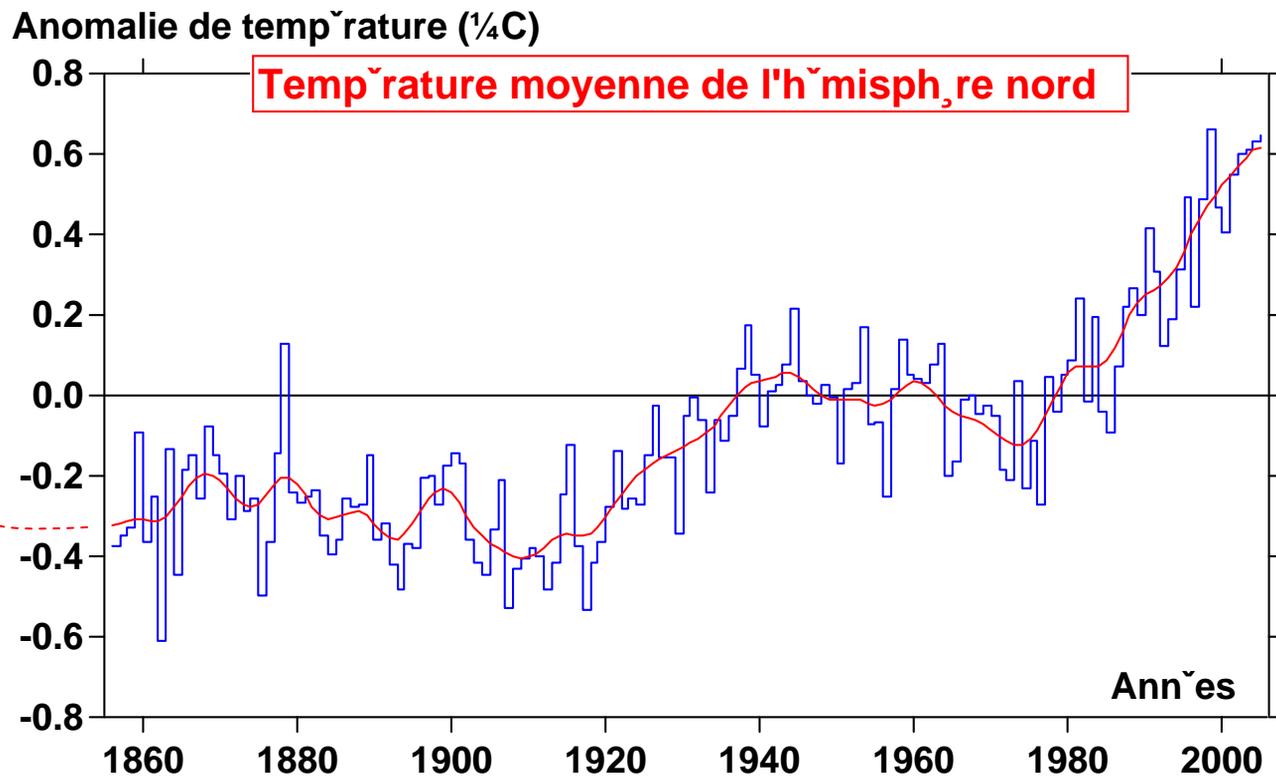


Impact des variations climatiques sur la mortalité



Estimation par l'OMS de la mortalité liée au réchauffement global, pour l'année 2000. (McMichael et coll., WHO, 2004)

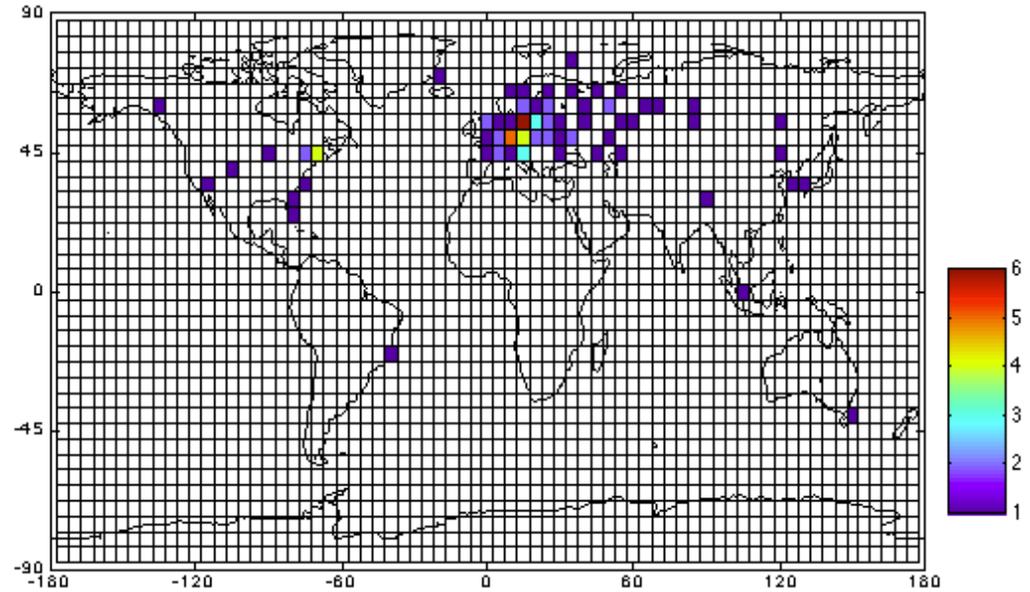
Ce réchauffement est-il exceptionnel ?



Jones et al., 2001

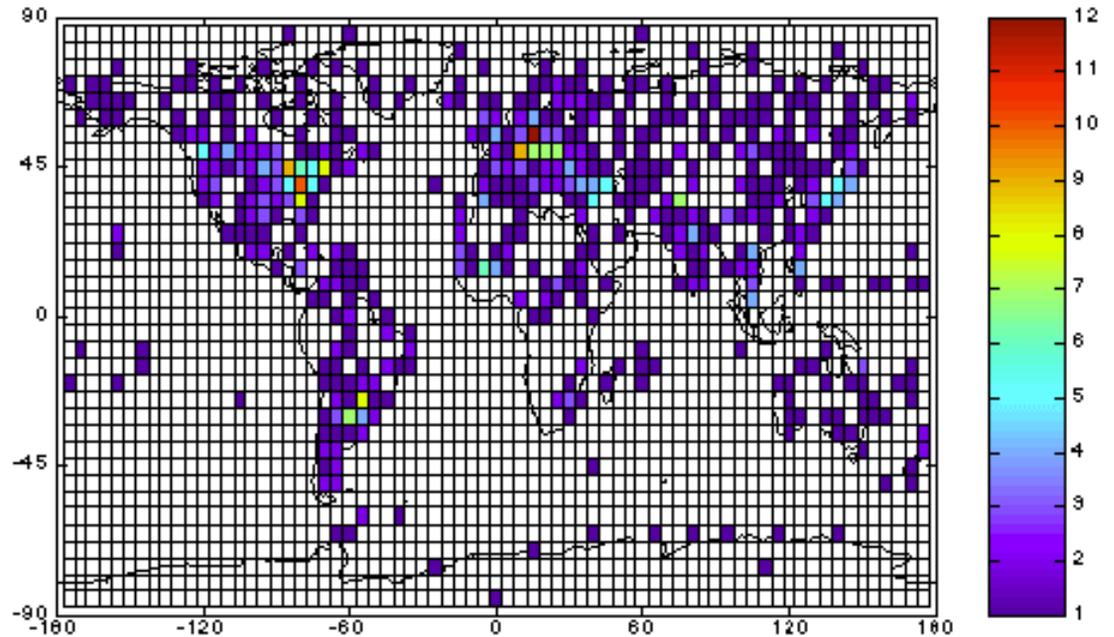
Couverture des stations de mesures :

Janv. 1851



Nombre de stations
de mesure

Janv. 2000



Deux techniques pour pallier le manque de mesures de la température :

- * utiliser des paramètres fortement liés à la température : *proxies*
- * utiliser les connections régionales : **téléconnections**

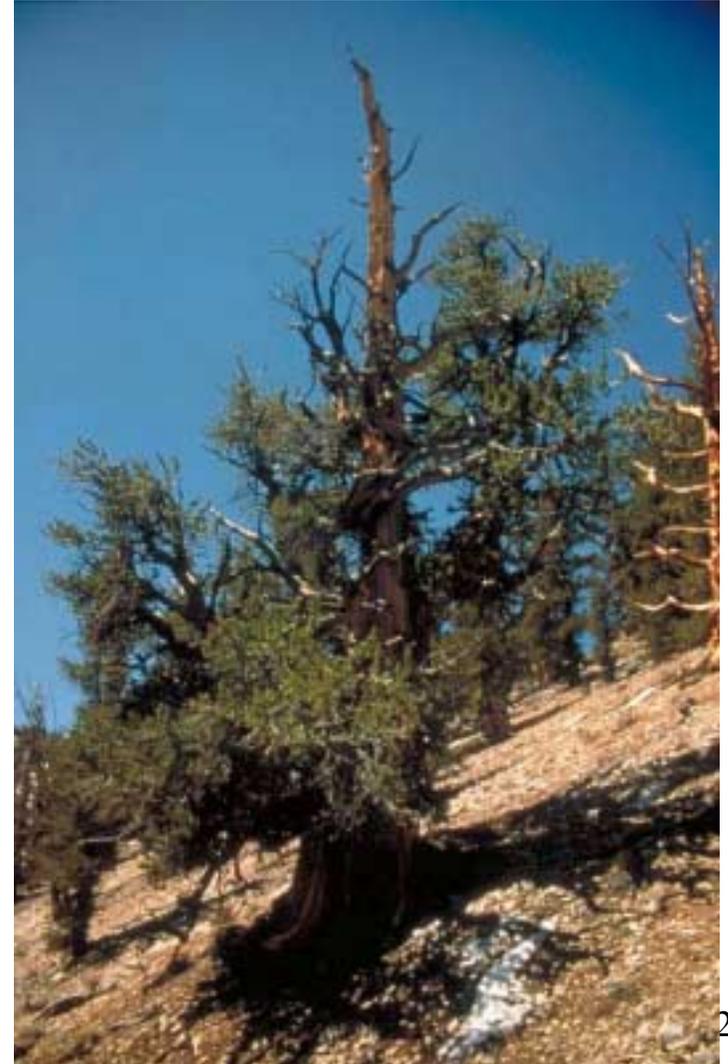
'Proxies' de la température de surface :

- arbres : cernes (largeur et densité); altitude supérieure des forêts

Bristlecone pine (*Pinus longaeva*),
White Mountains, California. J. Pilcher



Cernes d'arbre (LTRR, U. of Arizona)



'Proxies' de la température de surface :

- glace (zones polaires, montagne) : $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; accumulation

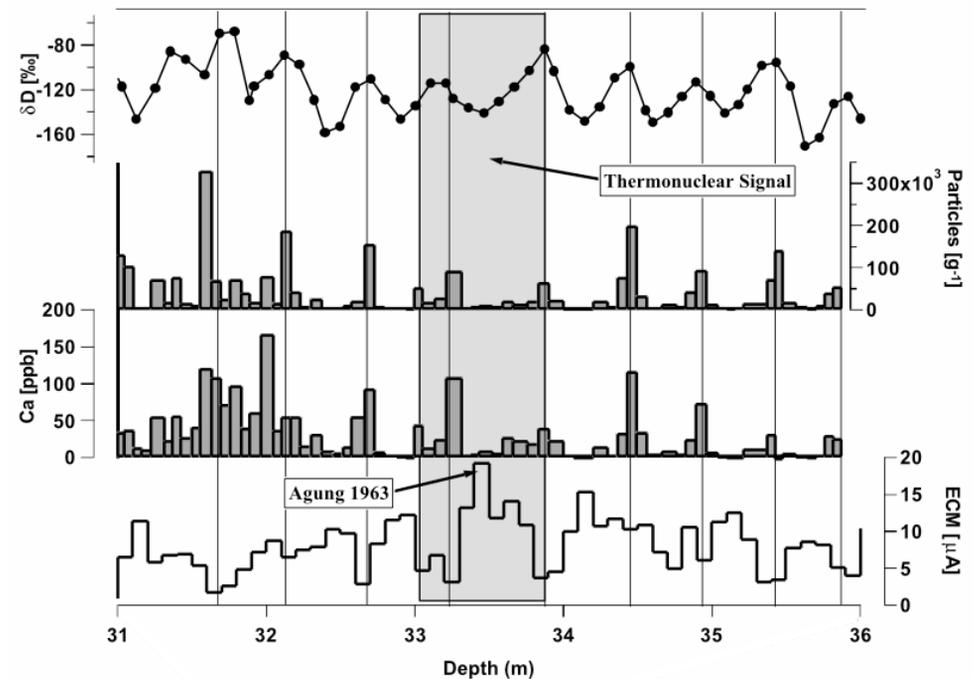


Couches annuelles de neige
(Quelccaya, L. Thompson, BPRC)

Forage au Sajama,
Bolivie, 6548m (IRD)

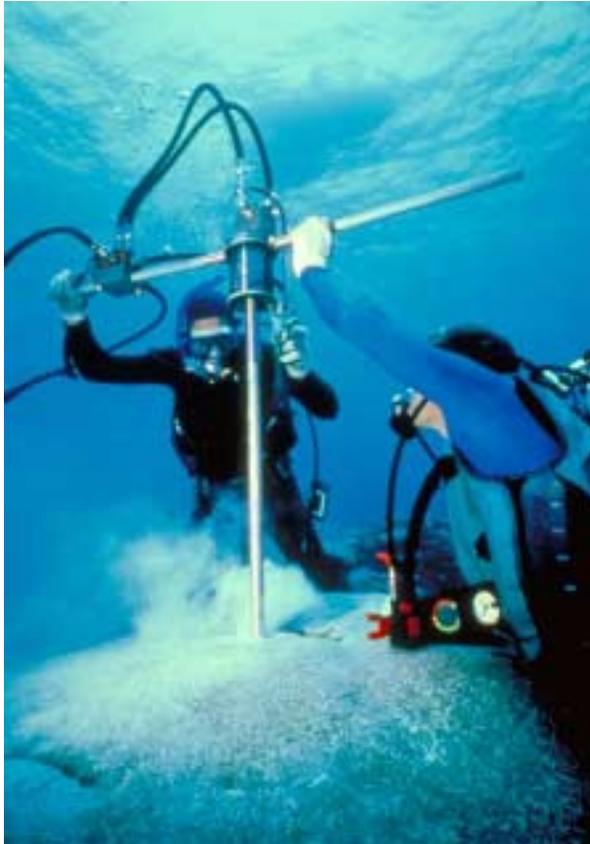


Mesures sur la glace,
Illimani (Ramirez et
coll., 2003)

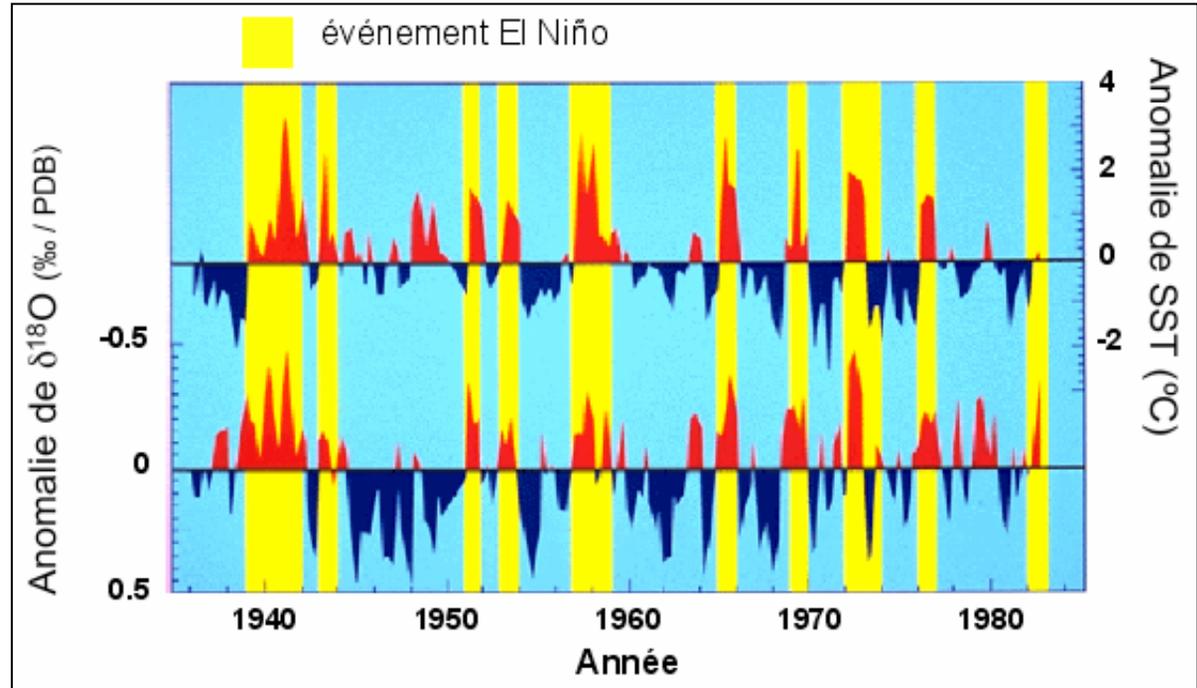


'Proxies' de la température de surface :

➤ coraux : $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, taux de croissance



Forage sur *Porites lobata*,
Clipperton Atoll. (M. Kazmers)



Comparaison $\delta^{18}\text{O}$ des coraux - température de surface océanique,
à Punta Pitt, Galapagos (T. Andrews, NOAA)

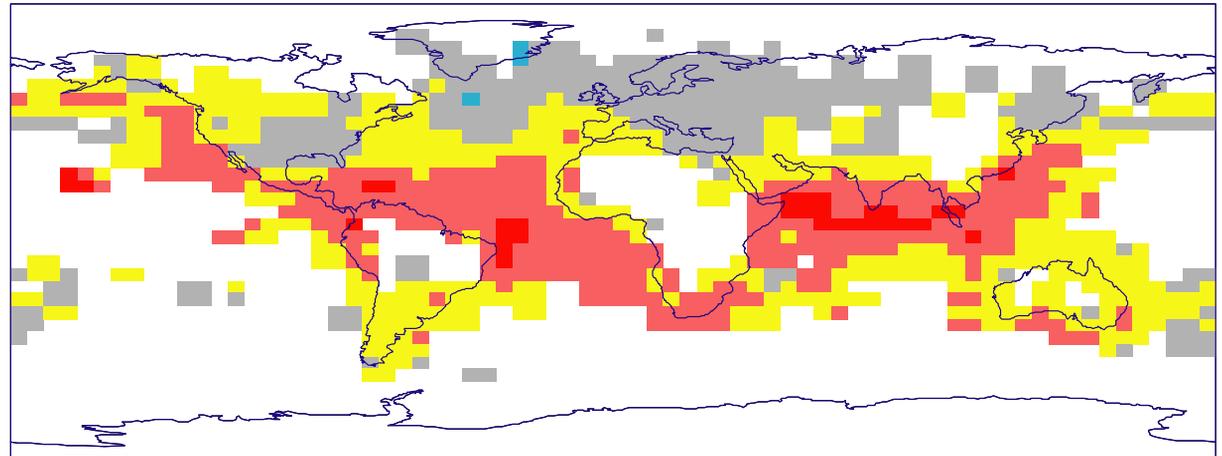
Bandes annuelles de croissance (radiographie) :



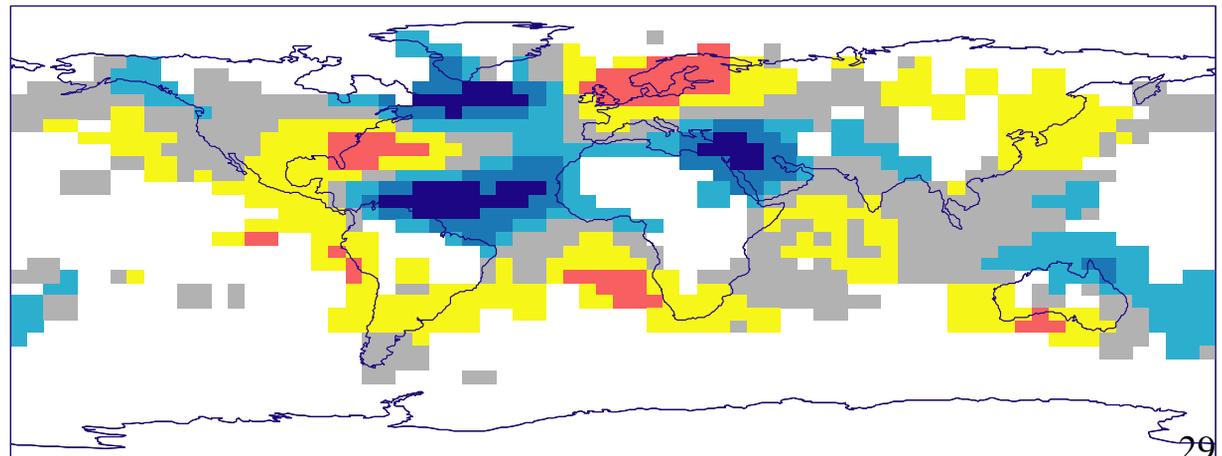
Téléconnections régionales :

- Analyse en Composantes Principales (ACP) de la température

1902-1980 EOF #1 :
(réchauffement global)



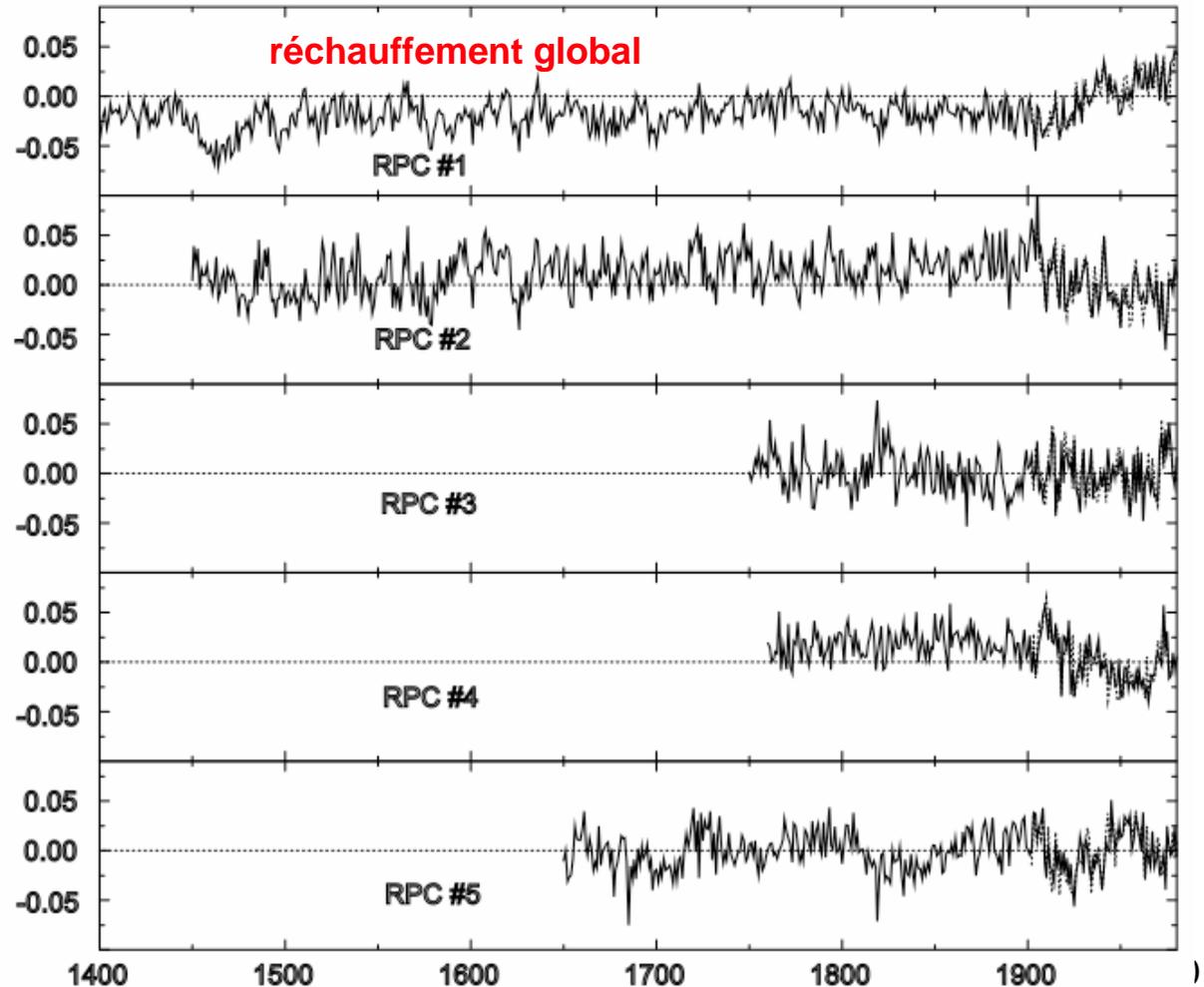
1902-1980 EOF #3 :
(oscillation nord-atlantique)



Mann et al., 1998

Téléconnexions régionales :

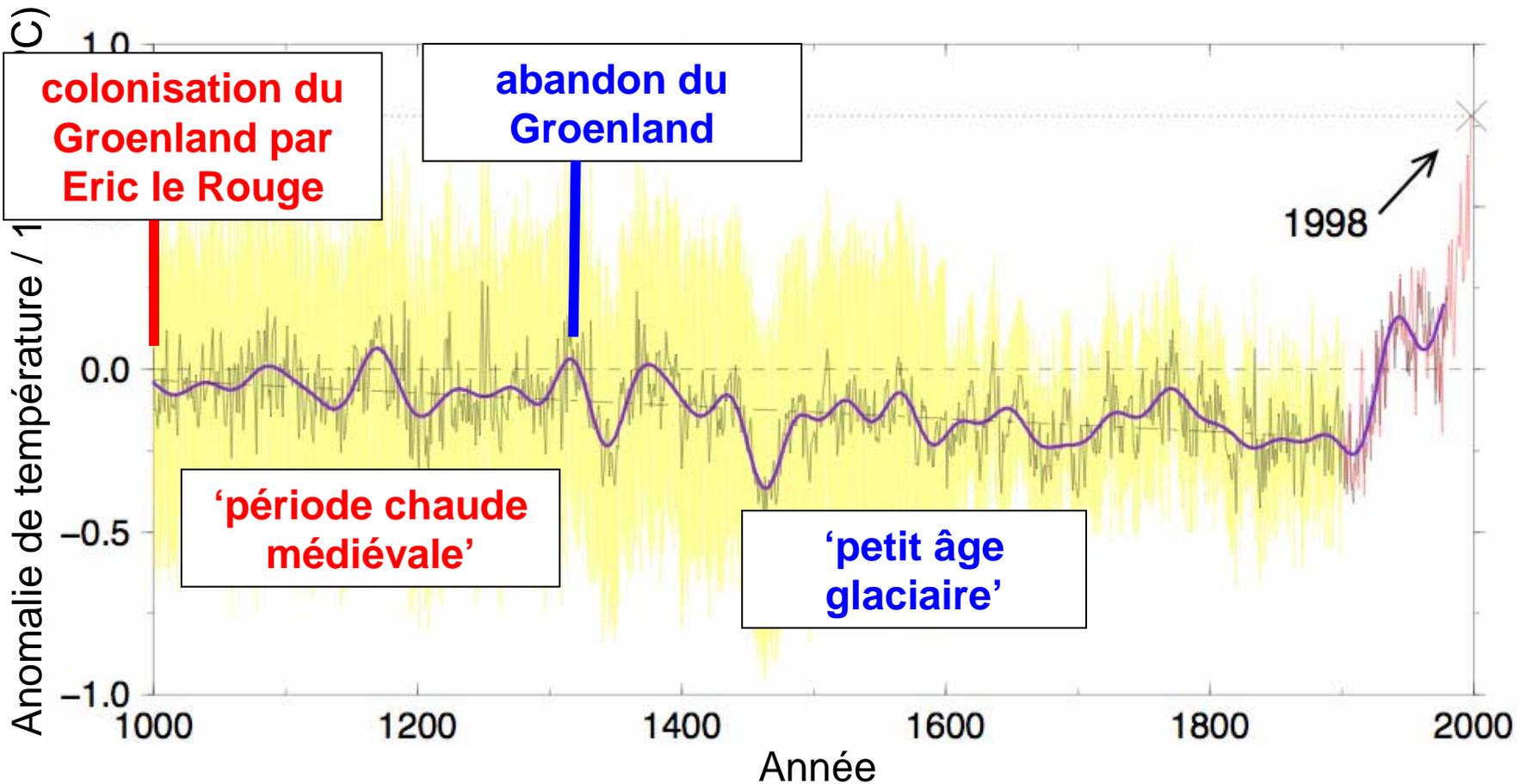
- reconstruction des modes à l'aide des *proxies*
- hypothèse forte : modes de variabilité stationnaires



Composantes principales
reconstruites à partir des
proxies

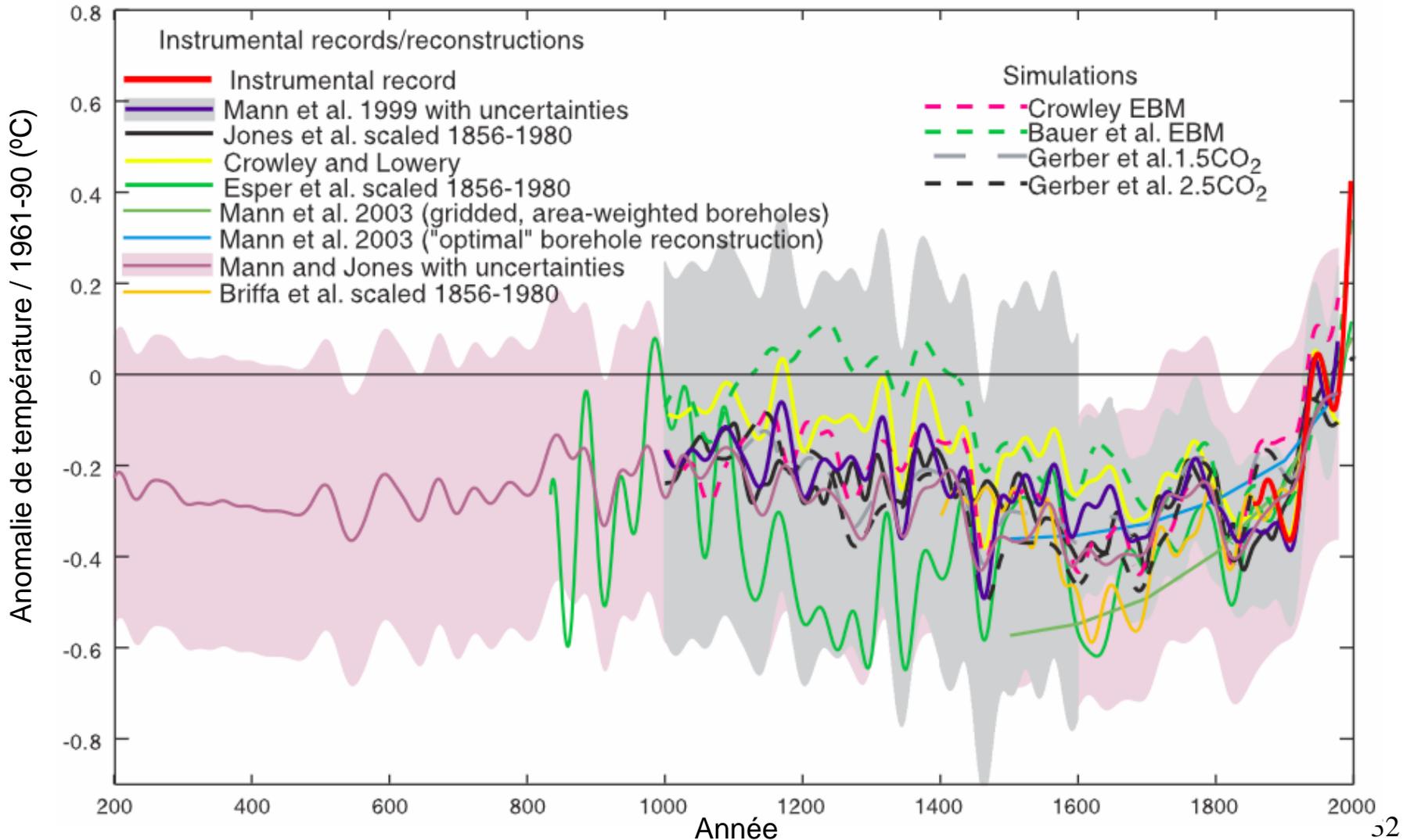
Mann *et al.*, 1998

Variations de la température globale de l'hémisphère nord



Comparaison avec d'autres techniques :

>> réchauffement exceptionnel sur le dernier millénaire



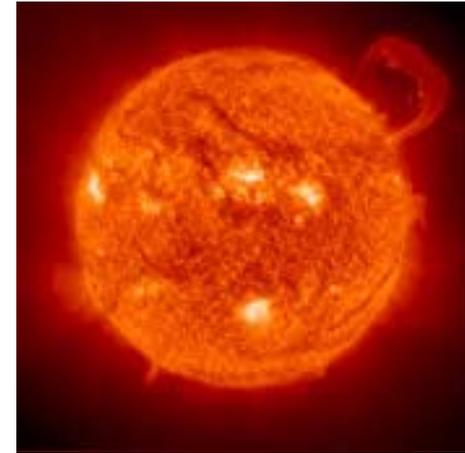
Mann et al., 2003

Origines des variations climatiques

Causes naturelles :



éruption volcanique



variation d'insolation

Causes anthropiques :

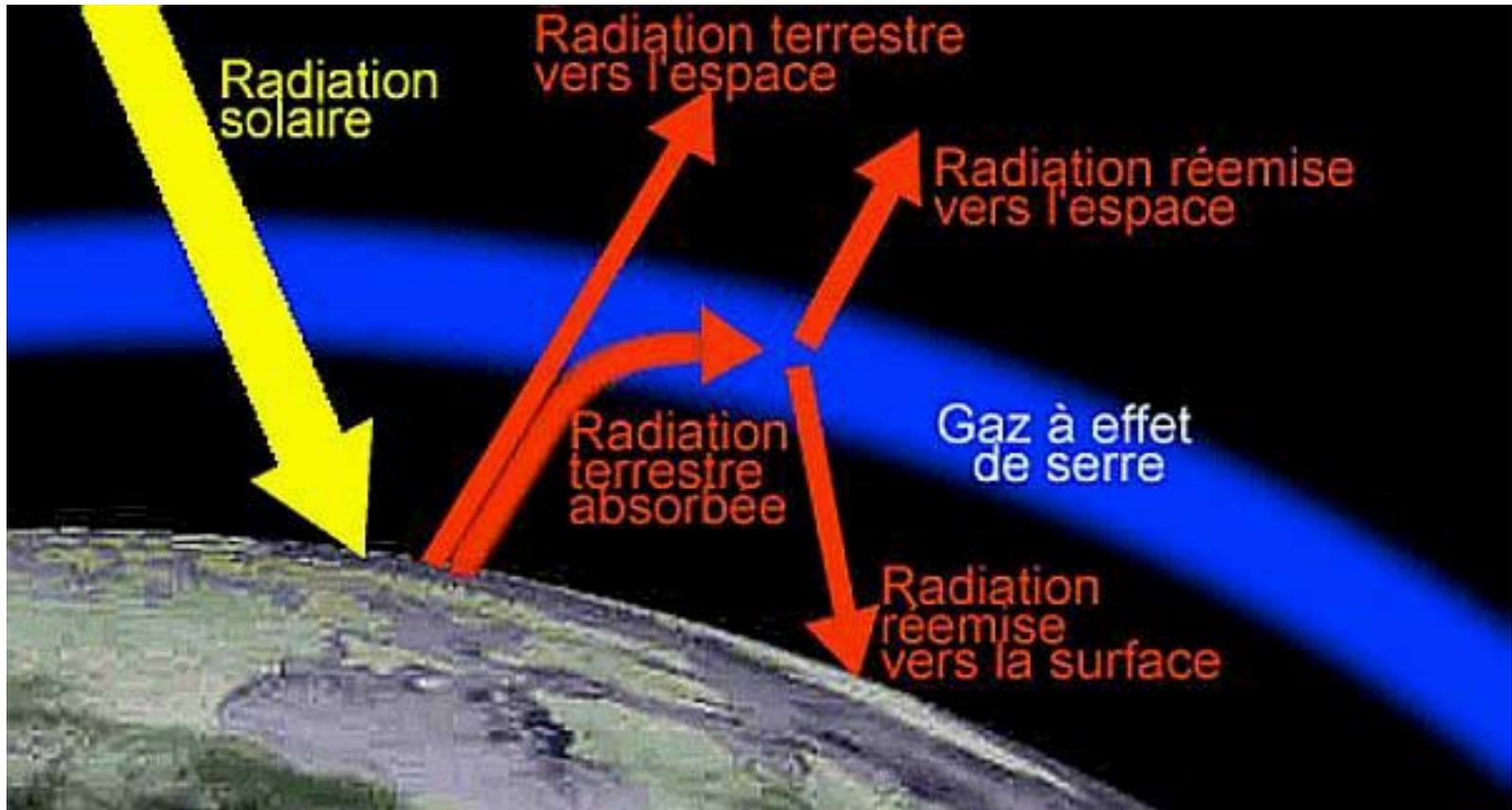
déforestation



combustion des fuels fossiles

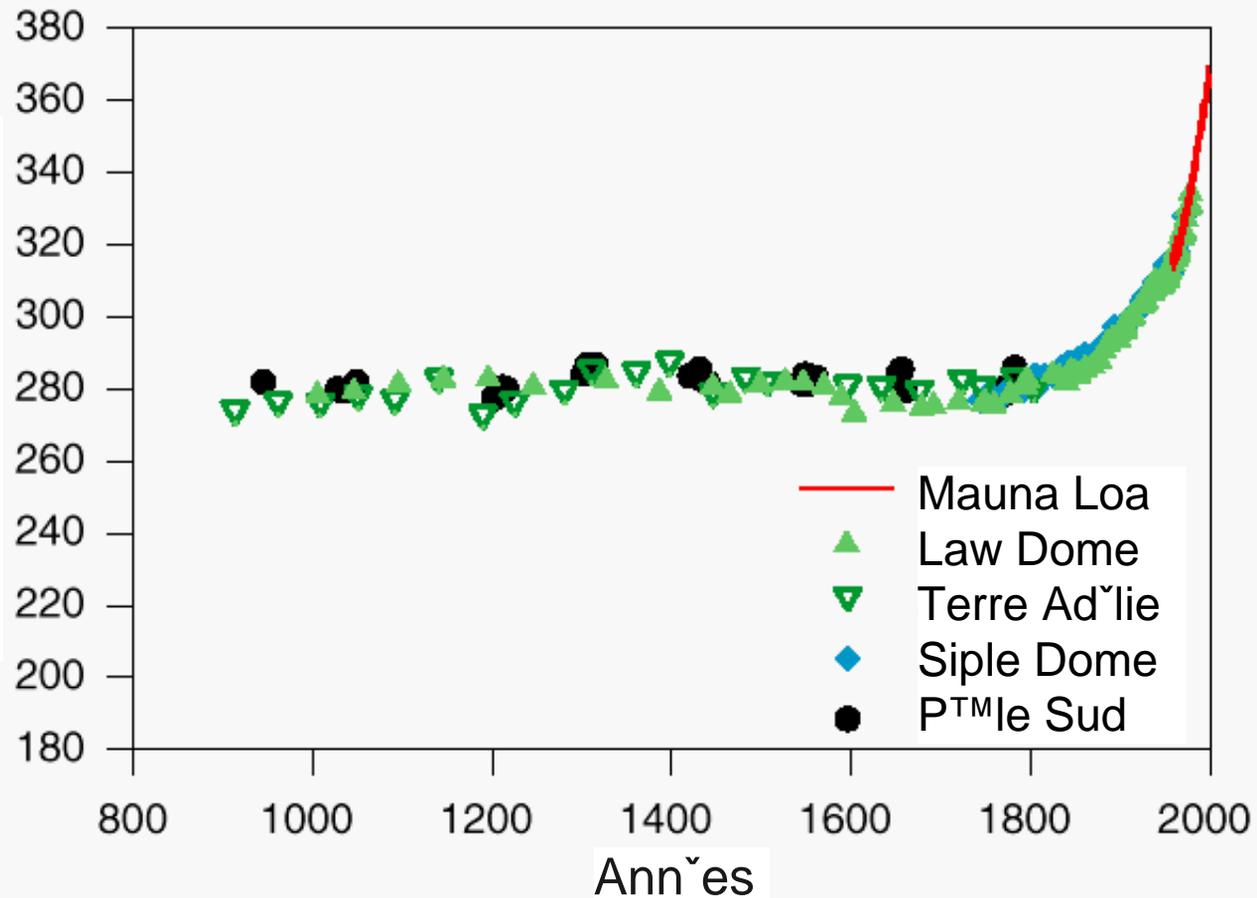


L'effet de serre est un phénomène naturel dû à H₂O, CO₂, etc

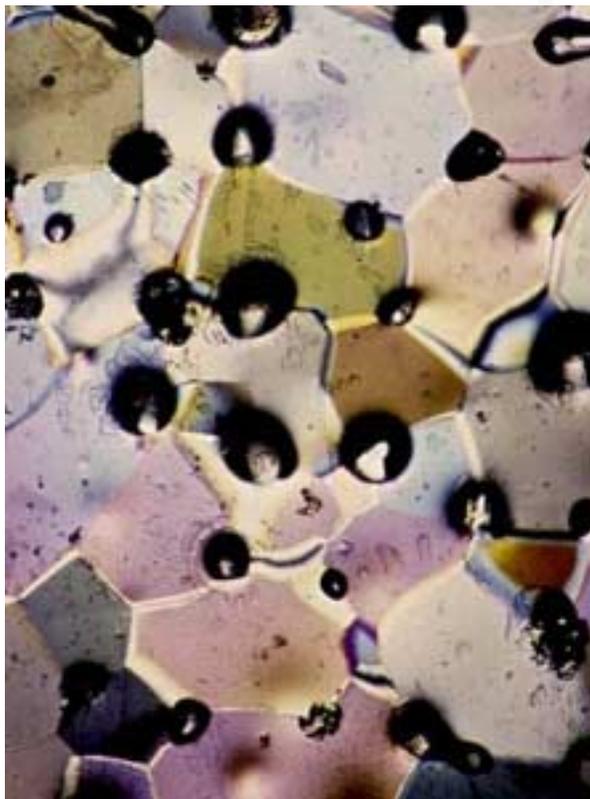


Augmentation des concentrations des gaz à effet de serre :
→ augmentation de l'énergie reçue par la surface

CO₂ atmosphérique
(ppmv)

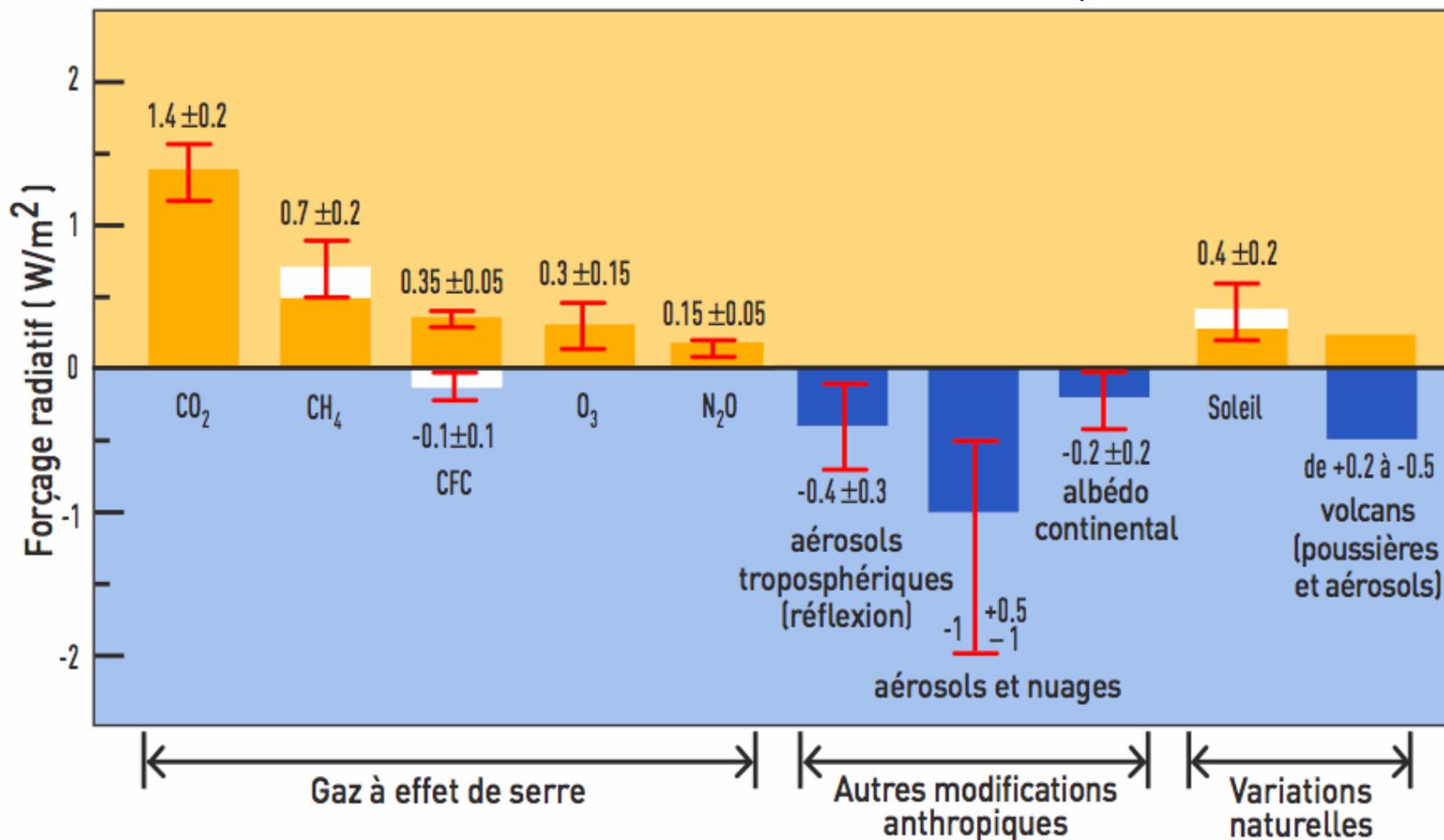


Bulles d'air dans la glace
(LGGE/CNRS)



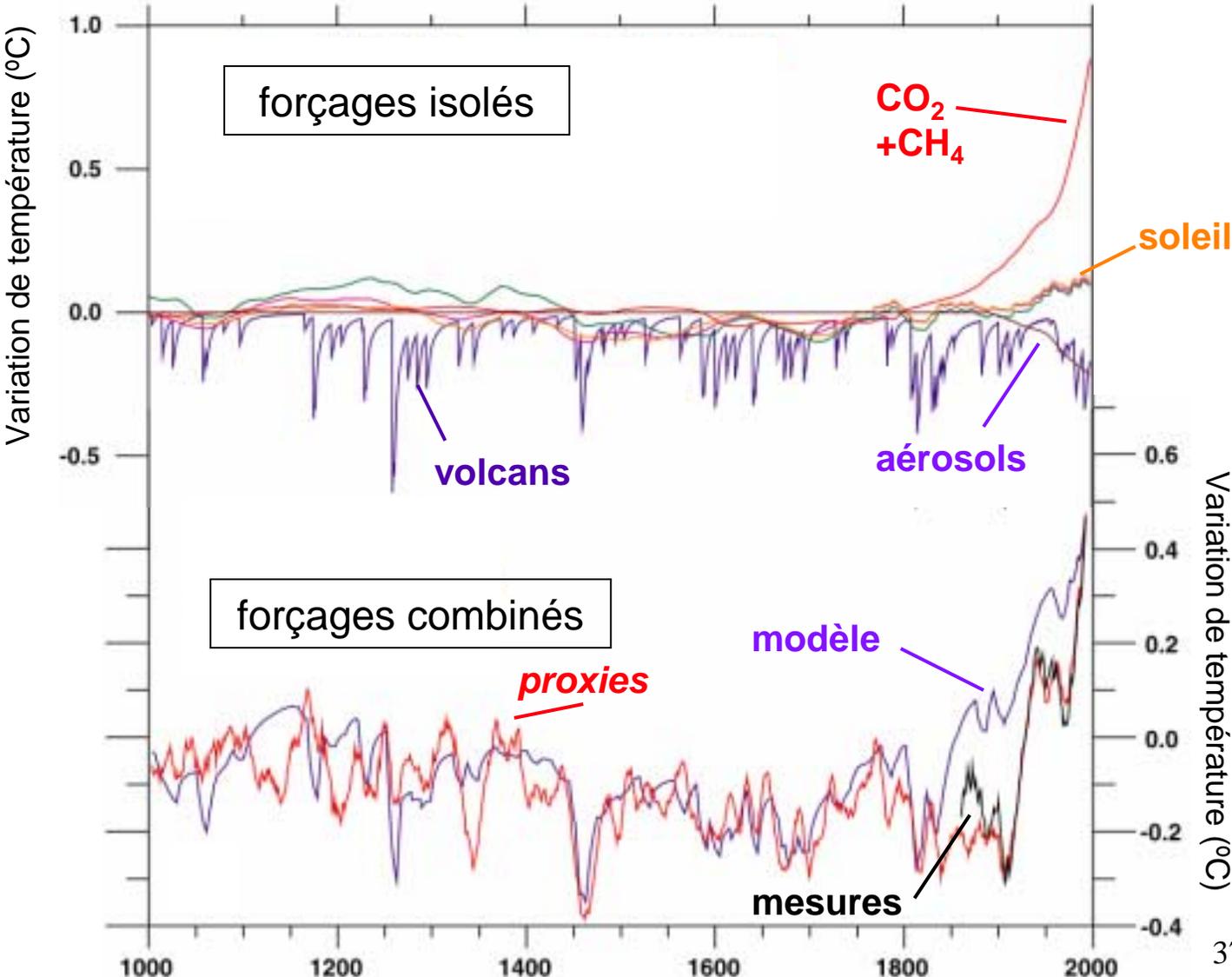
Les différents forçages radiatifs (1850-2000)

d'après Hansen *et al.*, 2000



→ test : simuler les variations de température globale 36

Simulation de la température de l'hémisphère nord

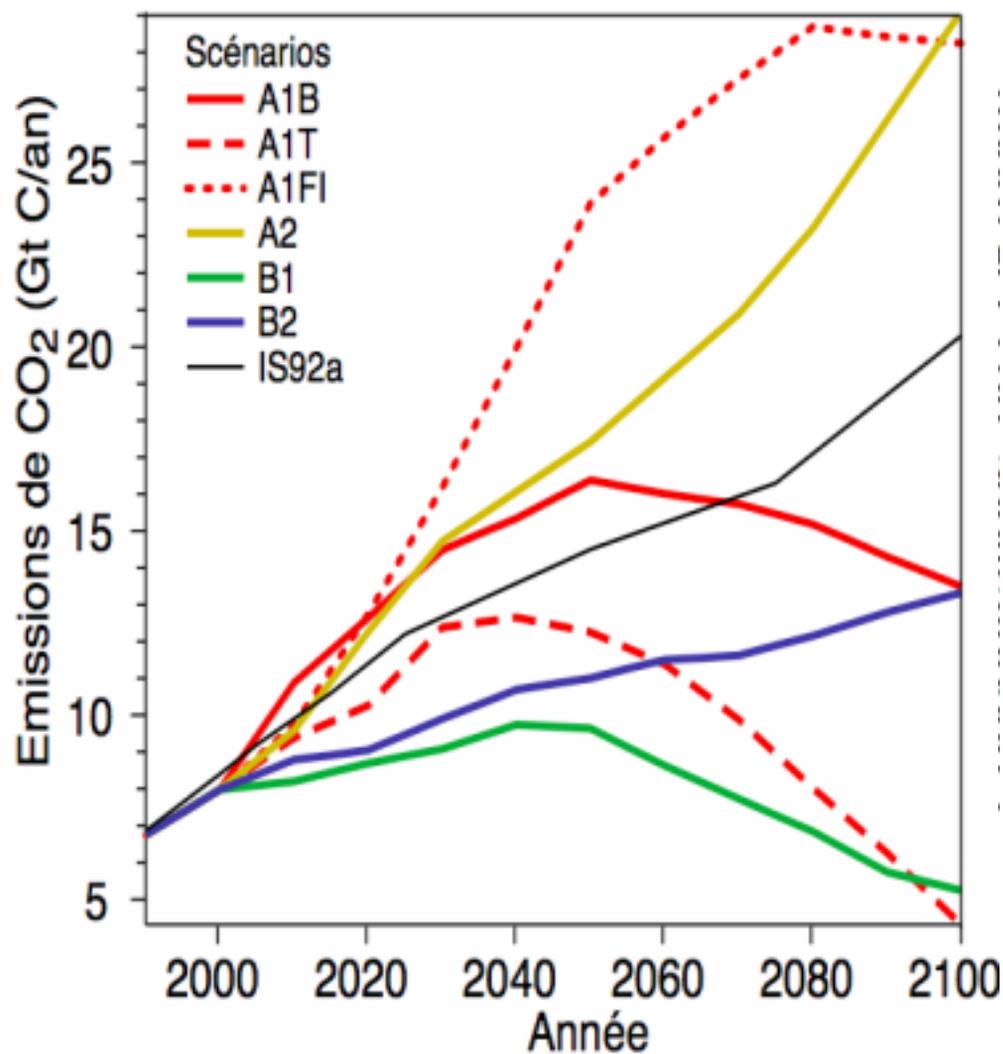


Compréhension validée sur le passé → prévisions

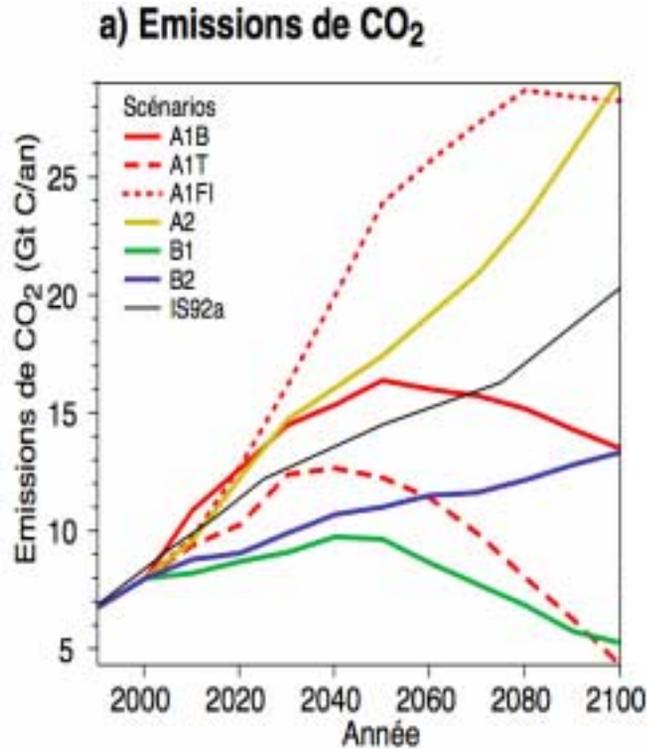
Deux façons d'envisager le prochain siècle :

- ◆ élaborer des scénarios et les tester : éventail des possibles
- ◆ objectif de limitation des changements climatiques : politique volontariste

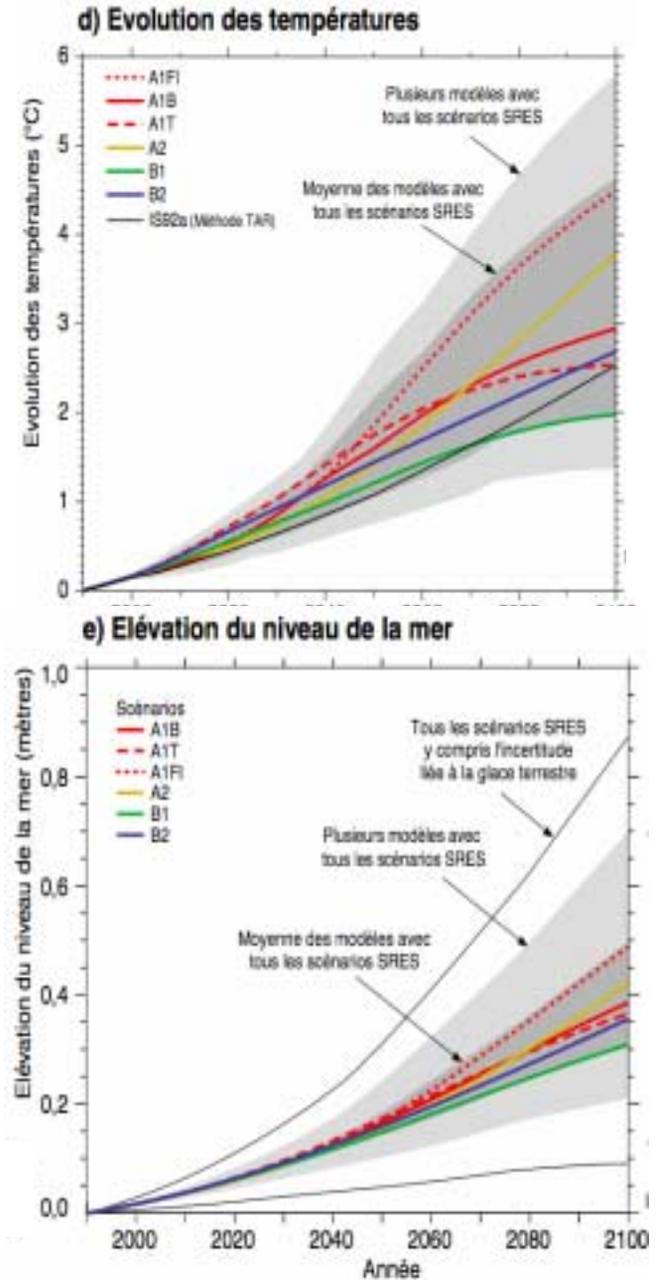
1) Différents scénarios socio-économiques d'émission de gaz à effet de serre (IPCC, 2001)



1) Impacts des scénarios



simulations
avec
→
différents
modèles



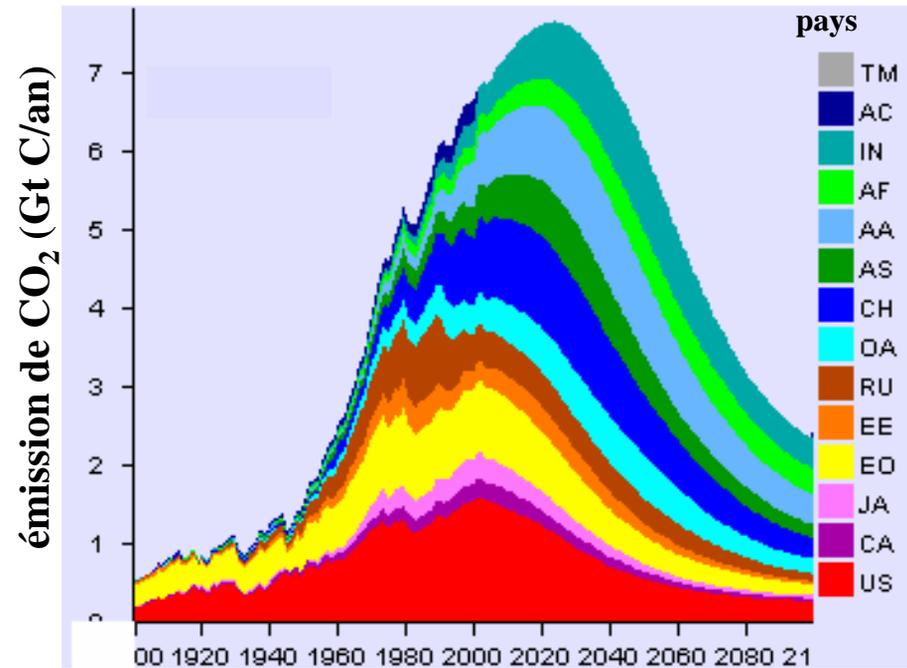
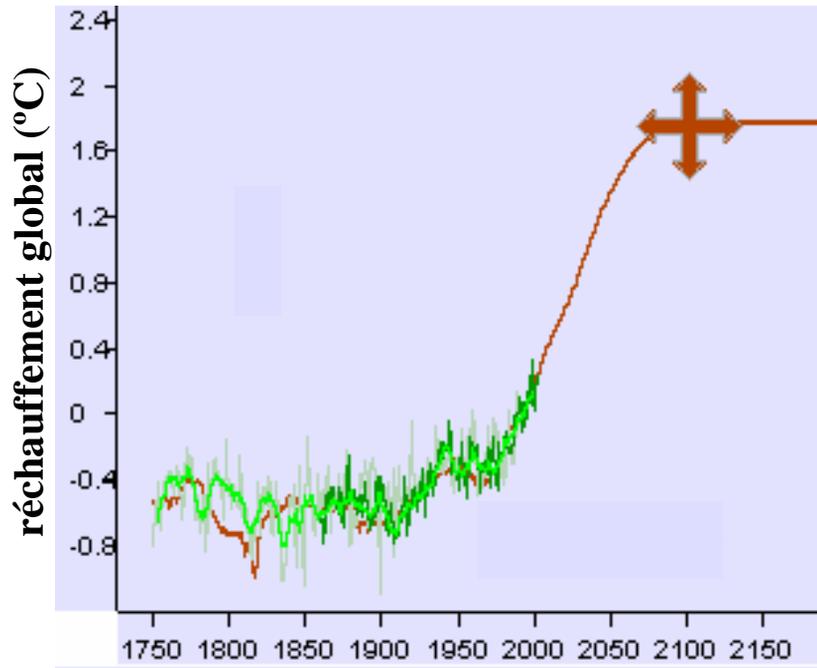
IPCC, 2001

2) Politique de limitation : inertie et irréversibilité des changements climatiques

STABILISER la
température à +2°C en 2100

nécessite de

DIMINUER les émissions
de CO₂ à partir de 2030



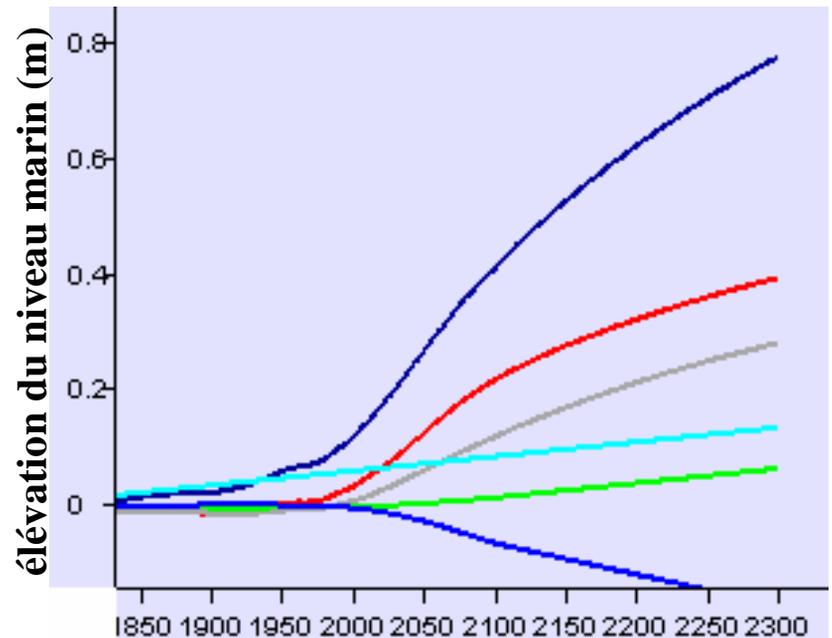
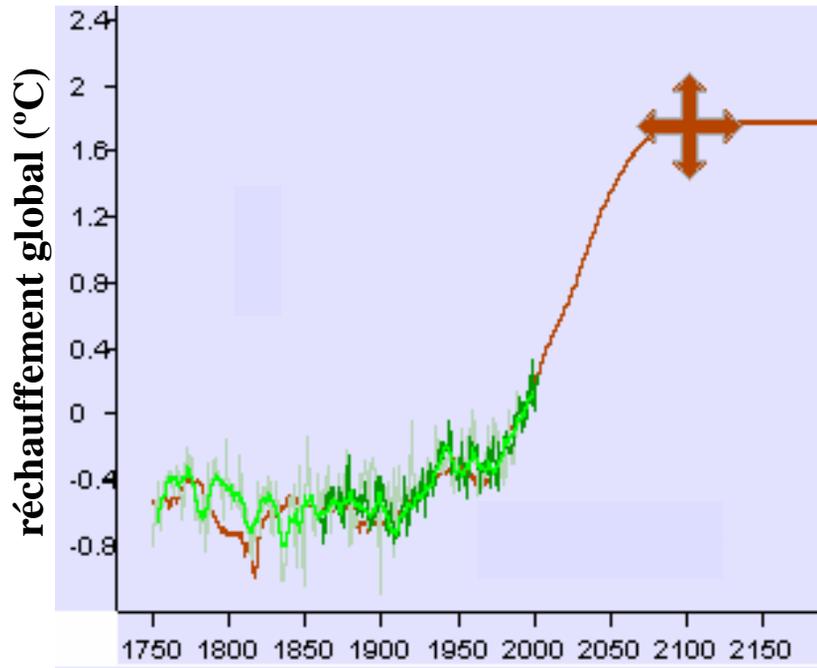
Java Climate Model (B. Matthews, UNEP, chooseclimate.org)

2) Politique de limitation : inertie et irréversibilité des changements climatiques

**STABILISER la
température à +2°C en 2100**

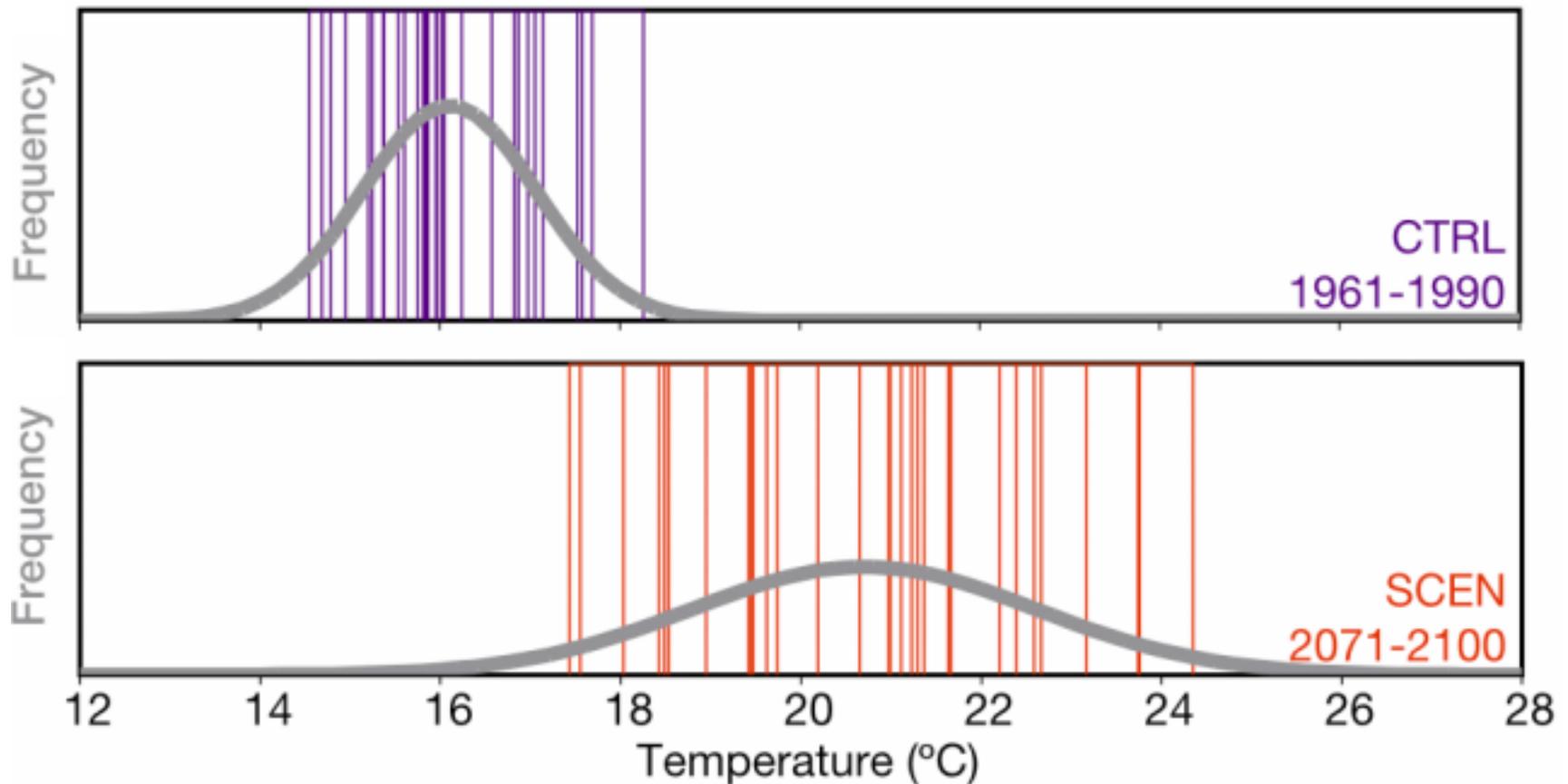
n'empêchera pas

**LA MONTEE du niveau de
la mer sur plusieurs siècles**



Java Climate Model (B. Matthews, UNEP, chooseclimate.org)

Caractéristique du changement climatique régional :
augmentation de la température moyenne et de la variabilité

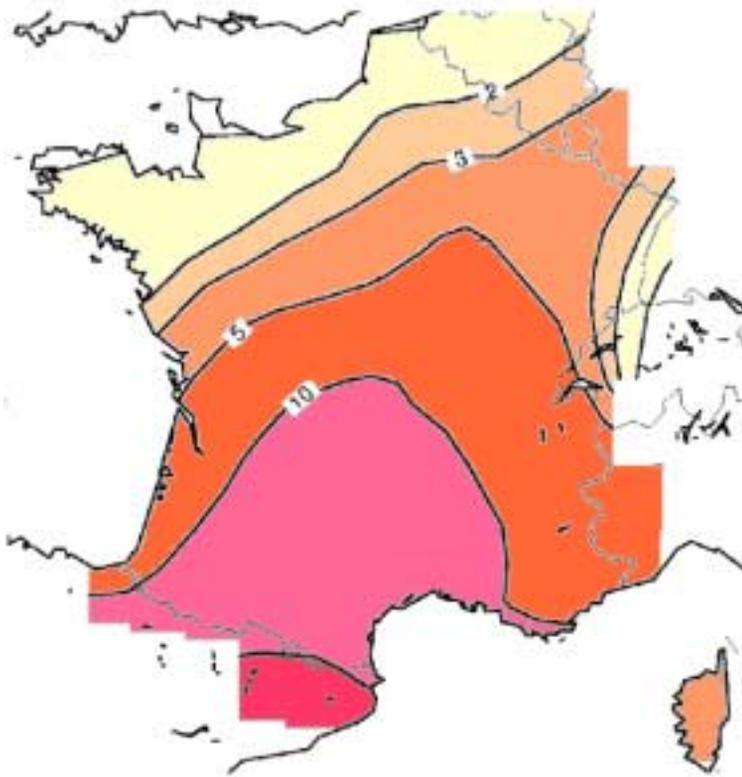


Distribution des températures d'été simulée en Suisse par un modèle régional, pour le climat actuel et SRES A2.

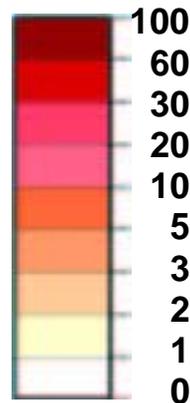
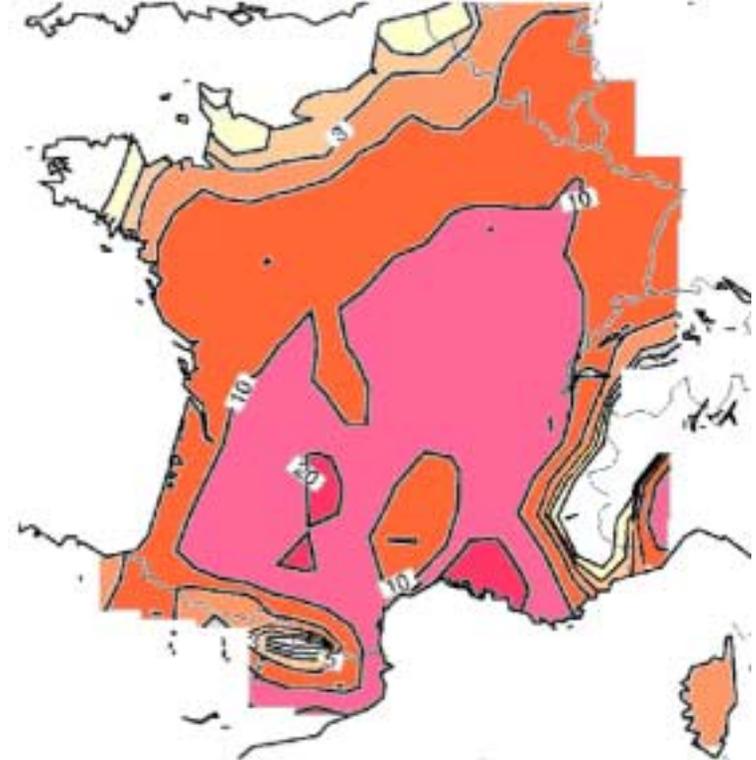
Schär *et al.*, 2004

Extrêmes chauds : plus fréquents, mais incertitude régionale.

modèle LMD



modèle CNRM



Nombre de jours avec une température maximale $> 35^{\circ}\text{C}$
(période 2071-2100) - rapport GICC IMFREX

Prévisions régionales : conséquences biologiques

Végétation potentielle :

actuelle



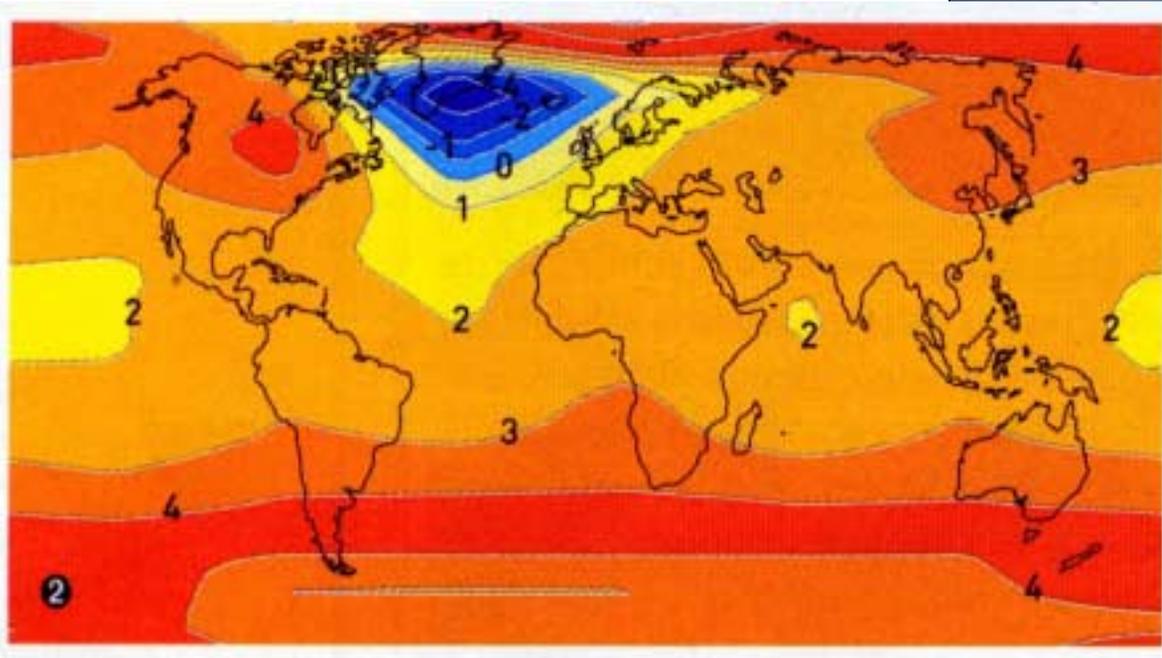
en 2050



en 2100



Des « **surprises climatiques** », possibles d'après notre connaissance du passé (instabilité climatique en période glaciaire)

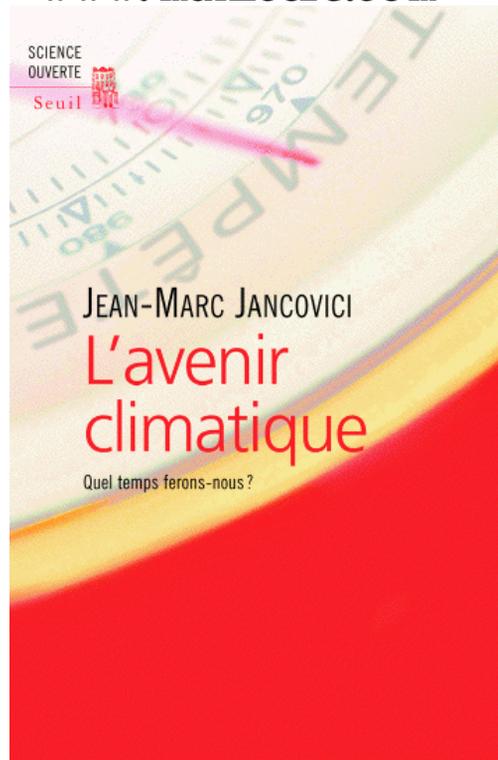


Changement de température simulée pour **2500** avec un modèle simplifié : l'arrêt de la circulation océanique provoque un refroidissement dans le nord de l'Atlantique (Ganopolski *et al.*)

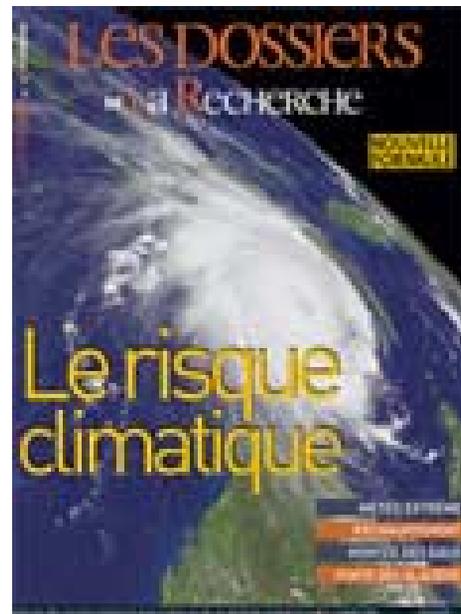
Conseils bibliographiques :

**JM Jancovici
(Seuil, 2002)**

www.manicore.com



**La Recherche,
Hors Série 17
2004-2005**



**E. Bard
(Flammarion, 2005)**

