



***Ce que la Paléo (modèles et données)
peut apporter à la compréhension du
changement climatique en cours.***

Equipe de modélisation du LSCE

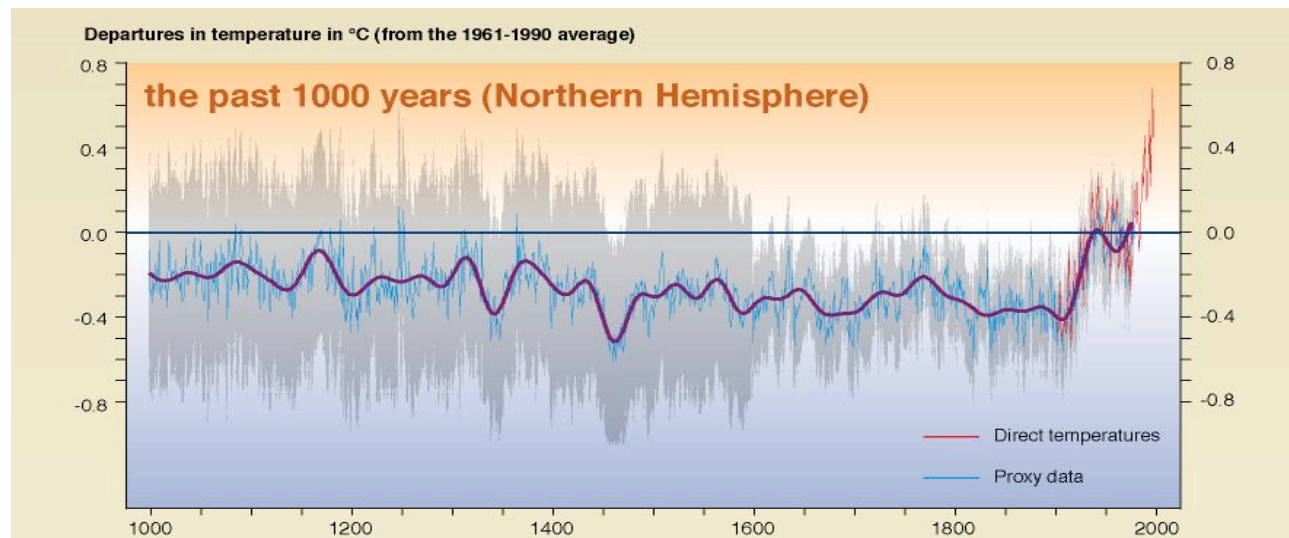
Branville, les 19 et 20 mai 2008

Variations climatiques depuis l'an mil

- **Les modèles couplés simulent raisonnablement bien l'état moyen du climat. Sont-ils performants pour simuler des extrêmes?**
 - Canicules, sécheresses, vagues de froid, précipitations intenses, tempêtes...
- **Comparer les simulations à l'évolution de ces événements au cours des derniers siècles,**
 - sur des régions bien ciblées (e.g. Europe de l'ouest), et
 - des périodes de forçages bien identifiés (activité solaire, volcanisme).
- **Exemple: 12 sécheresses extrêmes (pas de précipitation entre Avril et Septembre) en Normandie entre 1550 et 1780. Peut-on expliquer cette statistique?**

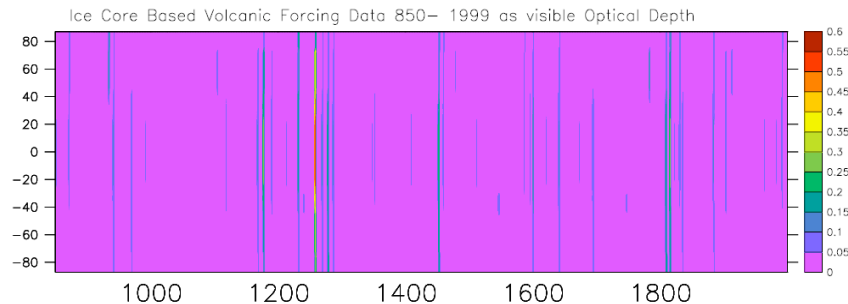
Le climat du Dernier Millénaire

- Enjeu: mieux comprendre les facteurs responsables des variations climatiques des 1000 dernières années (projet ANR ESCARSEL)

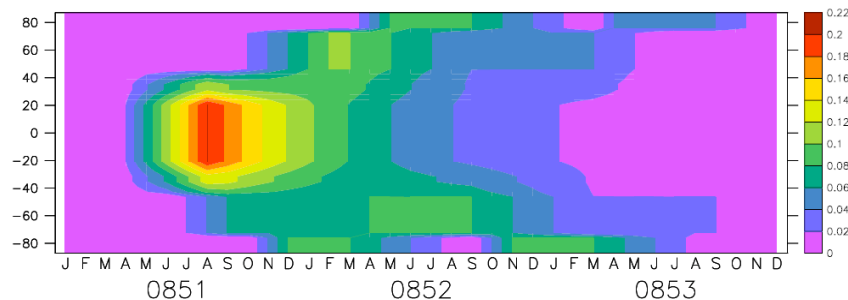


- Difficultés:
 - Incertitudes sur les forçages, difficulté d'implémentation
 - variabilité interne vs variabilité forcée

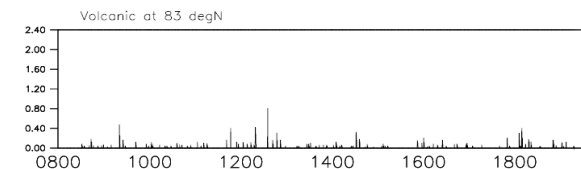
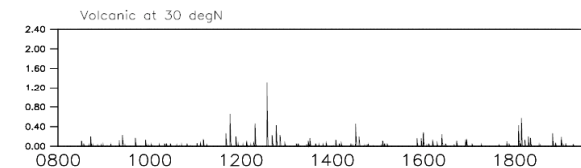
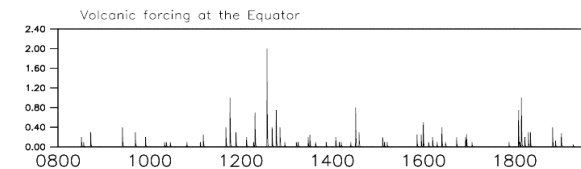
Forçages : éruptions volcaniques



Scénario d'éruptions établi à partir des carottes glaciaires



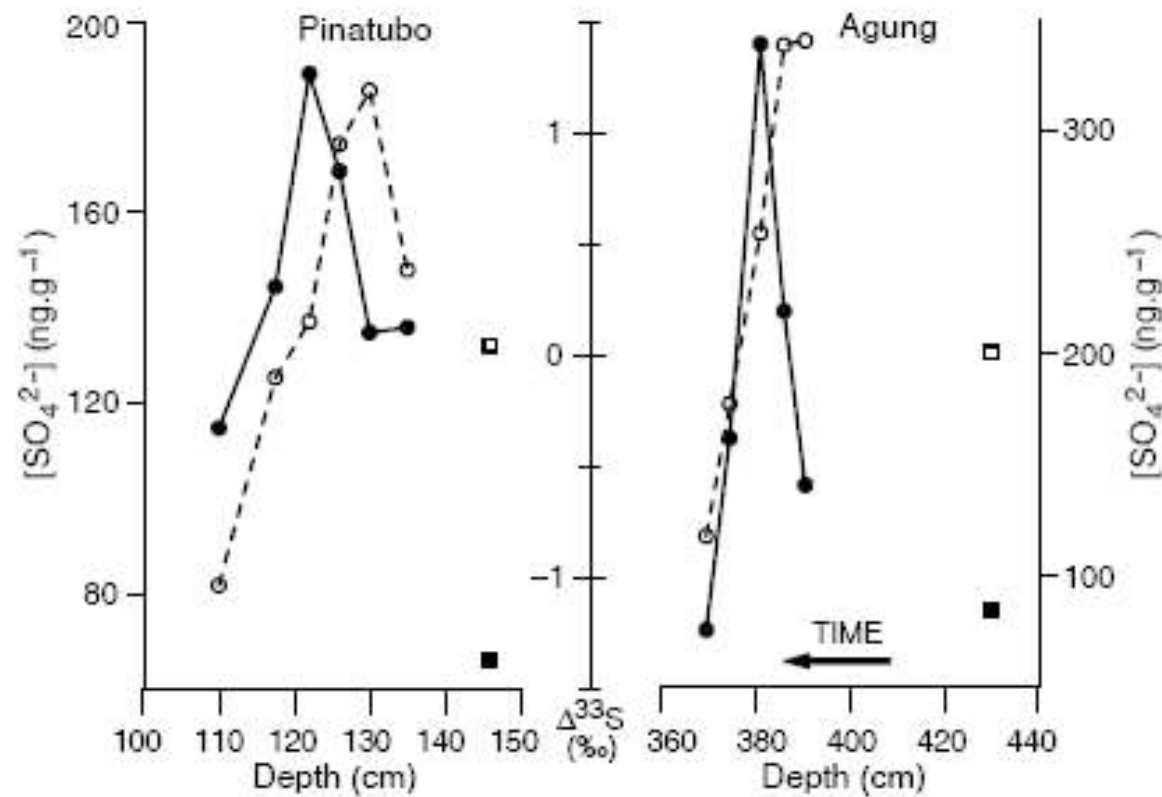
Scénario en fonction de la latitude



Source: C. Ammann, NCAR

- Jusqu'ici, éruptions volcaniques représentées à travers des variations de la "constante" solaire → forçage global
- 2 jeux d'expériences :
 - Expériences classiques pour comparer nos résultats aux autres groupes
 - Expériences dans lesquelles le code radiatif sera modifié pour prendre en compte les variations d'épaisseur optiques liées aux éruptions volcaniques → forçage local

**→ 3200 ans de run
~ 17000 heures**



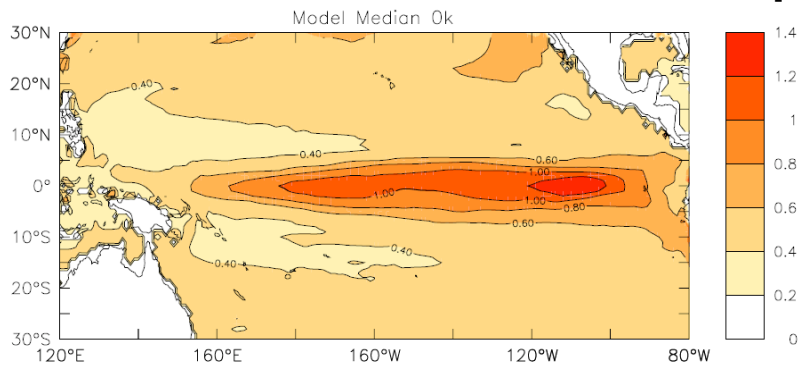
Comment les isotopes du soufre peuvent nous dire sur l'inventaire des éruptions volcanique celles qui ont émis jusqu'à la stratosphère.

[Baroni, et al., 2007]

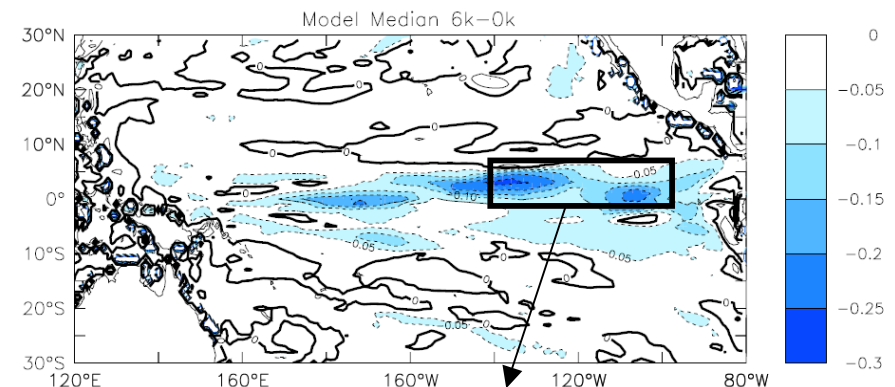
ENSO at 6ka and 21ka from ocean–atmosphere coupled model simulations

W. Zheng, P. Braconnot, E. Guilyardi, U. Merkel, Y. Yu, climate dynamics, 2008

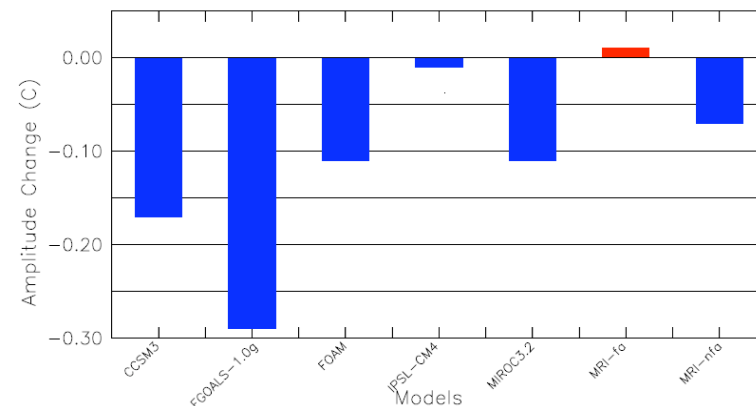
Variabilité actuelle dans le Pacifique



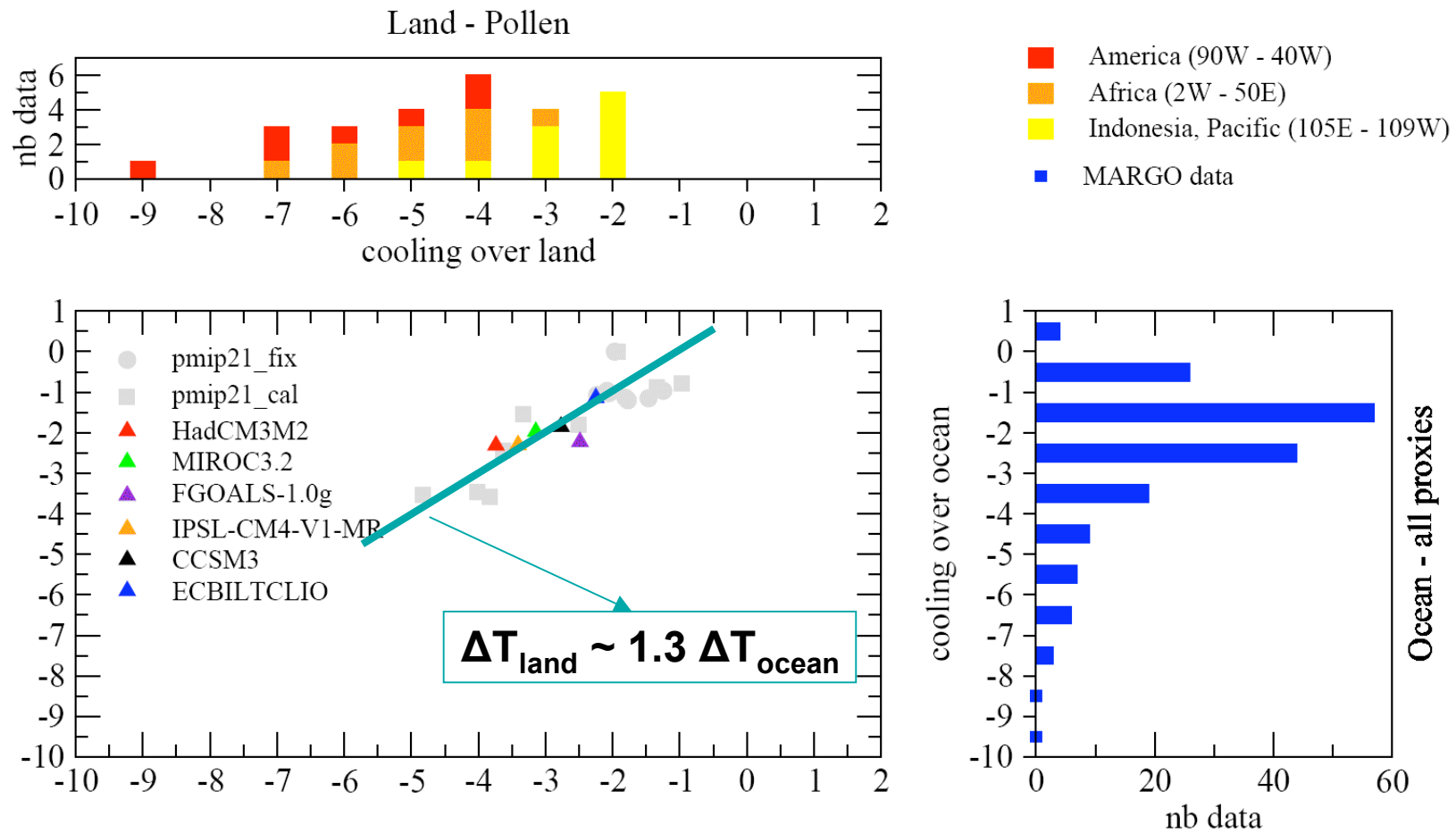
Changement de variabilité à 6ka



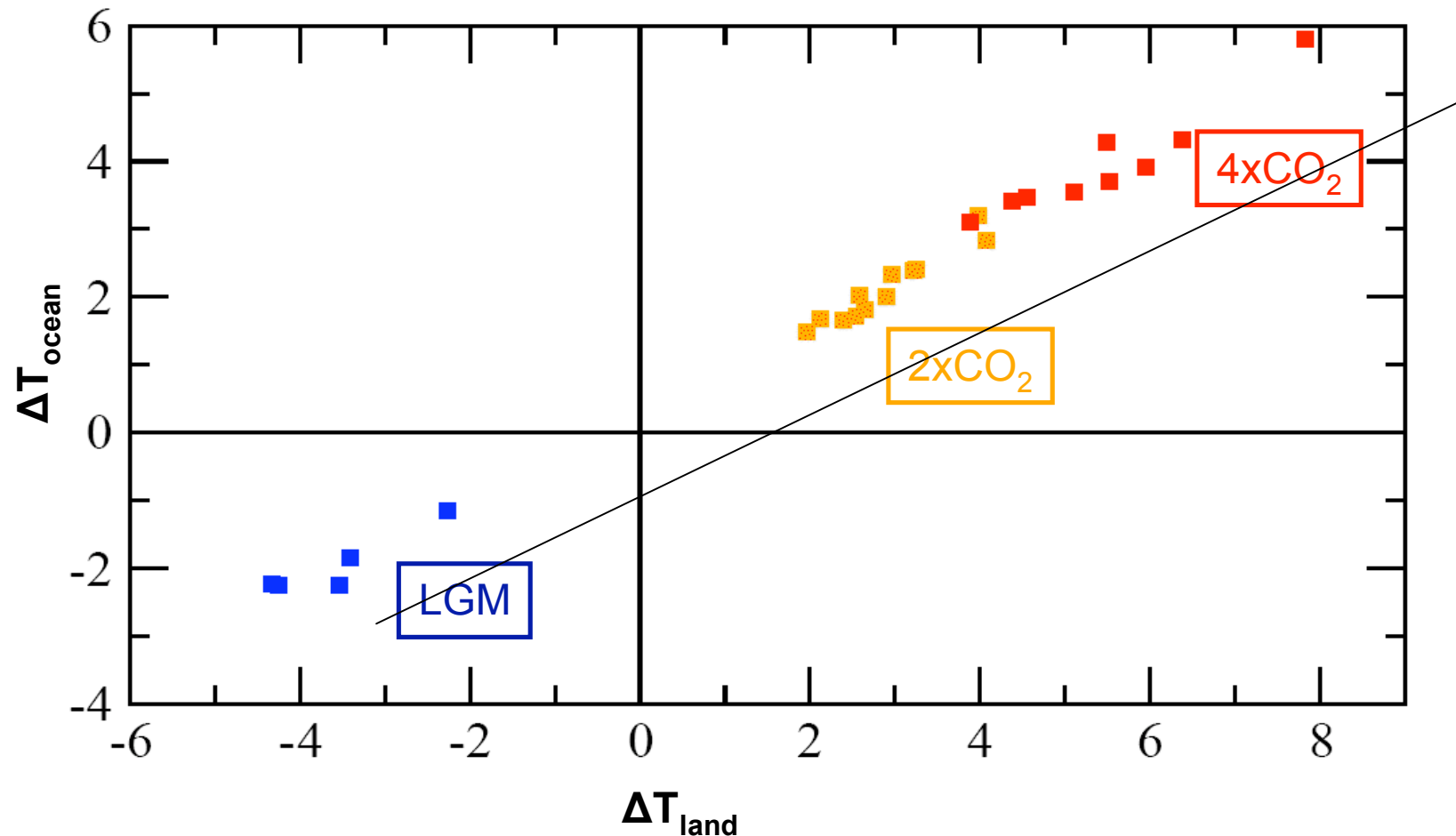
- Les résultats sont plus variables pour 21ka comme pour le futur (non montré)
- A l'Holocène les signal est dominé par la dynamique de grande échelle, ce qui explique la cohérence de reponses, alors que pour le glaciaire la thermodynamique a aussi un rôle important plus variable d'un modèle à l'autre
- L'accroissement de mousson en automne à 6ka, lié à l'insolation, contrecarre le démarrage d'ENSO



$\Delta T_{\text{continent}}$ vs. ΔT_{ocean} : les tropiques



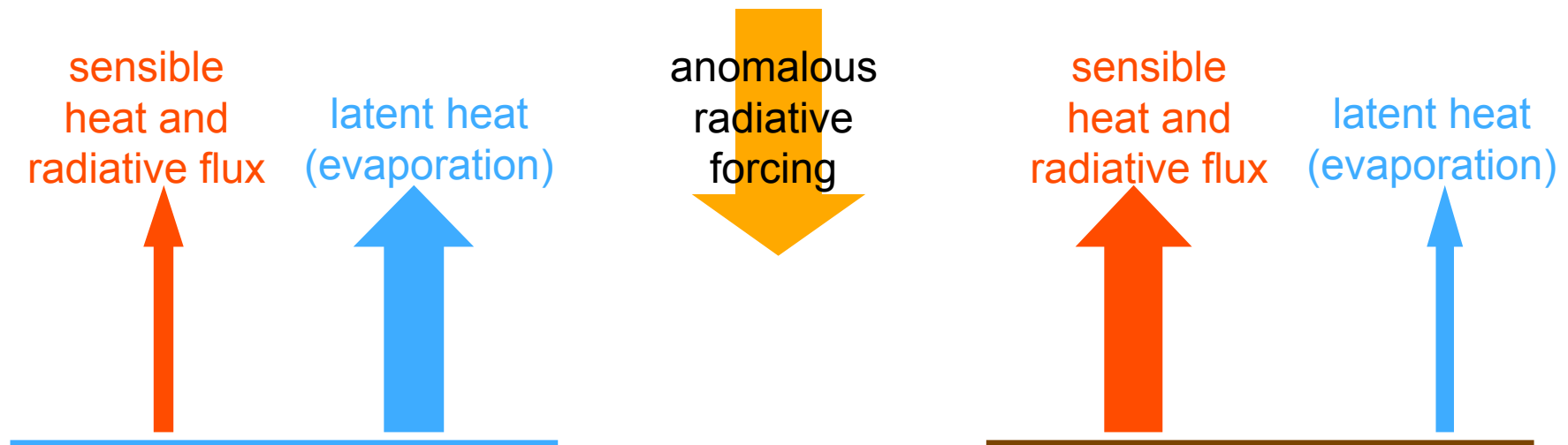
Un lien avec les changements futurs ?



- **Données DMG pouvant aider à contraindre les relations entre ΔT_{ocean} et $\Delta T_{\text{continent}}$?**

Idée de mécanisme ?

- Sutton et al (2007) montrent une relation similaire pour les simulations forcées par une augmentation des gaz à effet de serre
- Relation non pas liée à l'inertie de l'océan mais à la disponibilité en eau des différents types de surface



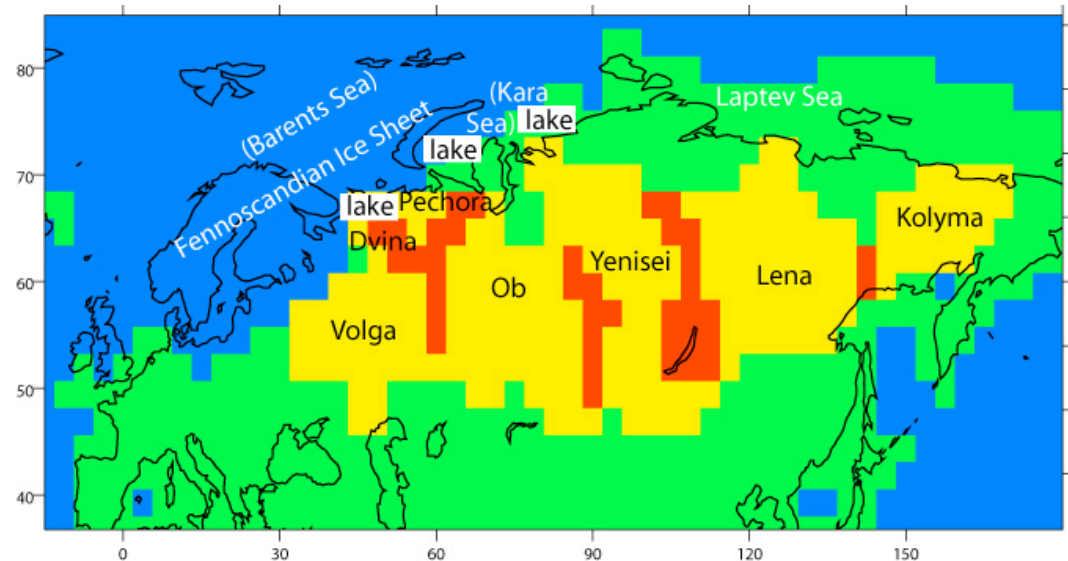
Etude préliminaire d'Alexandre Laîné:

- différentiel d'évaporation océan/continent dans les 2 contextes
- amplitude des rétroactions liées aux nuages et au contenu en vapeur d'eau... dépendante du contexte climatique

→ A analyser plus en détail

Réflexion sur les hypothèses choisies

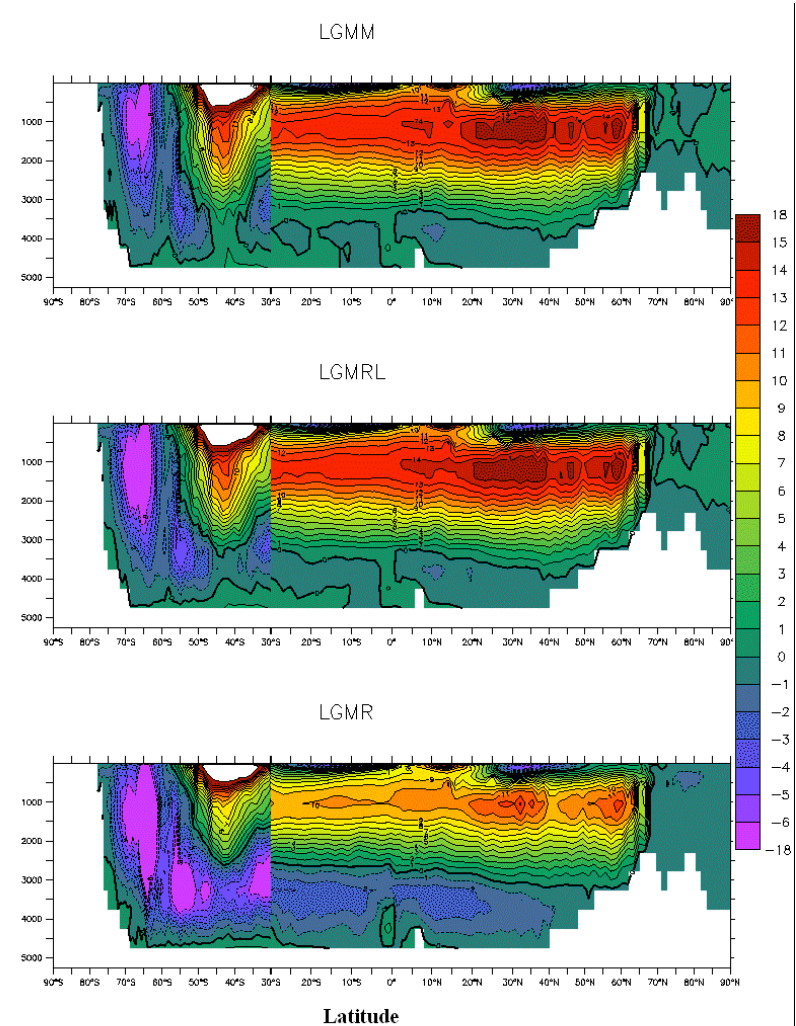
- Cours d'eau au DMG modifiés:
 - *par les calottes bloquant les rivières ou couvrant les bassins versants*
 - *indirectement via les changements de topographie liés aux ajustements isostatiques à la présence de calottes glaciaires*



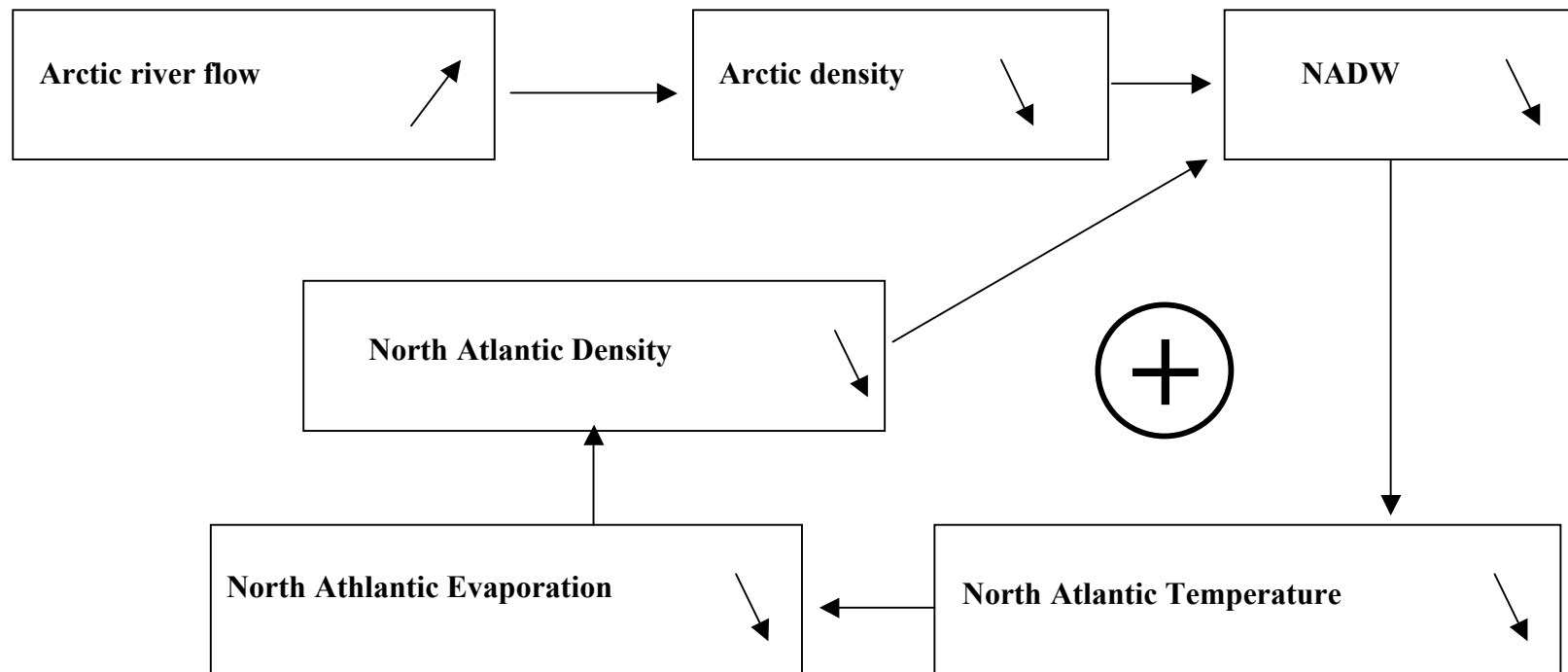
- Changements ignorés dans beaucoup de modèles pour le DMG
- Travail de thèse de Ramdane Alkama: analyser la sensibilité du climat glaciaire simulé au changement des cours d'eau

Sensibilité de la THC au tracé des rivières au DMG

- Run 1 (LGMM): modern rivers lengthened to the ocean, except when blocked by ice-sheets
- Run 2 (LGMRL): LGM rivers, Ob and Yenisey flowing into a lake south east of the Fennoscandian ice-sheet
- Run 3 (LGMR): LGM rivers, Ob and Yenisey flowing to the Arctic ocean



Une rétroaction positive



Alkama et al, 2007

- Une petite différence dans le débit des rivières a finalement des conséquences importantes pour la THC... et le climat!

Modélisation du dernier cycle. Forçages et correction des biais

Forçages extérieurs:

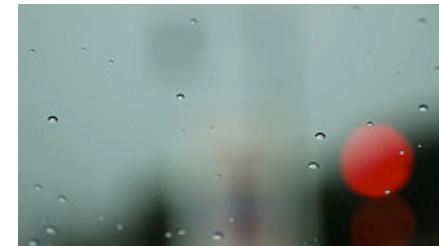


- ➔ **Évolution du CO₂** (Petit et al., 1999)
- ➔ **Changements d'insolation** (Berger, 1978)
- ➔ **Poussières** (*concentration paramétrée à partir des données GISP2; déposition basée sur DIRTMAP*)

Autres processus:

Coefficients de correction des précipitations simulées
(différence CLIMBER/mesures)

***Degré de liberté du modèle très élevé
(étude en modalité non forcée)***

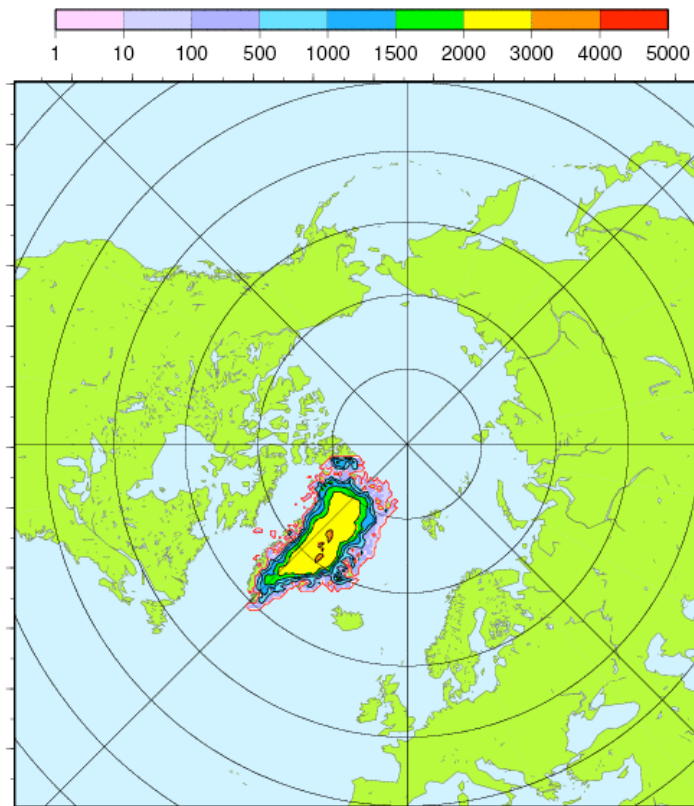


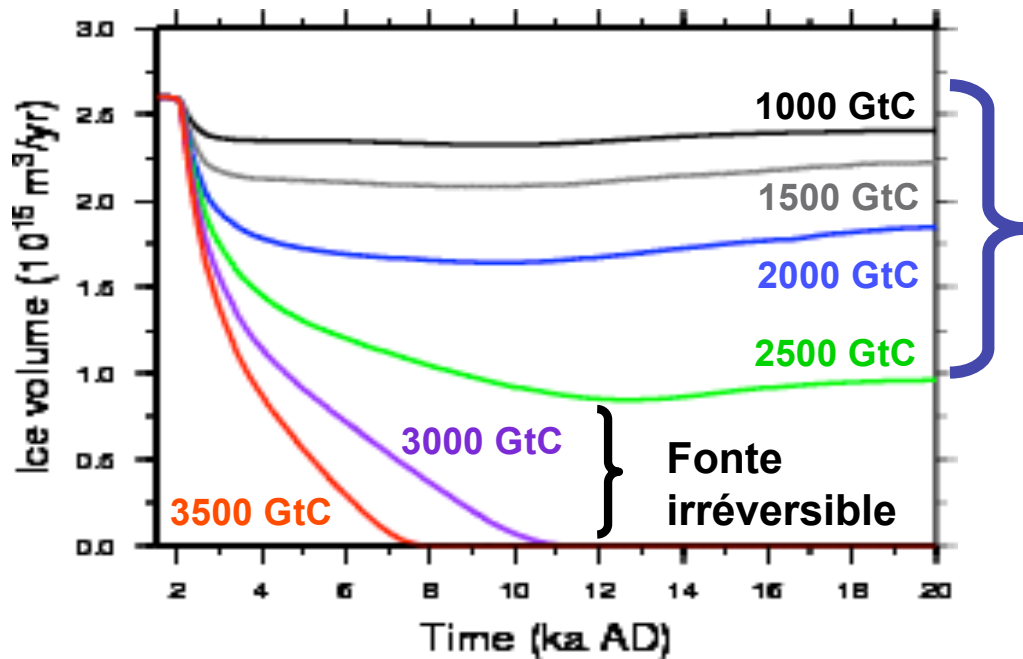
Evolution des calottes de glace

Point de départ: 126 ky B.P.

Fin de l'animation: *présent*

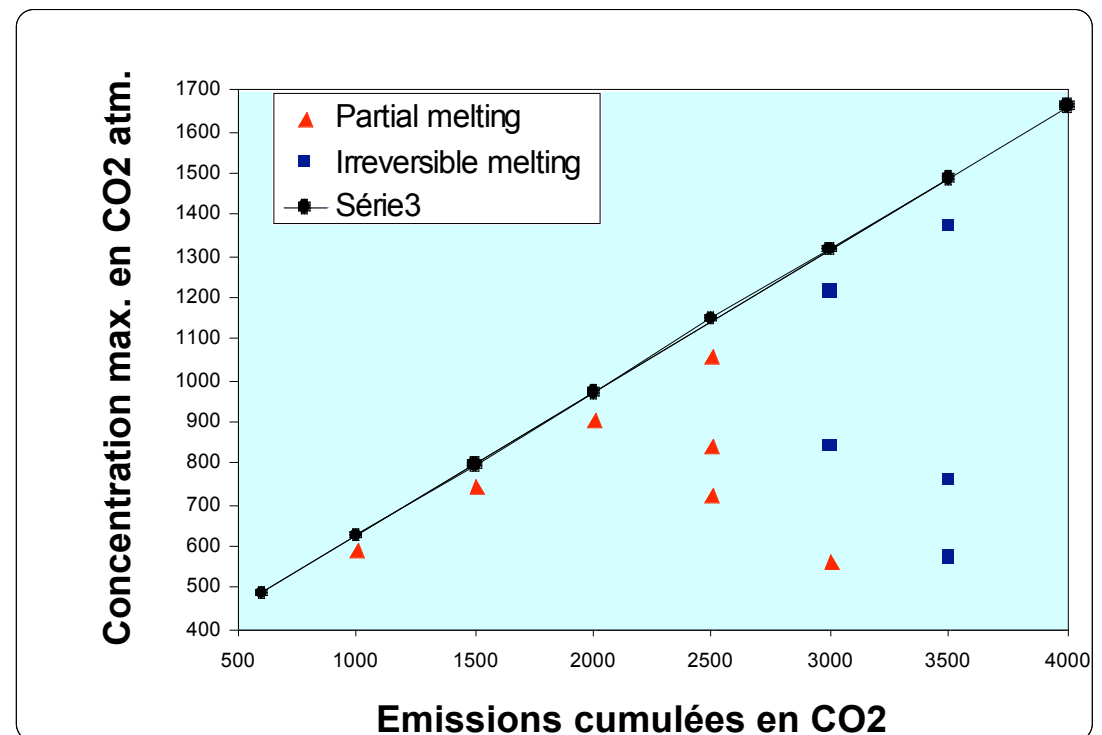
Cycle Gremlins
t = - 126000 ans





Expériences de sensibilité pour tester l'impact de la durée et de l'amplitude du réchauffement :

Le comportement ultime du Groenland dépend essentiellement de la quantité totale des émissions.



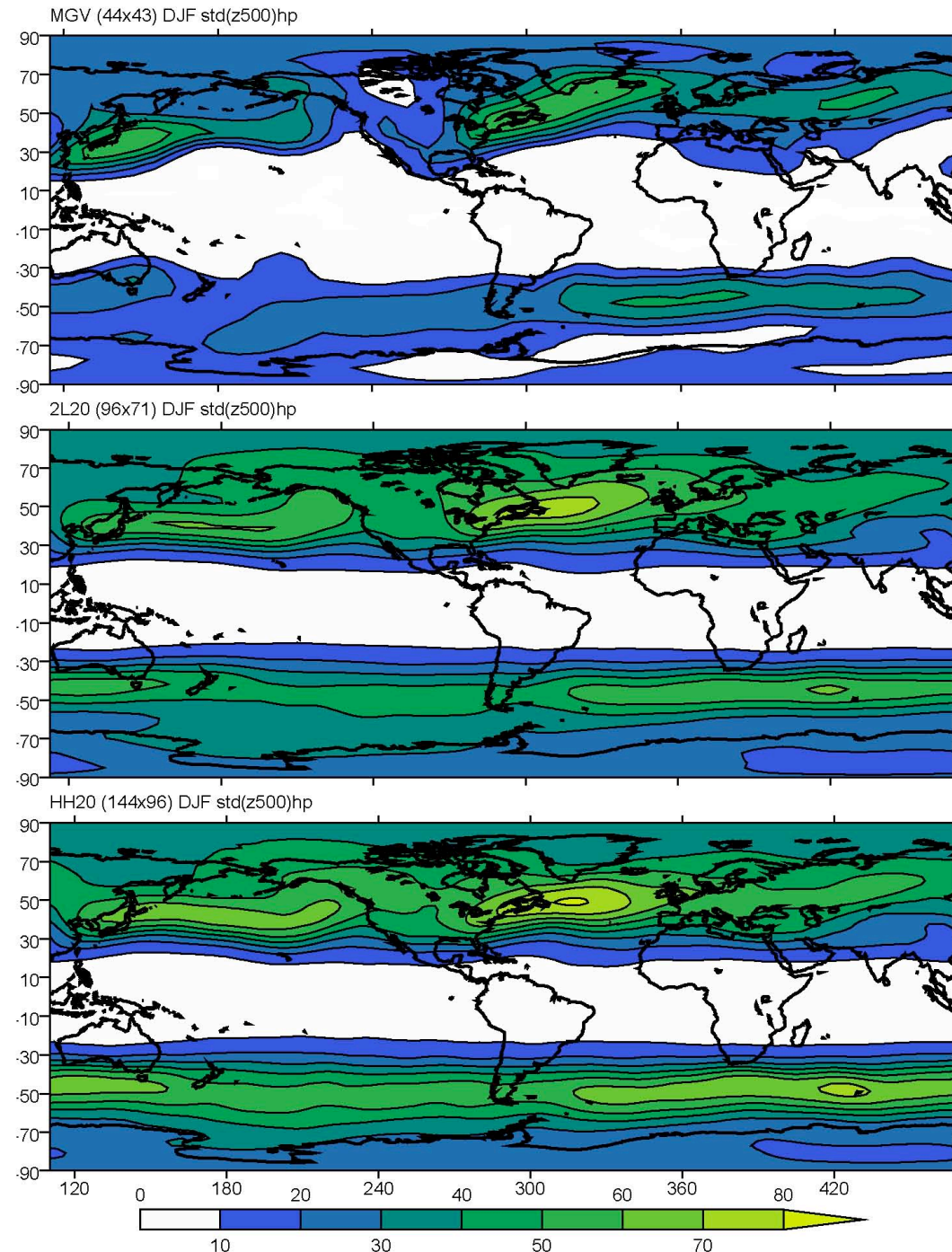
MGV : Modèle à grande vitesse

(Luc Gential - CDD au LSCE)

- ✓ **Configuration actuelle : IPSLCM4_v2 sans STOMATE ni la végétation dynamique**
- ✓ **Configuration visée : IPSLCM4_v2 avec branchement de PISCES, STOMATE et végétation dynamique**
- ✓ **Résolution actuelle : 44x43x19 pour l'atmosphère, ORCA2 pour l'océan**
- ✓ **Coût numérique : environ 30 ans / jour sur mercure avec 3 processeurs pour LMDZ. Objectif : 100 ans / jour.**
- ✓ **Développé dans le cadre du projet QUEST/DESIRE (collaboration avec les développeurs du modèle anglais FAMOUS) :**
 - **Acquisition d'une méthode de calibration automatique (juin 2008). But du tuning : corriger le biais chaud et booster la circulation thermohaline.**
 - **Applications : simuler une transition climatique (déglaciation), événements de Heinrich.**

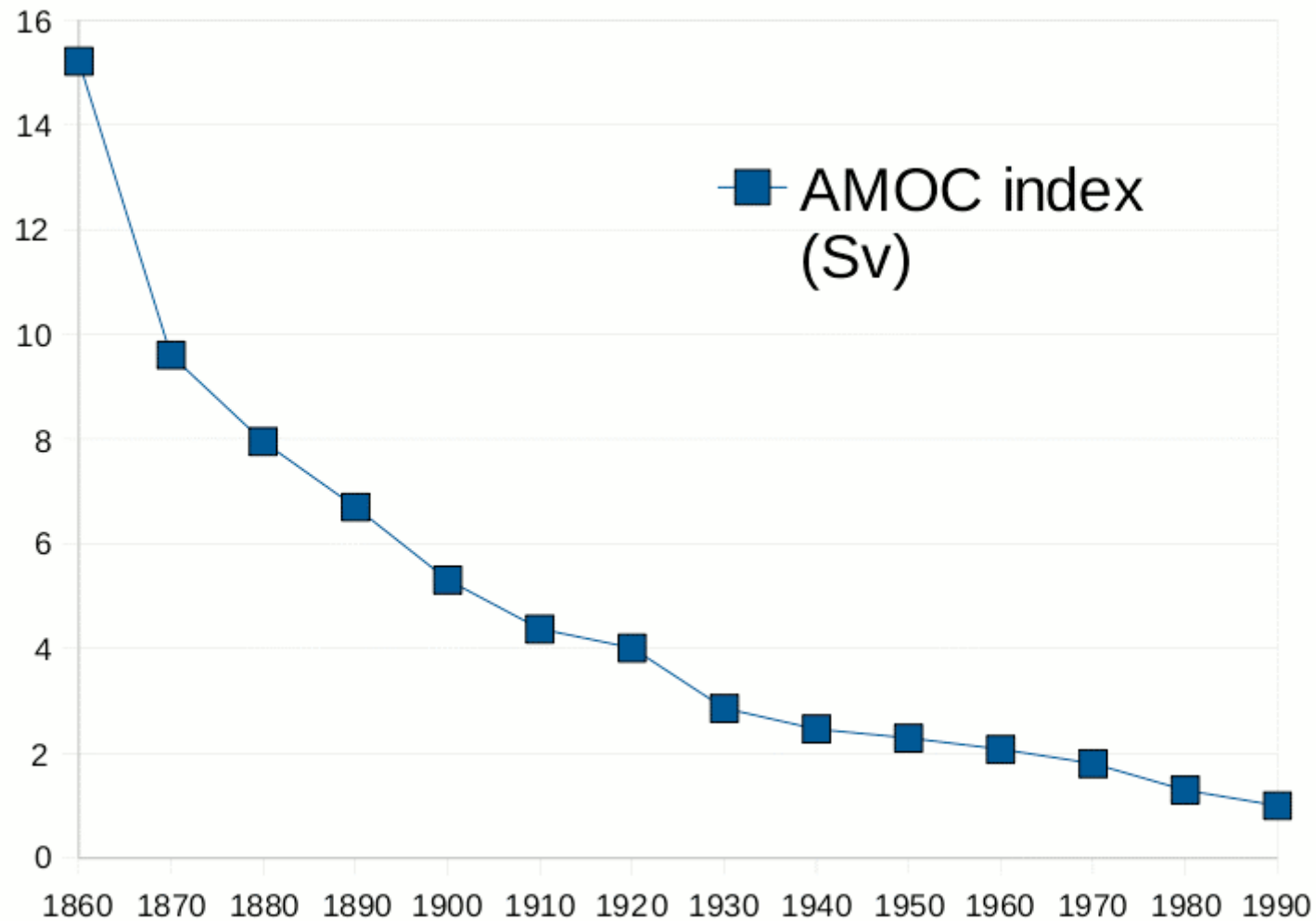
**Storm-tracks typiques d'un
GCM
de très basse résolution.**

**Ecart-type passe-haut
(3-6 jours) de la hauteur du
géopotential à 500 hPa (en
mètres).
Années 1900 à 1919 d'une
simulation couplée
commencée en 1860.**

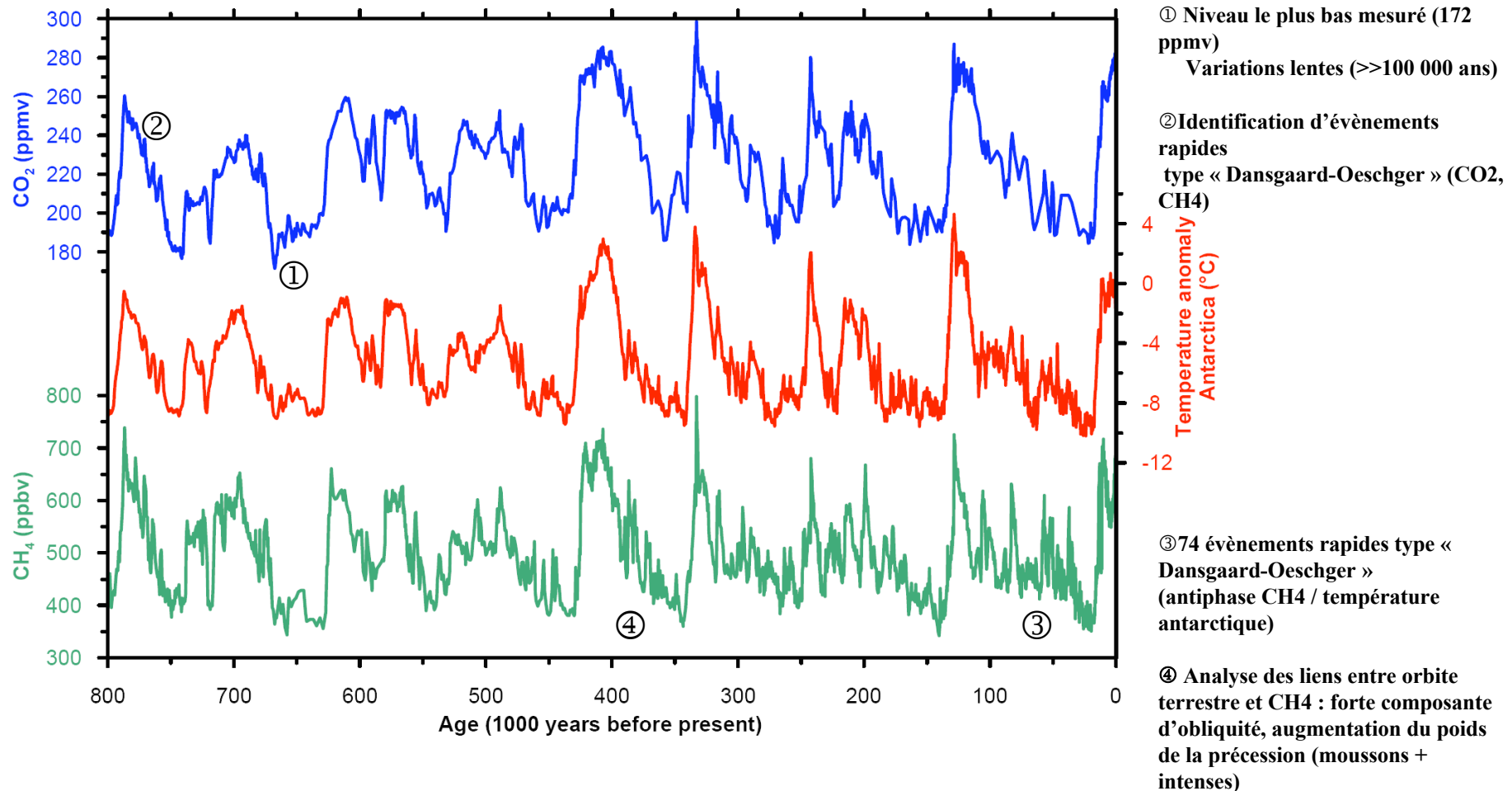


Effondrement rapide de la circulation thermohaline.

*Index AMOC (Atlantic meridional overturning circulation)
défini dans Swingedouw et al. (GRL 2006), moyenné par blocs de 10 ans.*



800 000 ans de composition atmosphérique grâce à l'analyse de l'air du forage EPICA Dôme C



Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, **J. Jouzel**, H. Fischer, K. Kawamura, and T.F. Stocker, High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present, *Nature*, 15. May 2008.

Loulergue, L., A. Schilt, R. Spahni, **V. Masson-Delmotte**, T. Blunier, B. Lemieux, J.-M. Barnola, D. Raynaud, T.F. Stocker, and J. Chappellaz, Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH_4 over the last 800,000 years, *Nature*, 15. May 2008.

Les enjeux de la Paléoclimatologie

**Comprendre les relations climats / CO₂/ CH₄
[Projets DESIRE NERC –INSU]**

**Comprendre et modéliser les événements rapides
[ANR IDEGLACE]**

**Comprendre la diversité des transitions
glaciaire / interglaciaires [ANR PICC, IDEGLACE]**

1. Point de départ



Point de départ:

L'étude des calottes de glace est particulièrement importante afin de mieux comprendre l'ensemble du système climatique (système complexe)

Outils de modélisation:

➡ Modèle climatique de complexité intermédiaire (CLIMBER 2.3) couplé avec un modèle 3D thermo-mécanique des calottes de glace de l'hémisphère nord (GREMLINS)

Objectif:

➡ Étudier les interactions climat-cryosphère dans l'hémisphère nord. Attention portée sur les mécanismes responsables des processus de glaciation/déglaciation.

3. Point clés



Attention focalisée sur les “**grands traits**” (i.e. processus de glaciation/deglaciation) dans l’hémisphère nord; intérêt porté sur le comportement du complexe nord-américain et fennoscandien

Points principaux:

- ➡ Cours irrégulier de l’expansion/retrait des glaciers, suite à l’évolution des deux forçages globaux
- ➡ Bon timing des principaux processus
- ➡ Conformité aux données expérimentales
- ➡ Évaluer la sensibilité des calottes des glace aux différents forçages externes (tests de sensibilité)

Evolution du Groenland pour différents scénarios d'émissions du CO₂

Question : Quel taux d'émission mène à la fonte totale et irréversible du Groenland ?

Hypothèses

- En 2000 : 7 GtC/yr
- Variation linéaire entre 2000 and 2050
- Flux stabilisé entre 2050 and 2100
- Emissions stoppées après 2200

