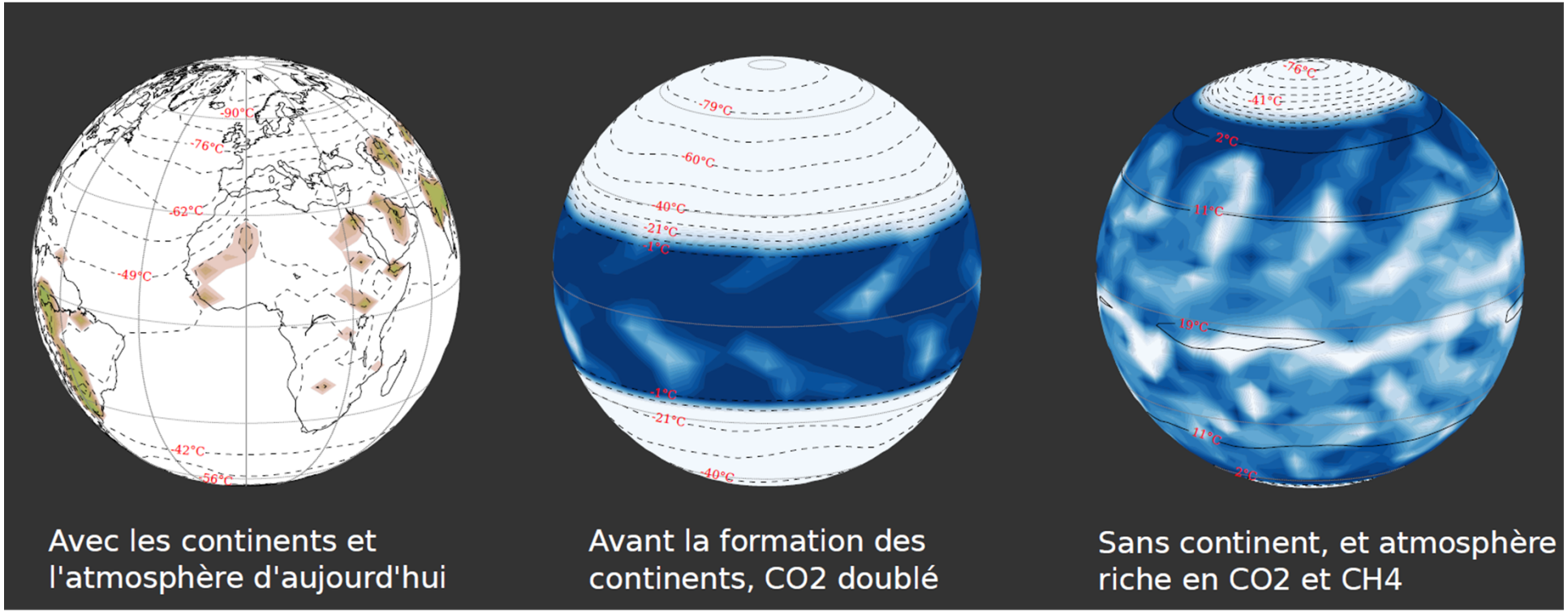
# Climats froids et soleil jeune



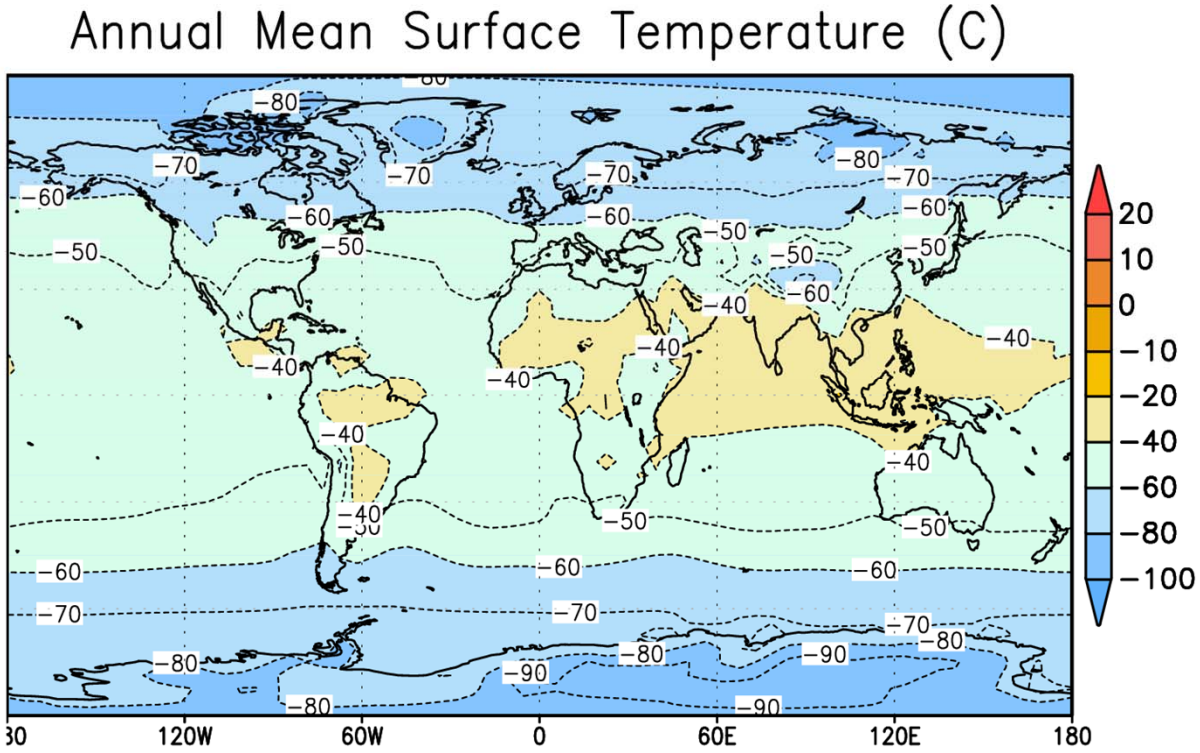

Francis Codron (LOCEAN)

Benjamin Charnay, François Forget, Robin Wordsworth, Jérémy Lecomte, Ehouarn Millour, Aymeric Spiga (LMD) *JGR, 2013*
Franck Selsis (Obs. Bordeaux)

« Soleil jeune » : Archéen (3,8 – 2,5 Milliards années)
Soleil 20-25% moins lumineux (50-60 W/m$^2$)
Présence d'eau liquide certaine, très chaude ?

Robert et al 2006

Terre actuelle, constante solaire 20% plus faible:




- glaciation globale en ~20 ans

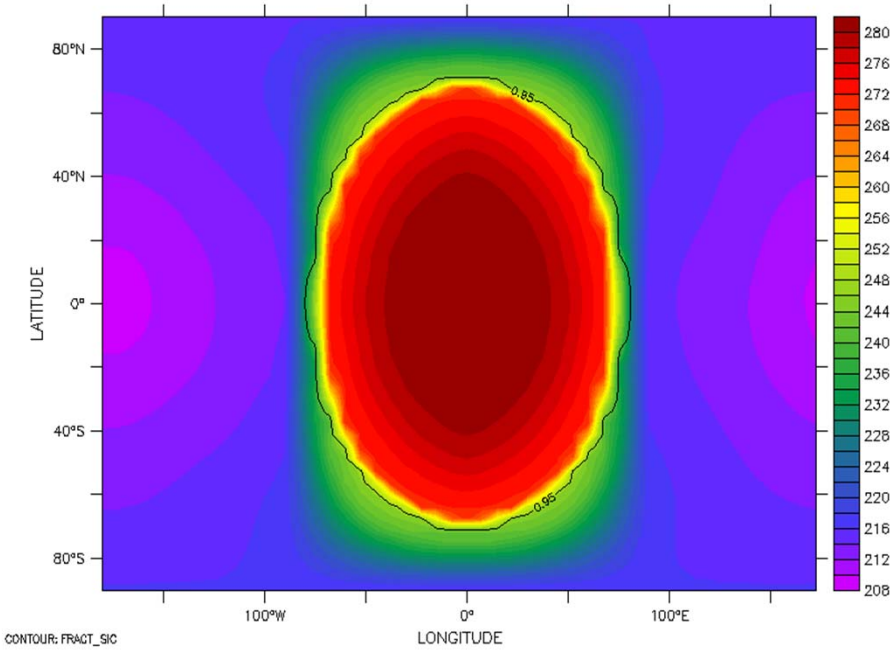
Rétroaction albédo – glace: glace 60 – 80% ; océans 5 – 15%

- Glaciation irréversible ?
- Pour Cte Sol. Actuelle, 2 états stables froid / tempéré.

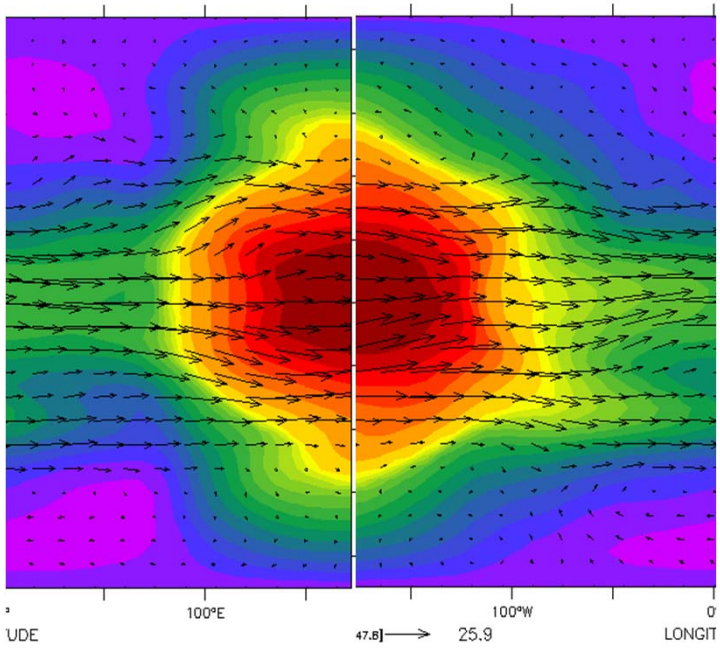
(Soleil jeune, mais aussi planètes océan…)

# Remarque: planète synchrone 1 seul état stable !

*Terre-océan. Température de surface, S=0,8*



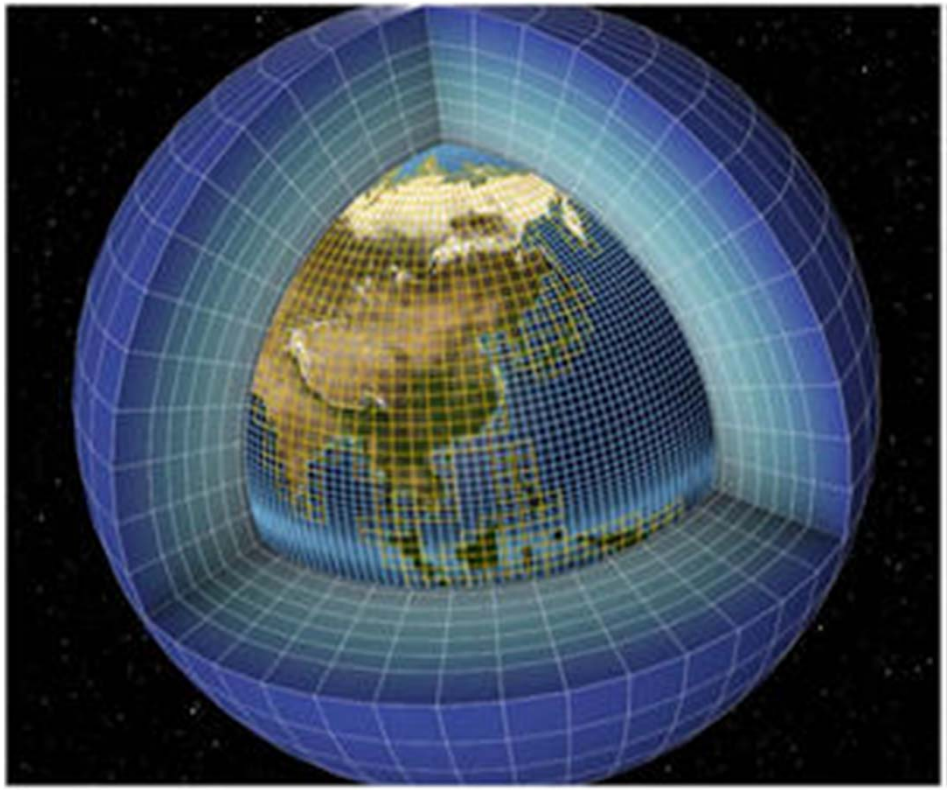

Rotation lente




Rotation rapide

Question : Comment éviter la glaciation ?

Outil: modèle de circulation générale 3D LMDZ
couplé océan simple (2 couches, banquise, transport)

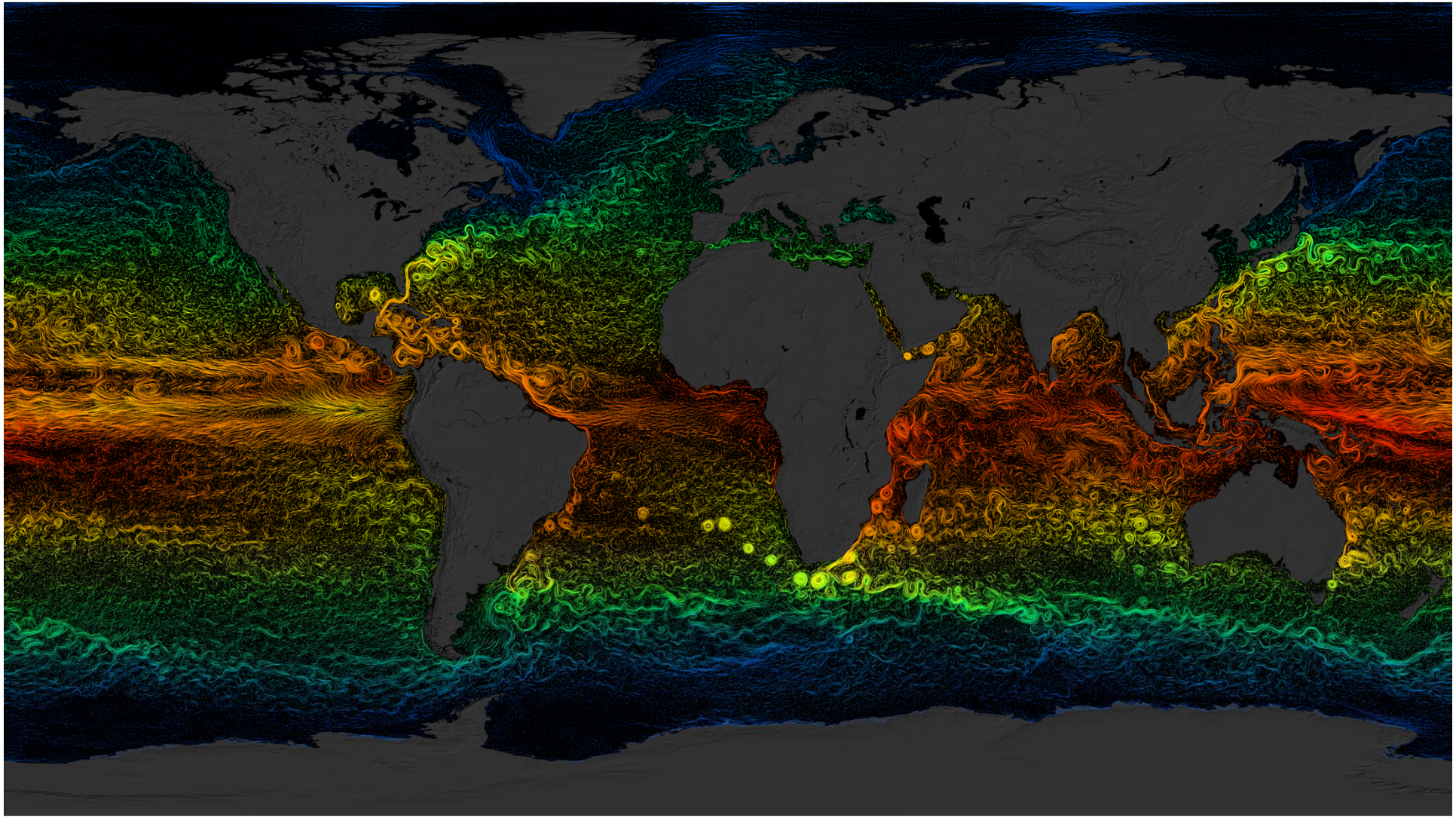


- Modèle « générique » (B. Charnay et al.)
- Modèle « terrestre »

# Pourquoi modèle 3D ?

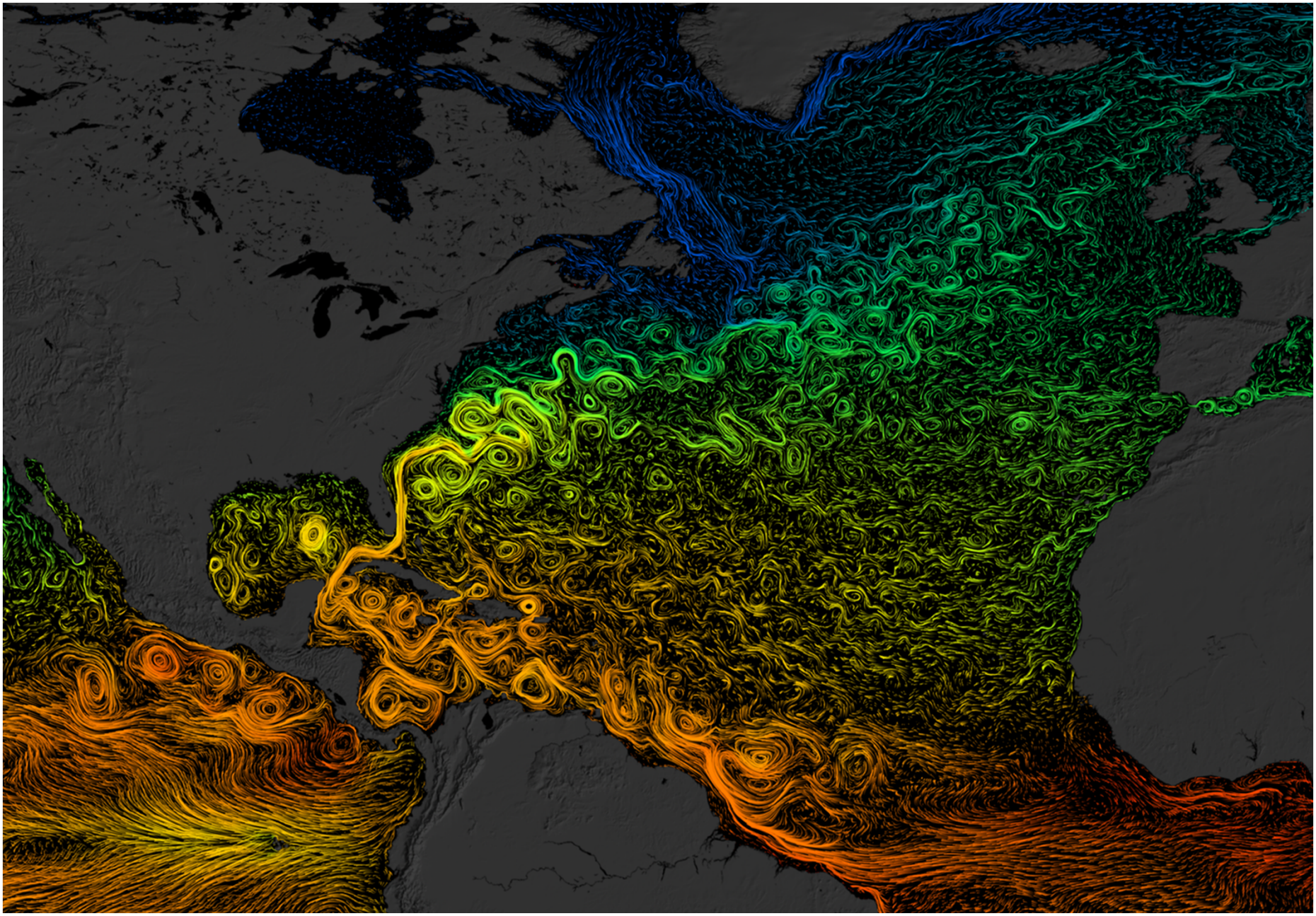
- Rétroaction albédo-glace
- Circulation océanique et atmosphérique
- Rétroactions nuageuses

# Rôle de circulation océanique et transport de chaleur

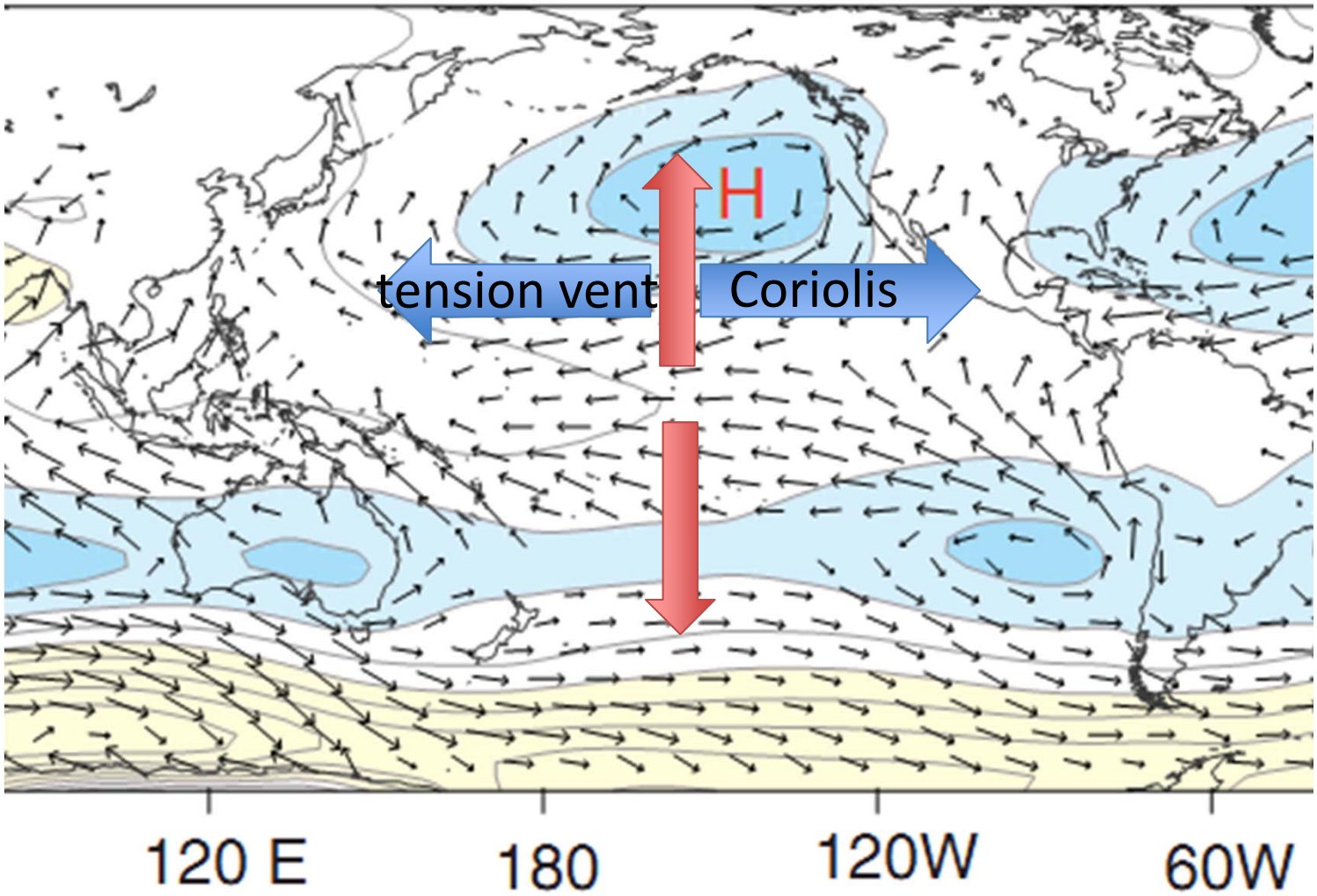


*Courants de surface simulés, résolution 1/12e de degré*

# 1. Tourbillons = diffusion horizontale

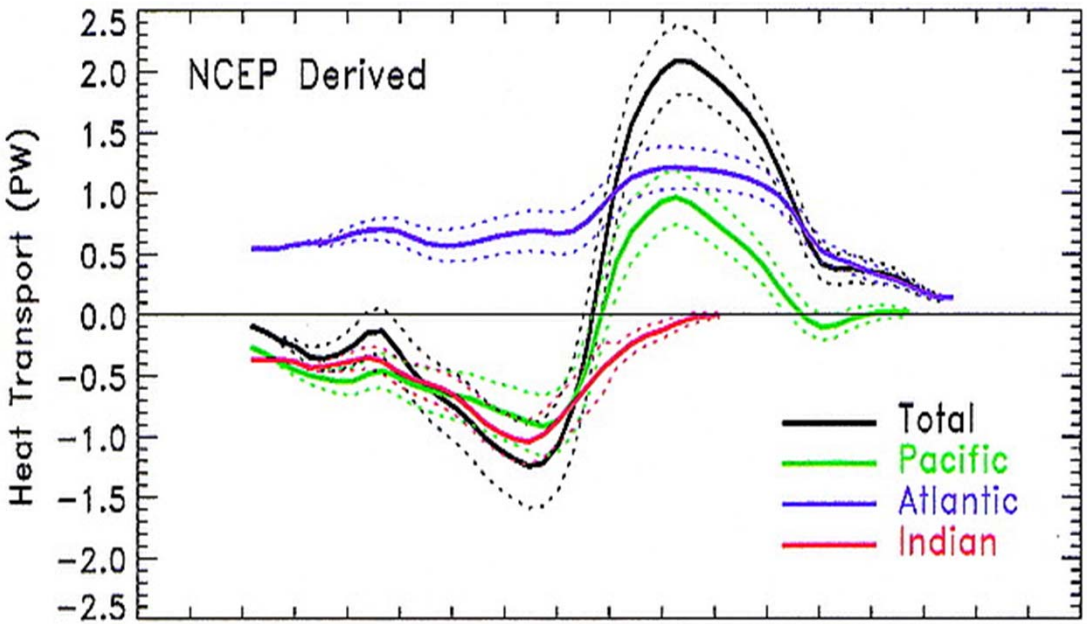


# 2. Transport d'Ekman : cellules verticales



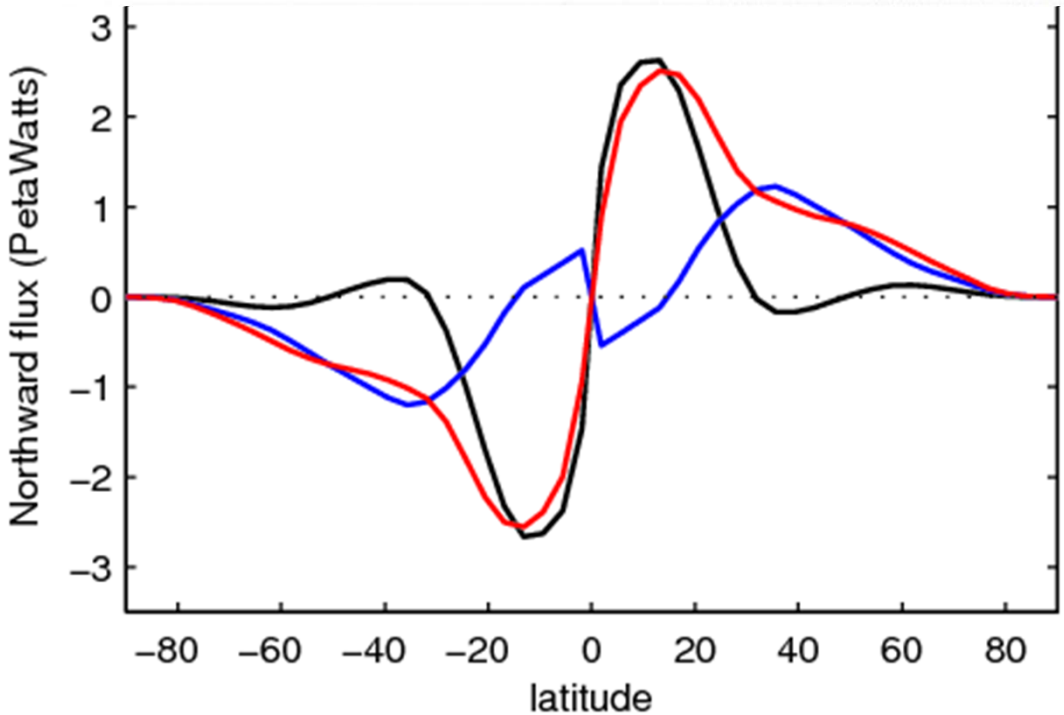

*Vents de surface, JJA*

Transport observé



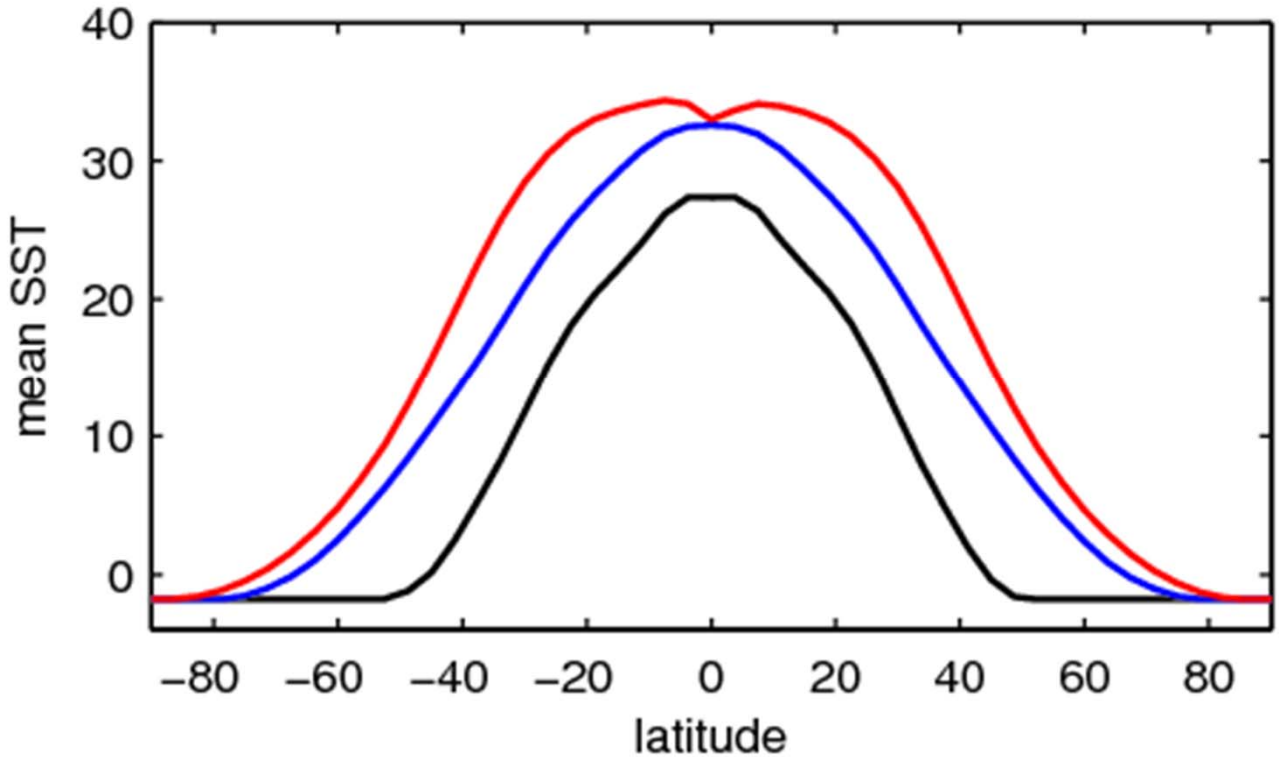

Transport simulé
(sans continents):

Ekman
Diffusion
Transport Total



# Simulations Terre – Océan:

Océan inerte
Diffusion seule
Ekman + diff.



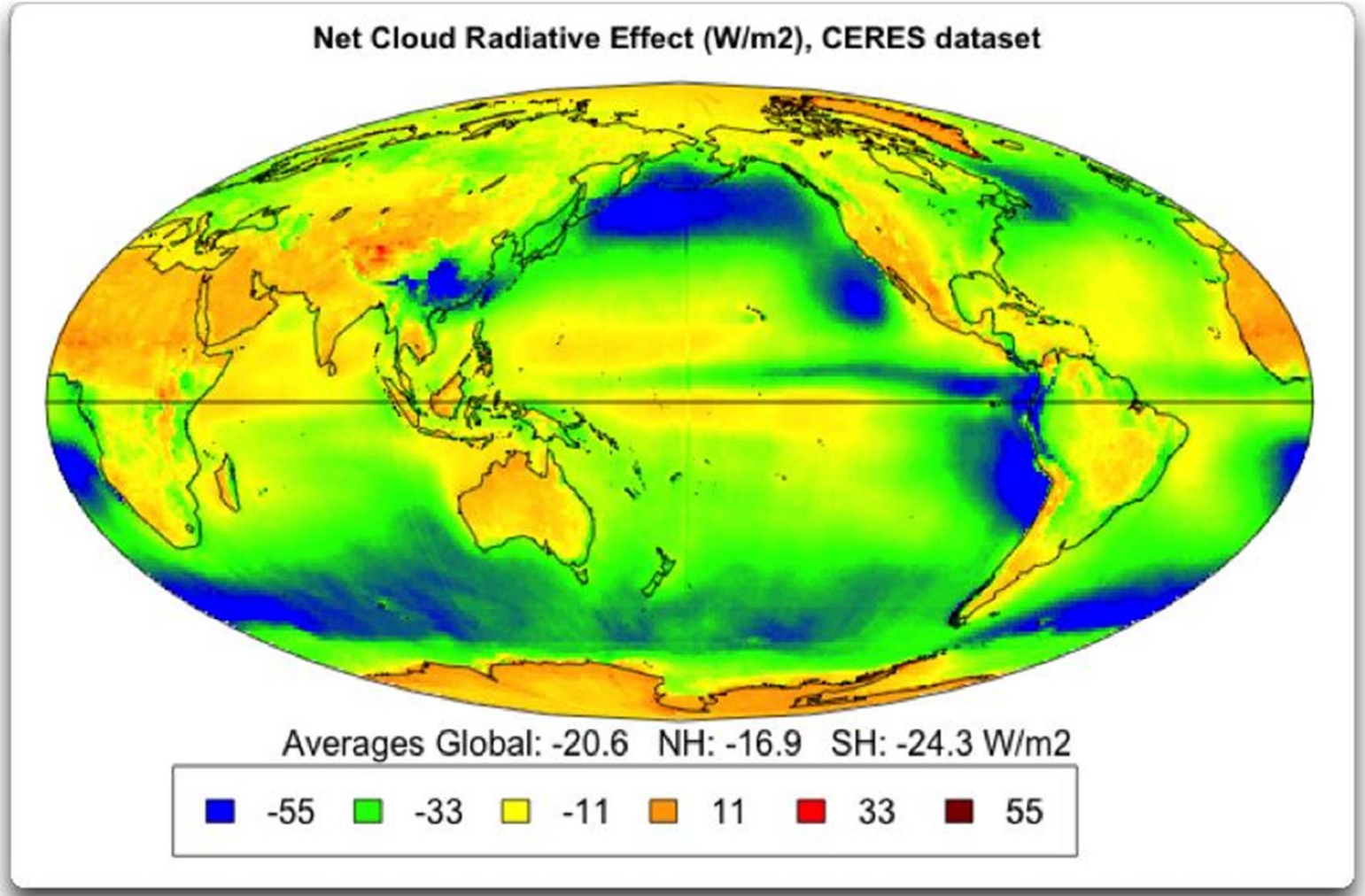

Augmentation du transport de chaleur océanique

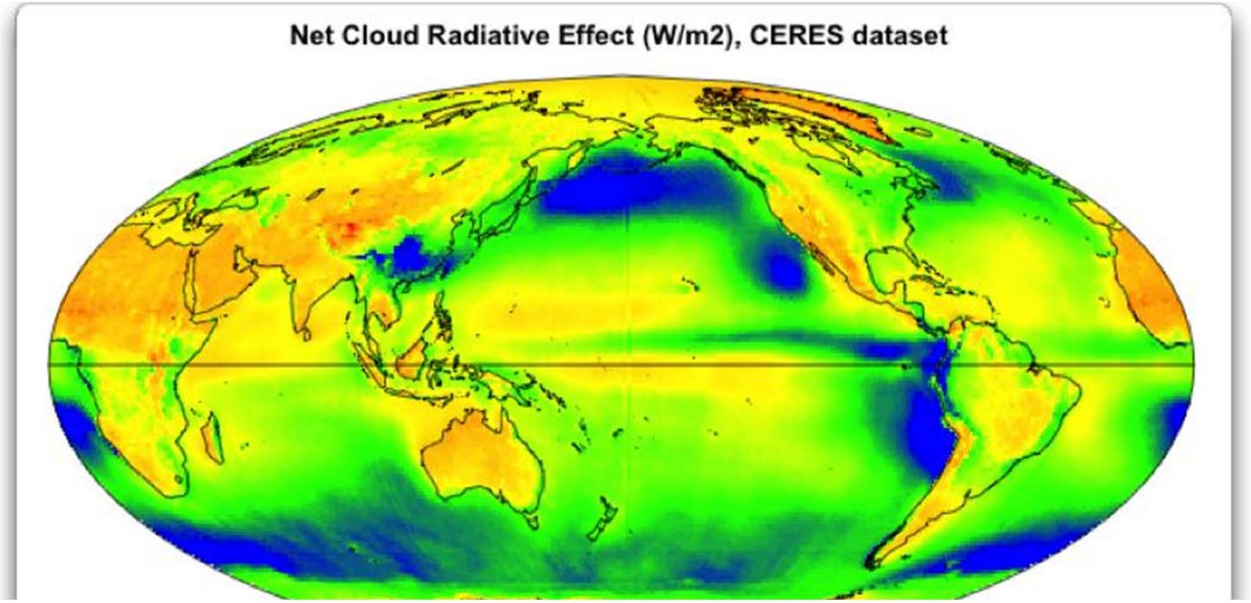
➢ Augmentation de la température *partout*

Cause = rétroaction glace-albédo…

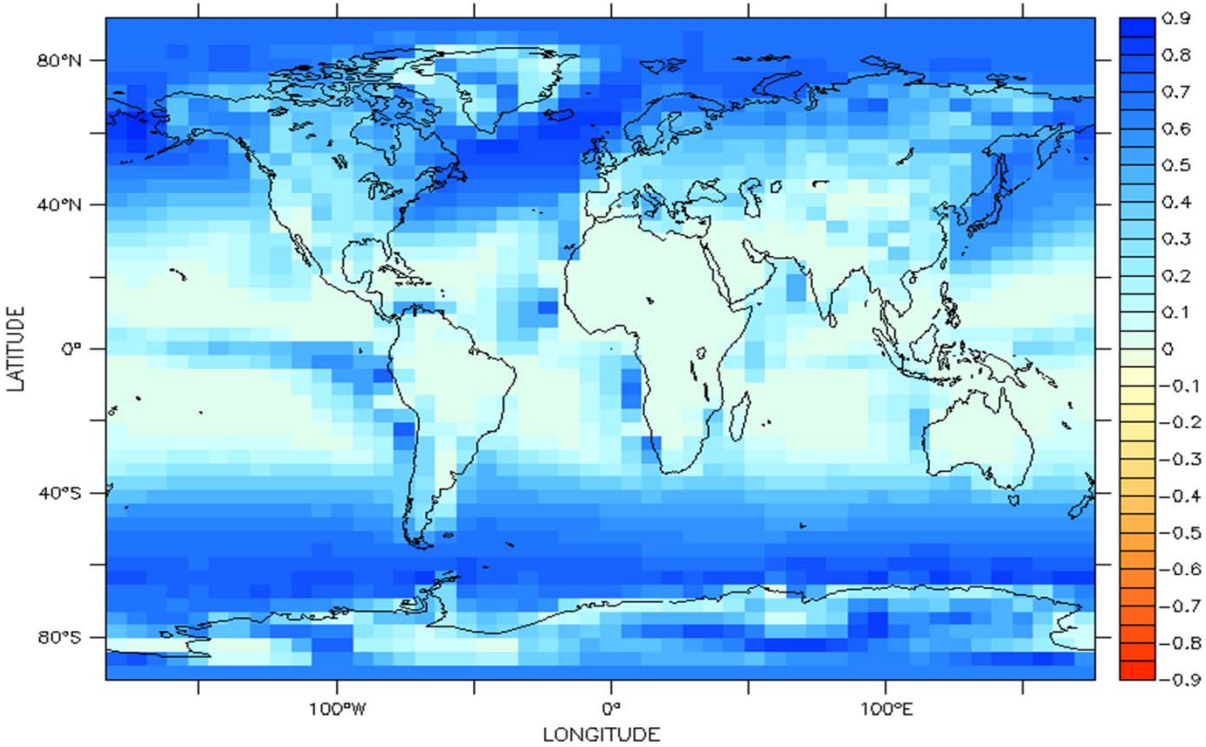
# Rôle des Nuages:

- Albedo ~50 W/m$^2$ (quantité d'eau, taille des gouttes)
- Effet de serre ~30 W/m$^2$ (température du sommet)






Nuages bas (modèle)




Low−level cloudiness (−)

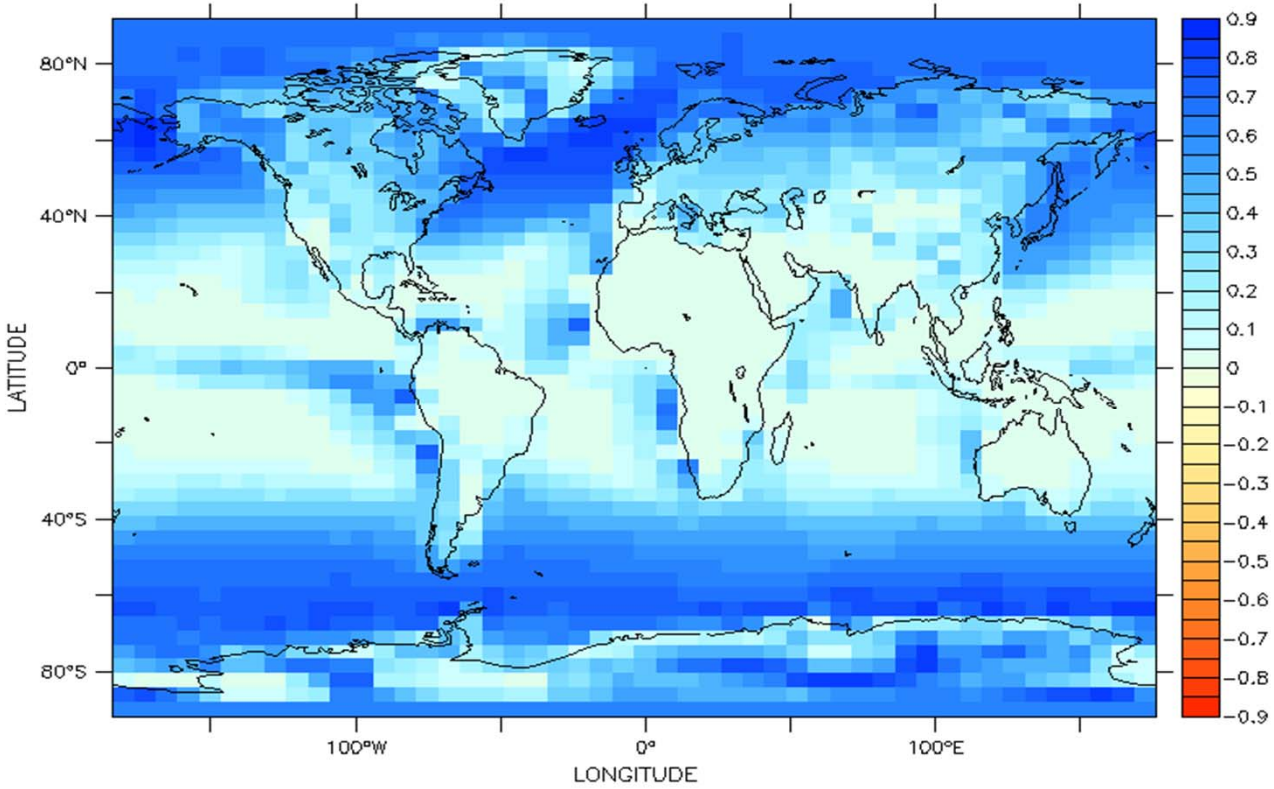
# Changements à l'Archéen:

- Moins de continents ?
- Plus de gaz à effet de serre ($CO_2$, $CH_4$) ?
- Noyaux de condensation ? (Rosing 2010)

- Vitesse de rotation
- Pression totale…

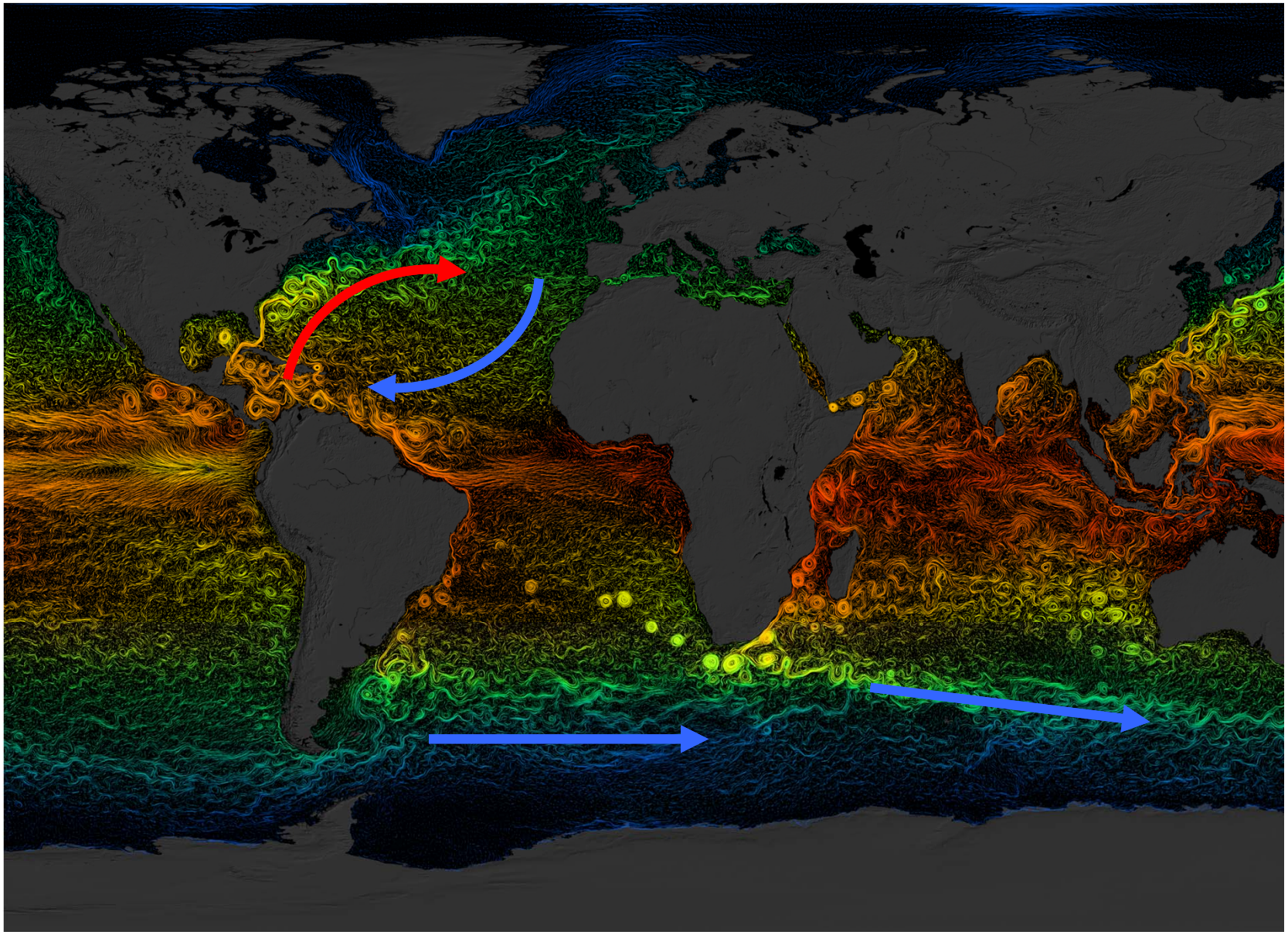
# Effets des continents:

- Cycle carbonates-silicates : diminution du $CO_2$
- Albedo de surface plus élevé: <T> -14° (actuel)
- Moins de nuages bas: <T> +8°



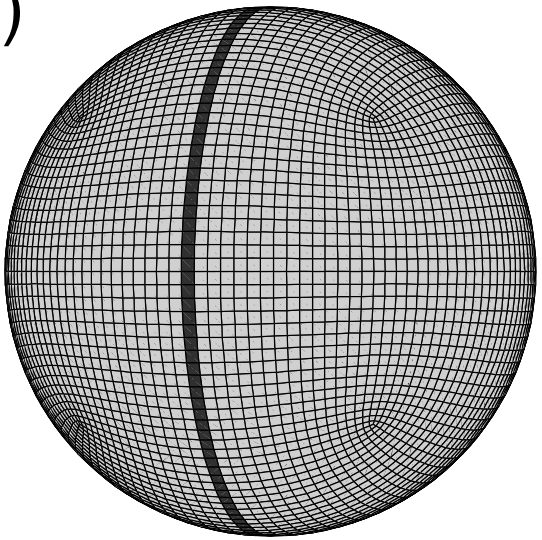

Low−level cloudiness (−)

# Circulation océanique: gyres, thermohaline (mais moins Ekman)

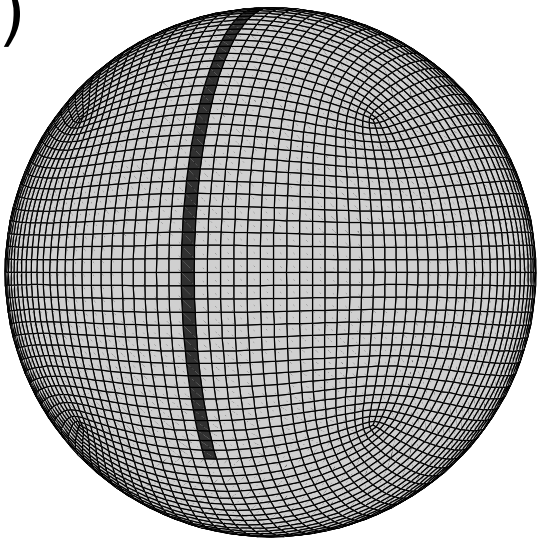


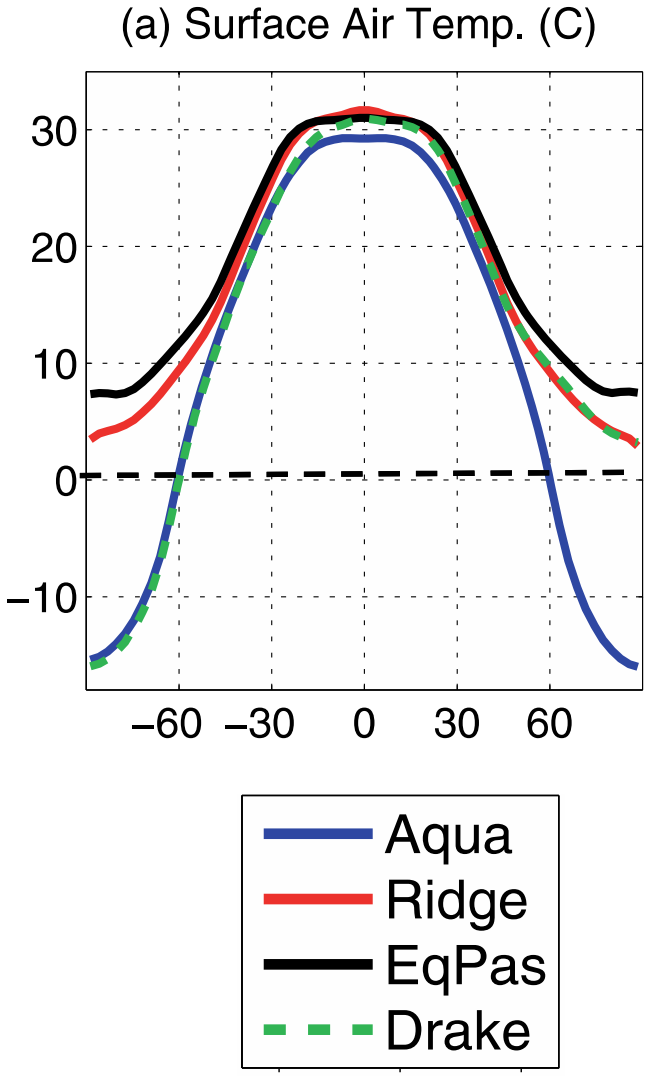
# Impact de « continents-barrières » (Enderton &Marshall 2010)

(b)



(d)





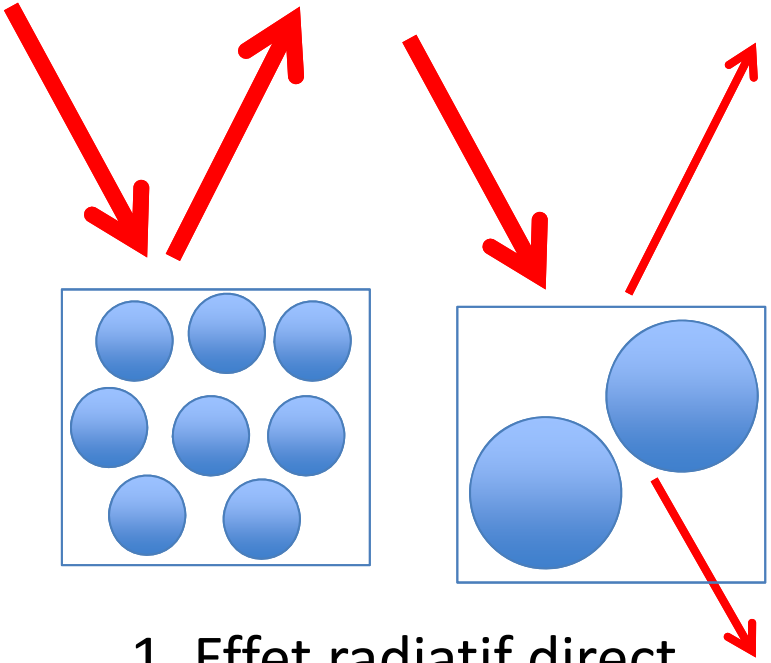
Rôle des continents:

- multiples, potentiellement forts (10+ °C)
- beaucoup de compensations.
- Très dépendants du détail de leur position…

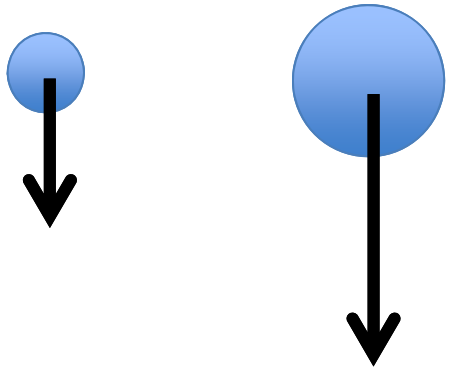
Exemple Terre boule de neige: Continents tropicaux séparés

- Altération des silicates fort (humides, exposés)
- Effet albédo fort (ensoleillement)
- Limite le transport océanique

# Noyaux de condensation et taille des gouttes



1. Effet radiatif direct



2. Effets « cycle de vie »

Moins noyaux = gouttes plus grosses.

- Moins d'eau condensée ??? Signe incertain…

Rosing et al 2010:

- less CCN from biological source in the Archean
- larger liquid cloud droplets (17 µm vs 12 µm today)
- decrease of planetary albedo -> warming (forcing of 21 W/m$^2$)

Precipitation rate: $P \propto r$ (Boucher 95)

Optical depth: $\tau = \frac{2mQ_{ext}}{3\rho r}$

Résultats:

+5° (direct), jusqu'à +12° (total) à 17 µm

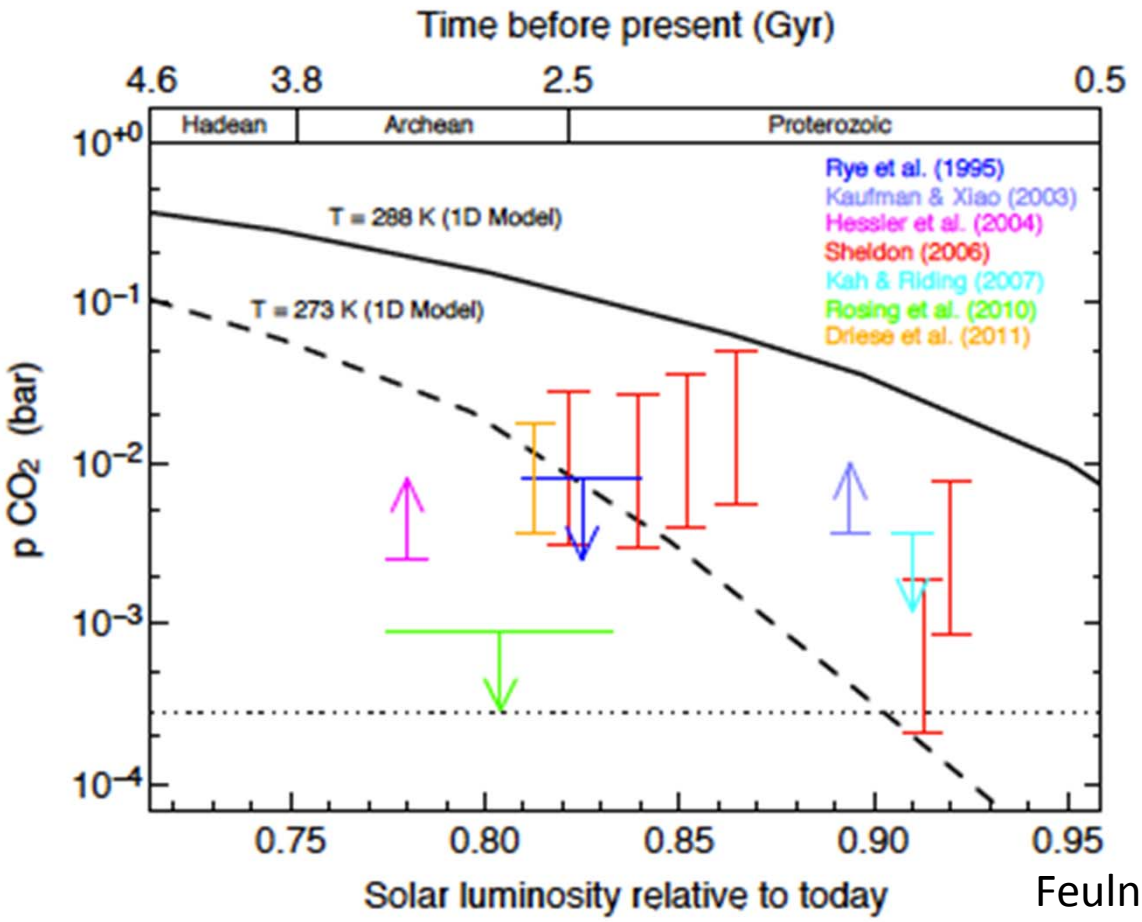
+6,5° (direct), +17° (total) à 25 µm

*Mais:*

- *Très douteux (taille des gouttes, effets cycle vie)*
- *Insuffisant pour stopper glaciation globale (peu efficace climat froid).*

# Contraintes sur la pression partielle de $CO_2$ par analyse minéralogique.

(Analyse des “paléosols”. Exemple: absence de sidérite (FeCO3), présence de magnétite, de Carbonate, etc…)

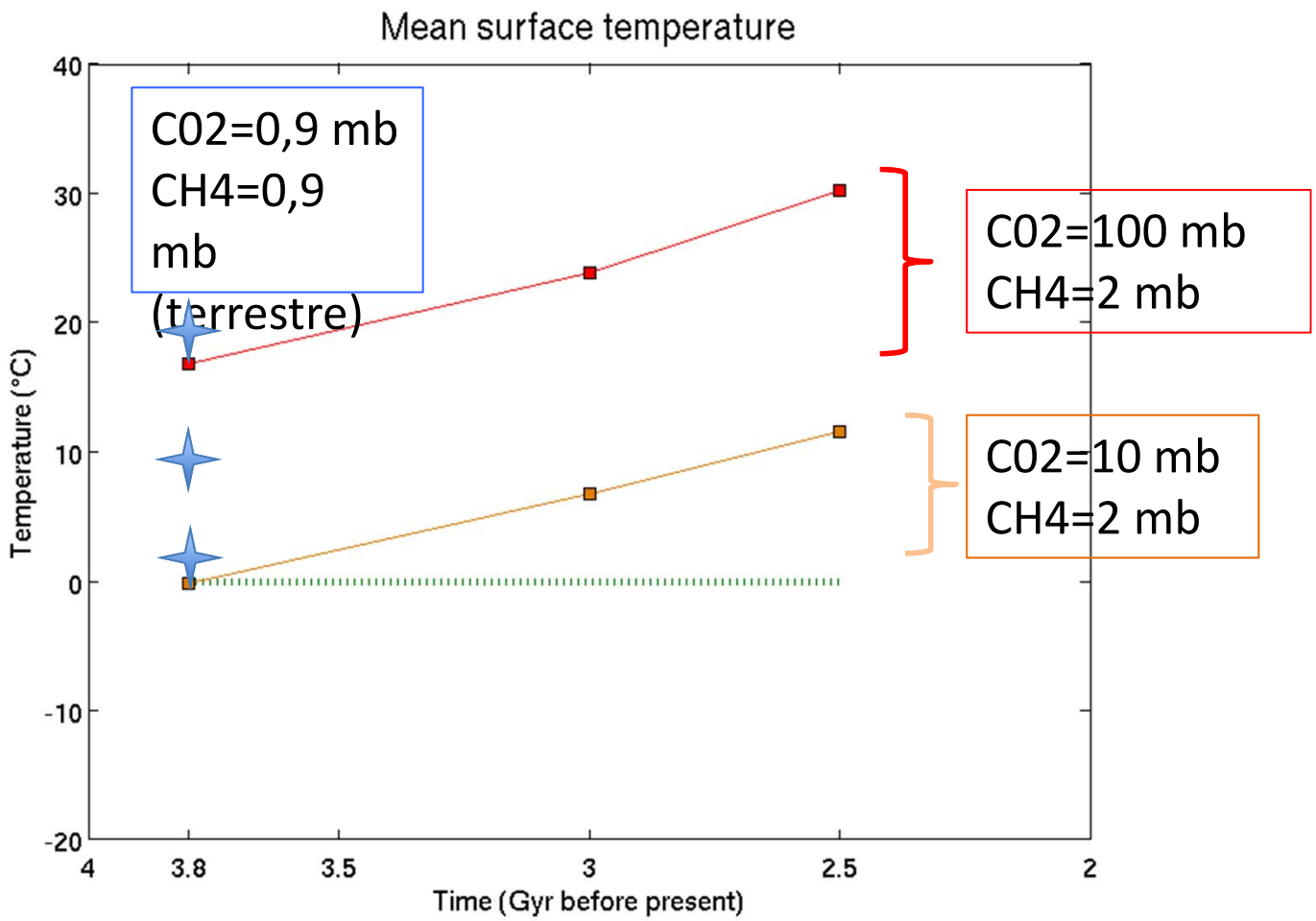



Feulner 2012

Maximal partial pressure of $CO_2$ at 2.5 Ga: 10-20 mb

Maximal haze free $CH_4$:$CO_2$ ratio: 0.1-0.3 (Domagal-Goldman et al 2008; Trainer et al 2006)

# Temperate climates

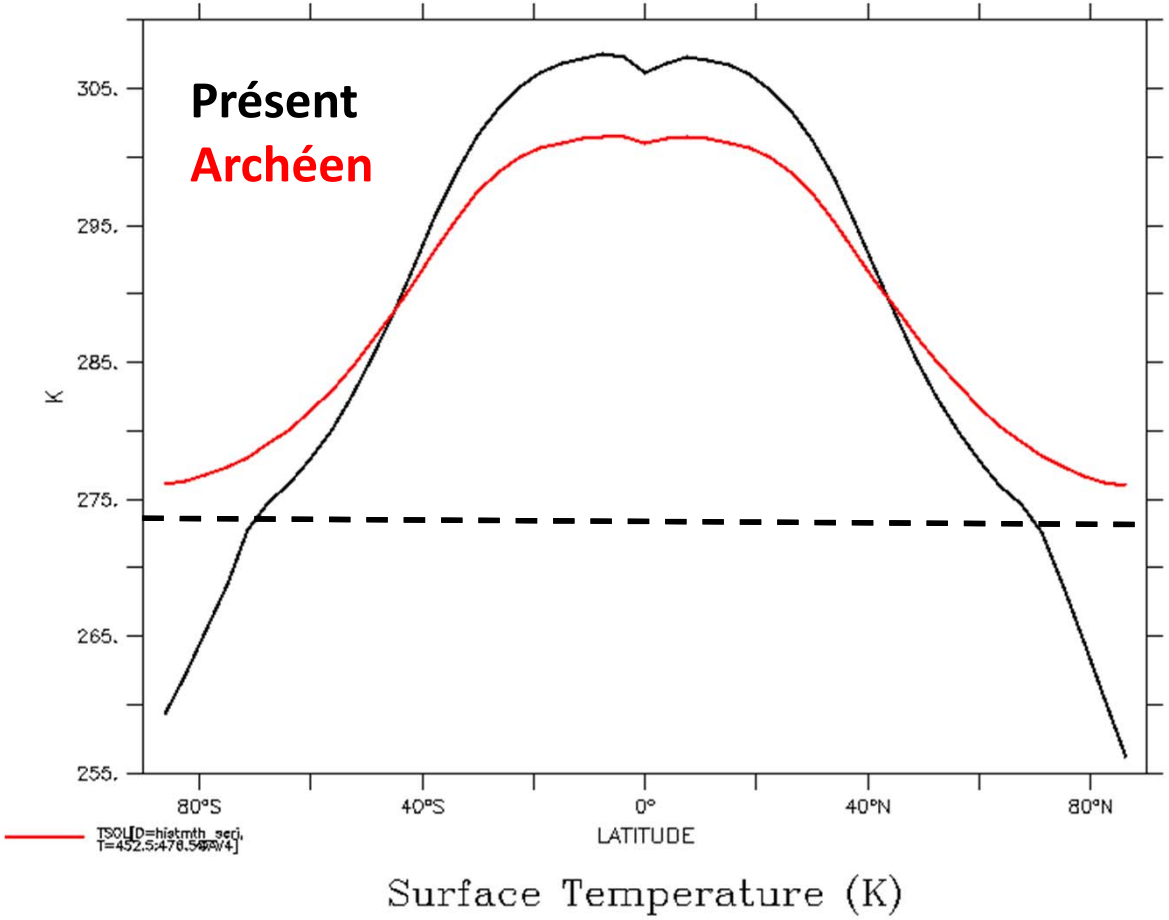



<u>Conditions for temperate climates (10-20°C):</u>

Late-Archean: CO2=10 mb and CH4=2 mb

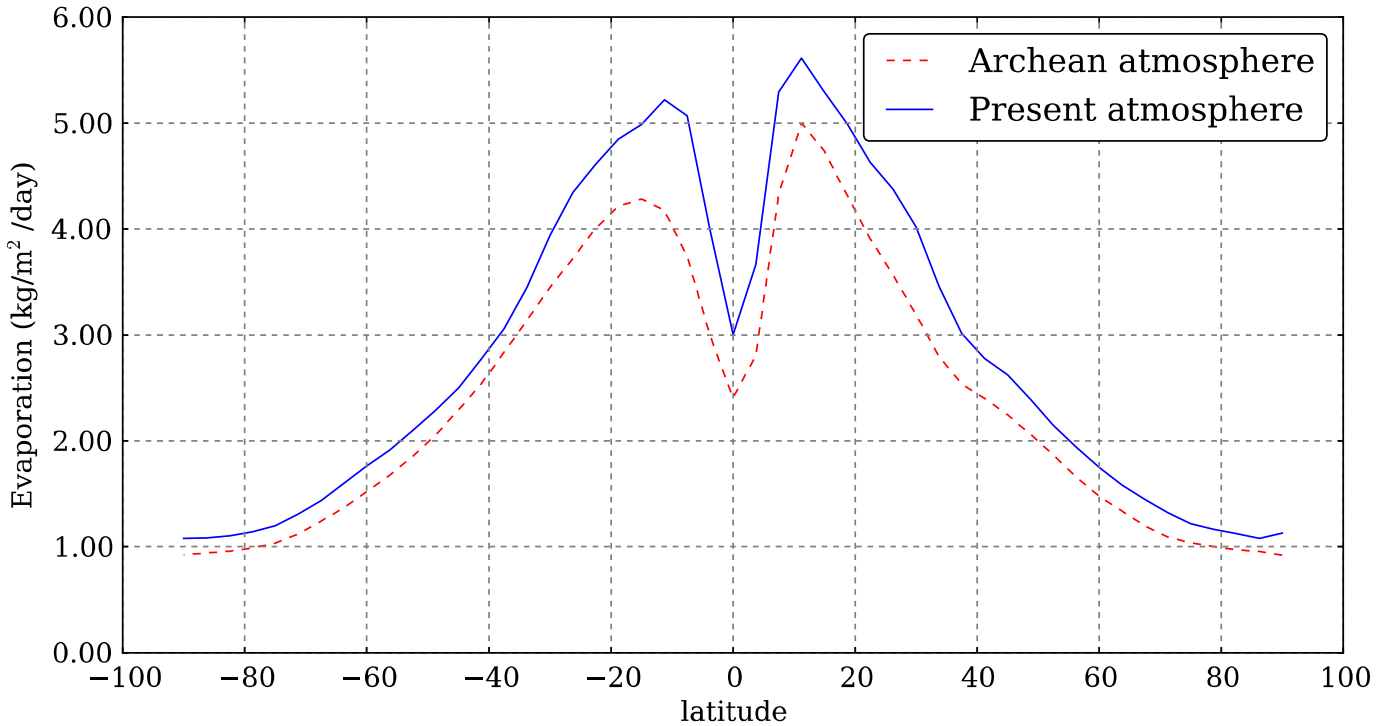
Earlier Archean: CO2=100 mb and CH4=2 mb

Températures moyennes proches, mais climats différents



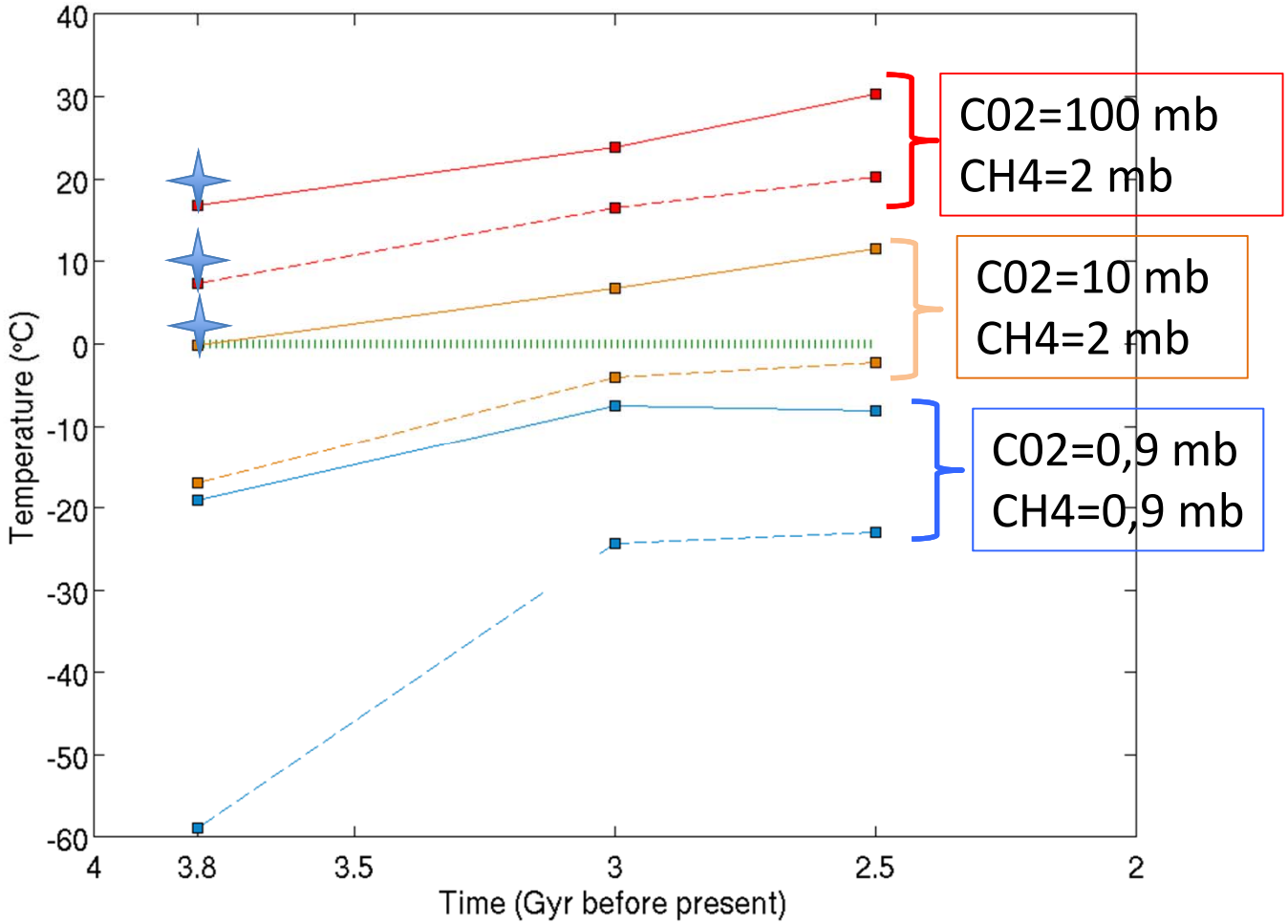

Pôles plus chauds, tropiques plus froides

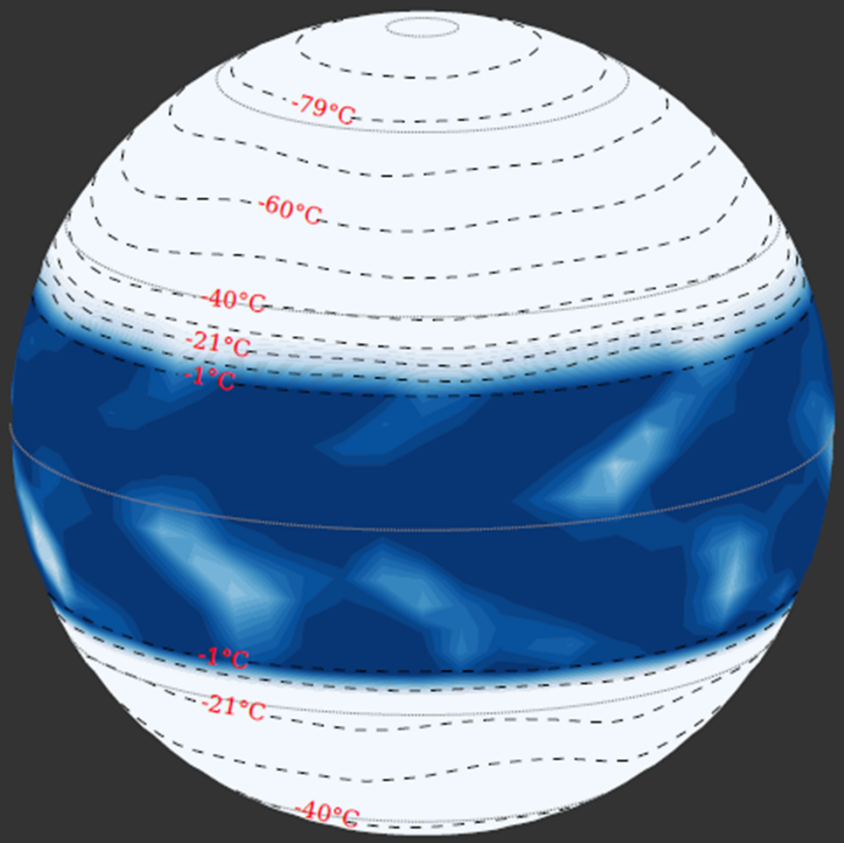
# Rétroactions nuageuses




Absorption du rayonnement solaire plus forte (IR):
Moins d'évaporation et de nuages, albedo diminue.

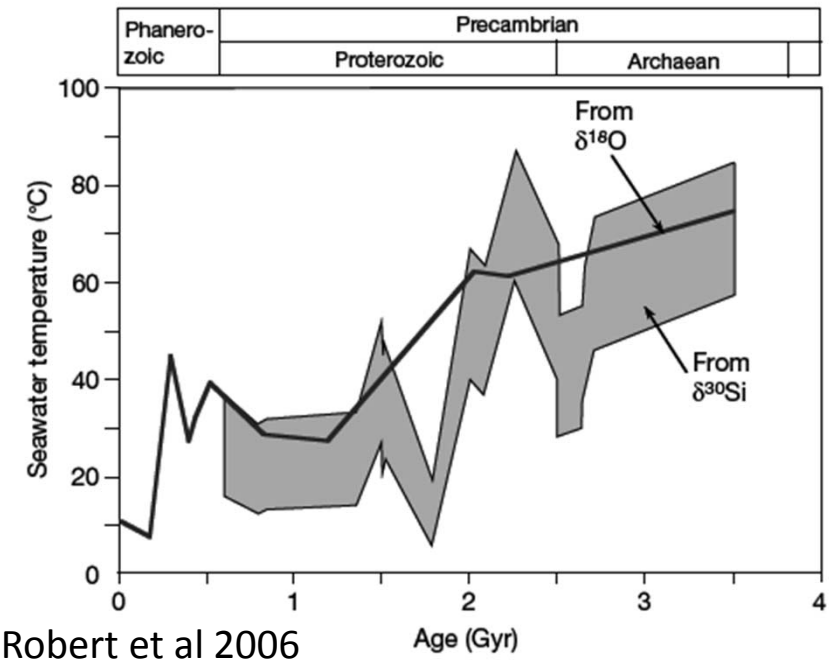
# Climats froids



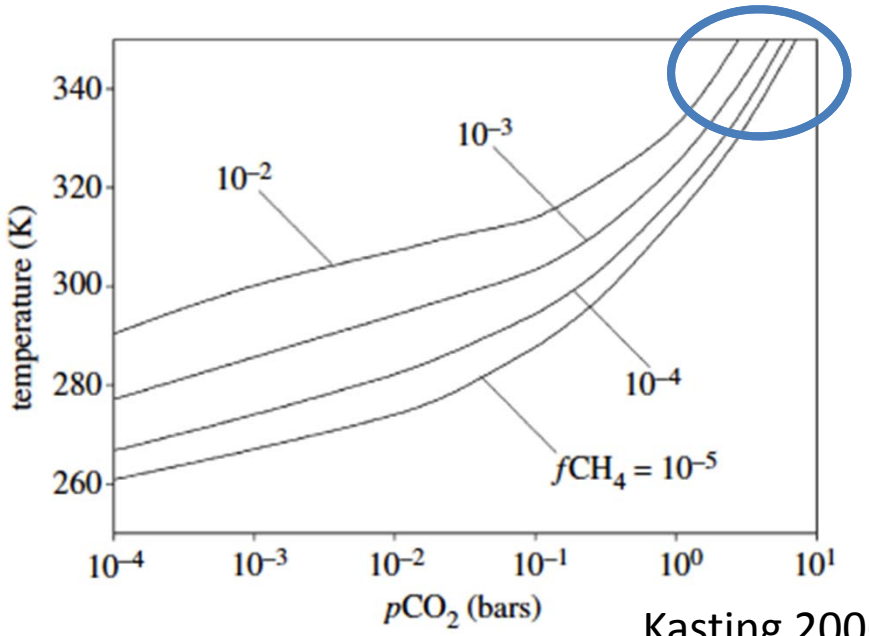



- Bande tropicale libre
- Albedo faible tropiques

# Hot climates




Robert et al 2006



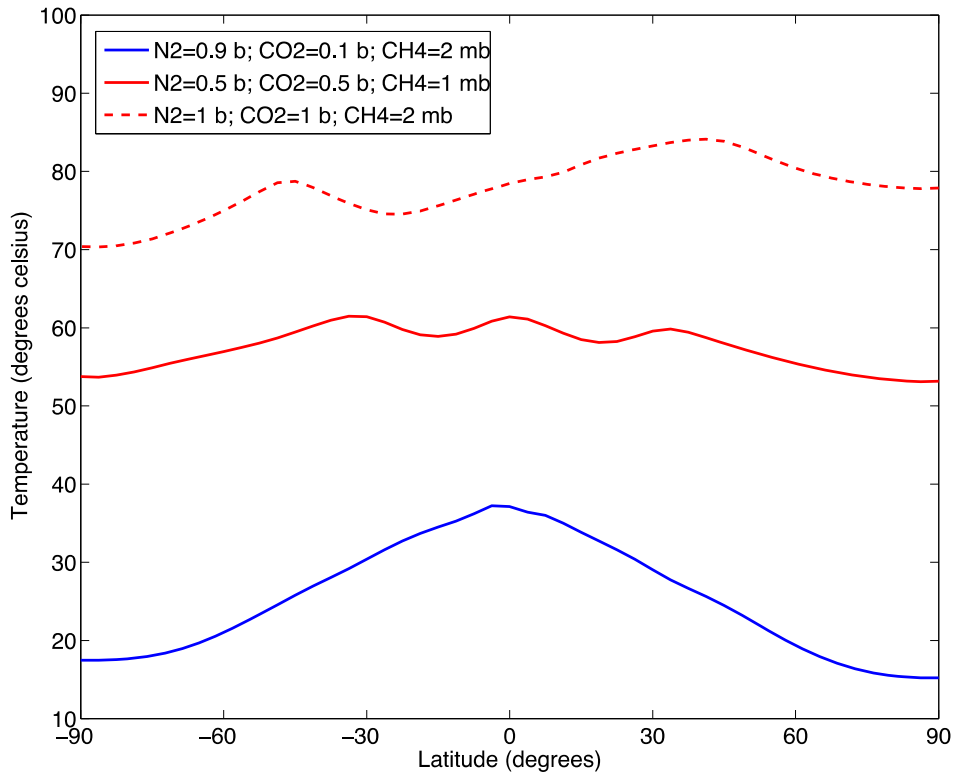

Kasting 2006

<u>For 1D model:</u>

Oceans at 70°C required 2-6 bars of CO2 with methane

# Hot climates

(simulations at 3.8 Ga with r=17 microns and no land)




| Composition | <Tsurf> | Precipitable water | Albedo |
|---|---|---|---|
| $N_2$=0.9 b; $CO_2$=0.1 b; $CH_4$=2 mb | 28.5 °C | 42 kg/m$^2$ | 0.25 |
| $N_2$=0.5 b; $CO_2$=0.5 b; $CH_4$=1 mb | 59 °C | 310 kg/m$^2$ | 0.24 |
| $N_2$=1 b; $CO_2$=1 b; $CH_4$=2 mb | 79 °C | 860 kg/m$^2$ | 0.24 |

# Conclusions

Rôle des continents:

- multiples, potentiellement forts (10+ °C), beaucoup compensations.
- Très dépendants du détail de leur position…

Autres effets:

Taille des gouttes, rotation, pression… fluctuations 5-10°C possibles

Rétroactions nuageuses importantes et complexes

Soleil jeune:

- Climats tempérés possibles avec GHG modérés.
- Climats froids (T < 0°C) gardent ceinture tropicale: <T> mesure pas adaptée ? (limite de glace…)
- Températures très chaudes atteintes avec ~1 bar de $CO_2$