

24^e Congrès Général de la Société Française de Physique Orsay, du 3 au 7 juillet 2017

Sessions « Sciences et Société »
Commission Energie et environnement

Les climats de la Terre : Dans quels
contextes l'Homme va-t-il changer le climat ?

Gilles Ramstein
Chercheur au Laboratoire des Sciences du
Climat et de l'Environnement



- Introduction
- Variabilité climatique du dernier million d'années: des cycles glaciaires/interglaciaires aux évènements abruptes.
- Instabilités climat/cryosphère pour l'Anthropocène
- Conséquences d'une fonte accélérée du Groenland

Contexte de l'expérience anthropocène : I

À l'échelle géologique, l'utilisation massive des combustibles fossiles : un grand feu d'artifice



De plus, le contexte est celui d'un monde froid, avec des calottes de glace dans chaque hémisphère



Contexte de l'expérience anthropocène : II

Depuis 10 000 ans, la population s'est sédentarisée et a colonisé le monde pendant la période stable de l'holocène.

La population est environ de 7,3 milliards en 2015 et atteindra environ 9,3 milliards en 2050.

Une partie importante de la population mondiale vit près des côtes.

Population mondiale en 2000

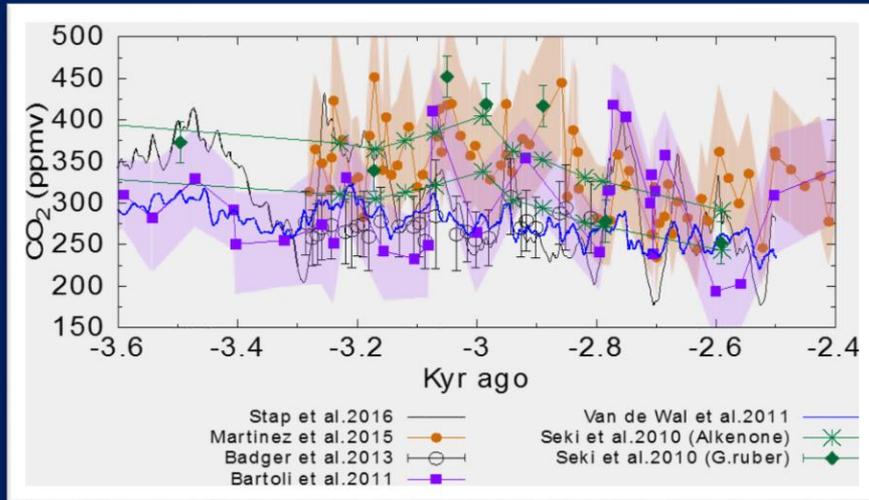


Population mondiale en 2050



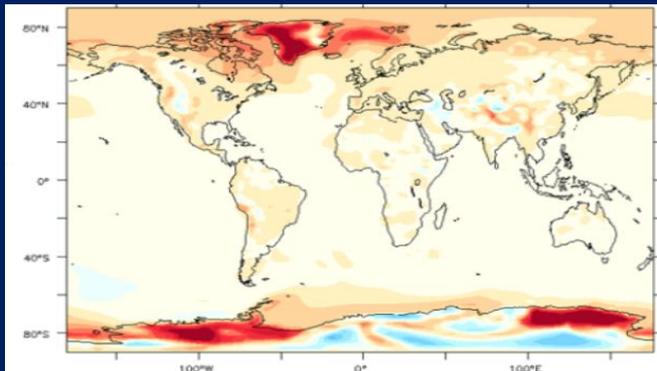
Analogie avec le Pliocène moyen ?

Il y a 3 millions d'années, dernière période chaude avec une teneur en CO₂ atmosphérique de 400 ppm

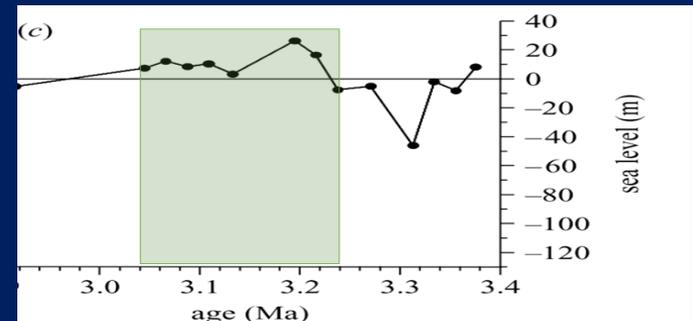


1. Différentes reconstructions du CO₂ atmosphérique au Pliocène moyen

2. Anomalie de température annuelle entre le Pliocène moyen (3.3-3.0 Ma) et le préindustriel, PLIOMIP pCO₂ ~ 405 ppm. (Contoux et al. 2015)

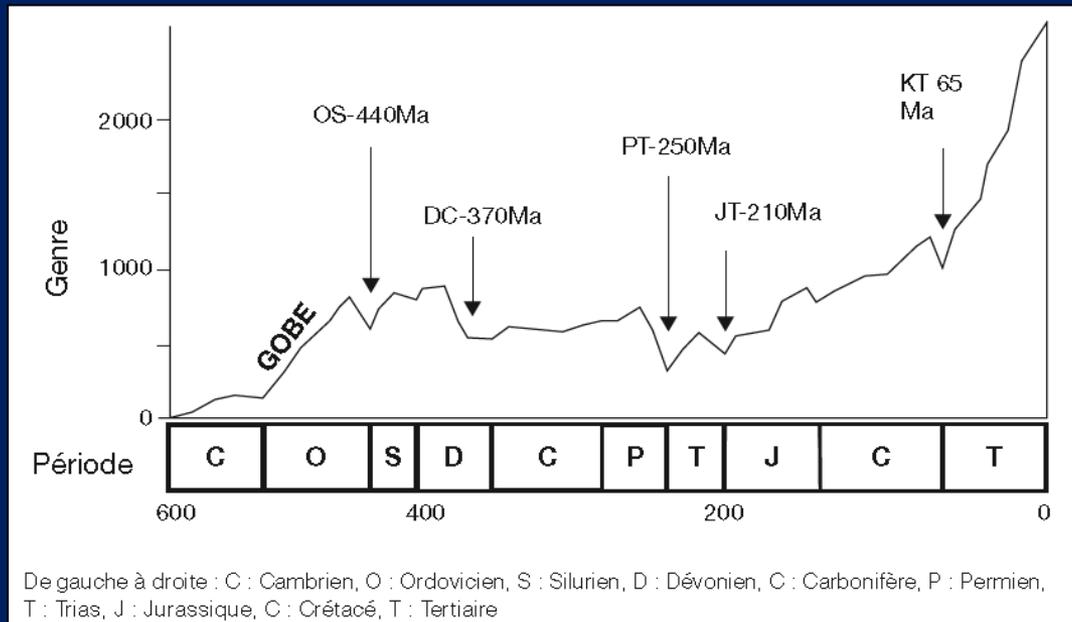


3. La différence de niveau marin entre la phase stable et chaude du Pliocène moyen (3.3-3.0 Ma, 405 ppm de CO₂) et la période actuelle est de 10 à 15 m



Une autre analogie ...

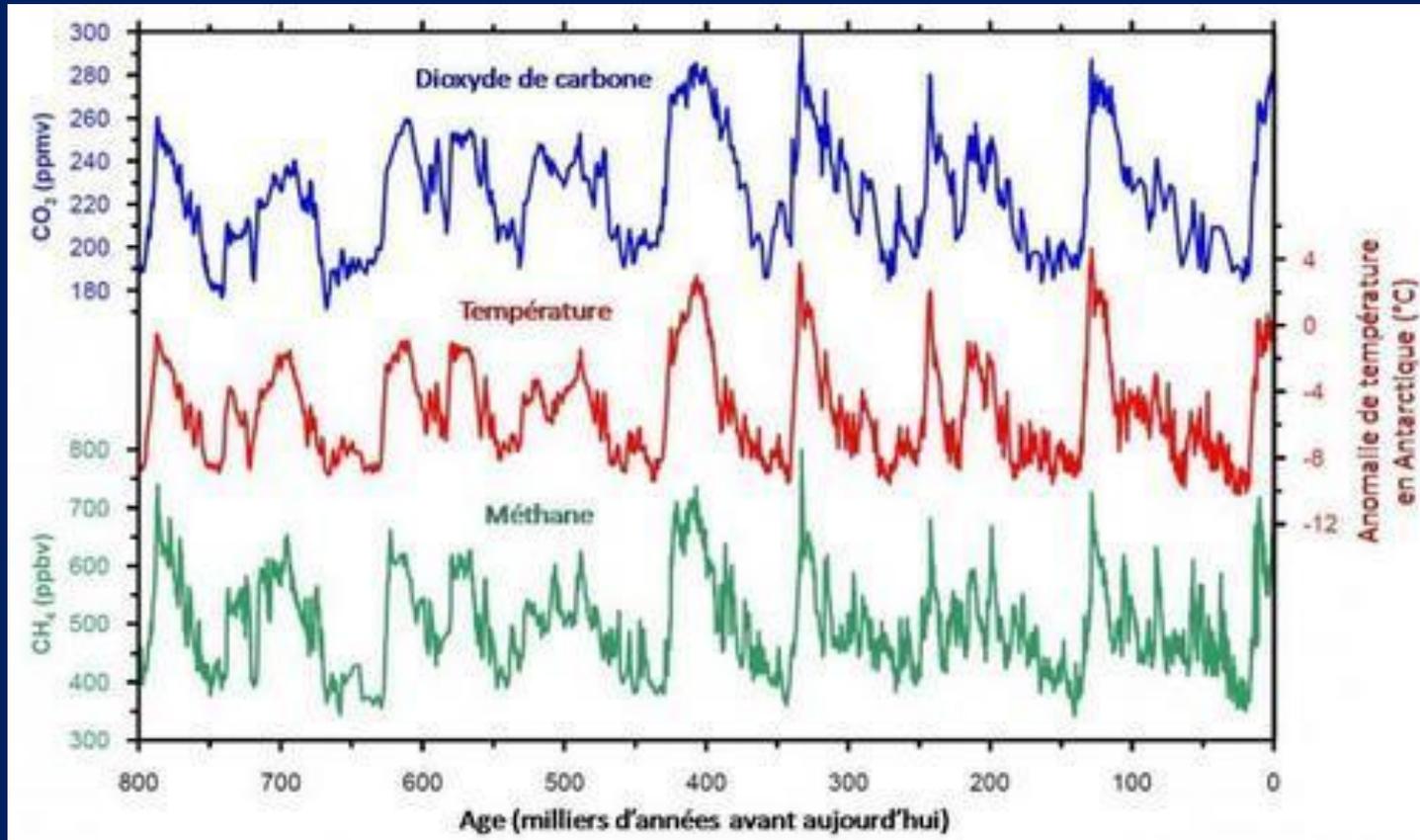
La transformation du climat et de l'environnement s'effectuent sur deux siècles de manière fulgurante, avec une perte de biodiversité.



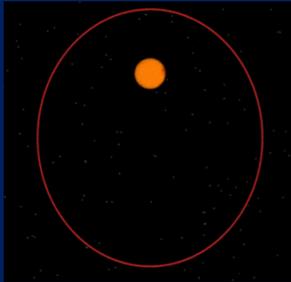
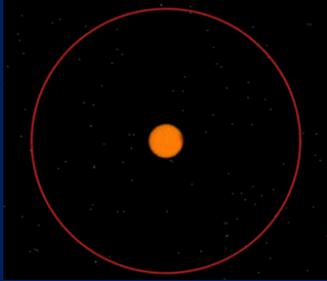
Ramstein. Voyage à travers les climats de la Terre. Odile Jacob. 2015.

La reconstitution de l'évolution du nombre de genres, au cours du Phanérozoïque (540 millions d'années) qu'a développée Sepkoski, à partir des données des fossiles marins et invertébrés, montre clairement des fluctuations, certaines majeures correspondent aux cinq grandes extinctions.

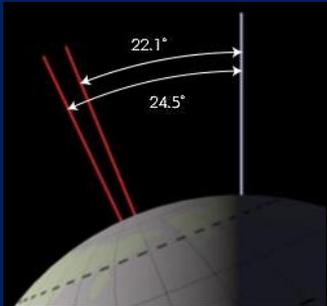
Reconstructions des températures et de la teneur en gaz à effet de serre issues des forages en Antarctique



Le temps des variations orbitales : de 10 000 à 400 000 ans



L'excentricité de la Terre varie entre des valeurs très proches de 0 et une valeur maximum de 0.06, avec des fréquences de 400 000 et 100 000 ans

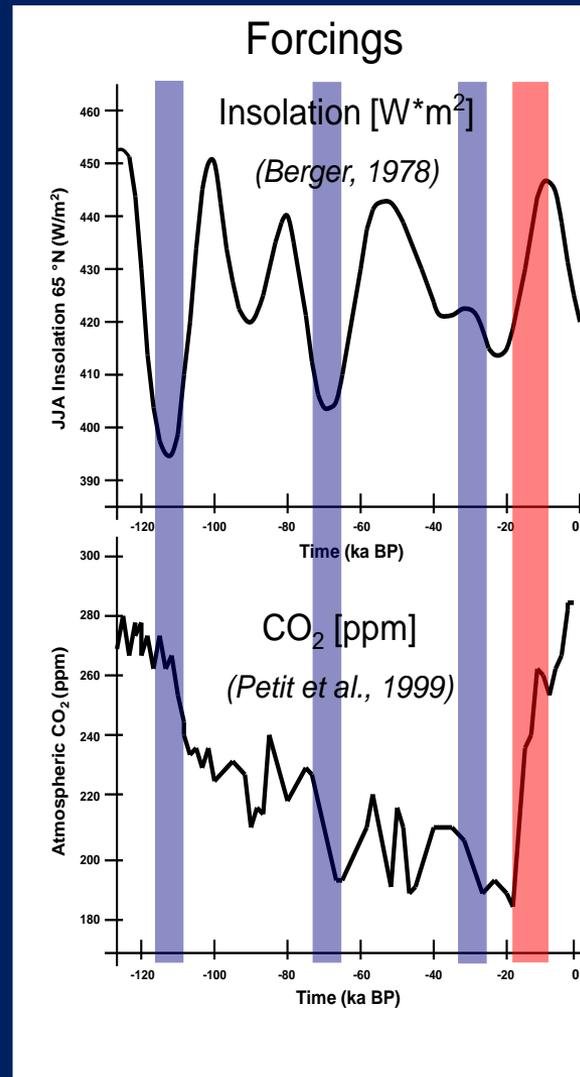


Les équinoxes et les solstices se déplacent sur la trajectoire elliptique avec une période d'environ 20 000 ans



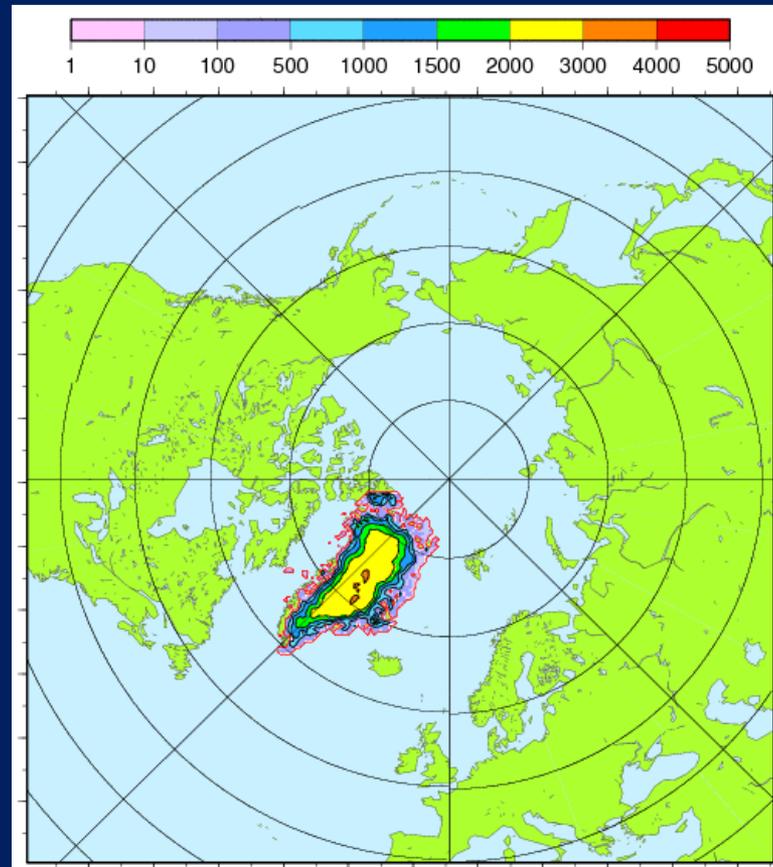
L'obliquité varie entre 22.1° et 24.5° avec une fréquence de 41 000 ans

Les deux paramètres qui pilotent l'évolution de la calotte de glace



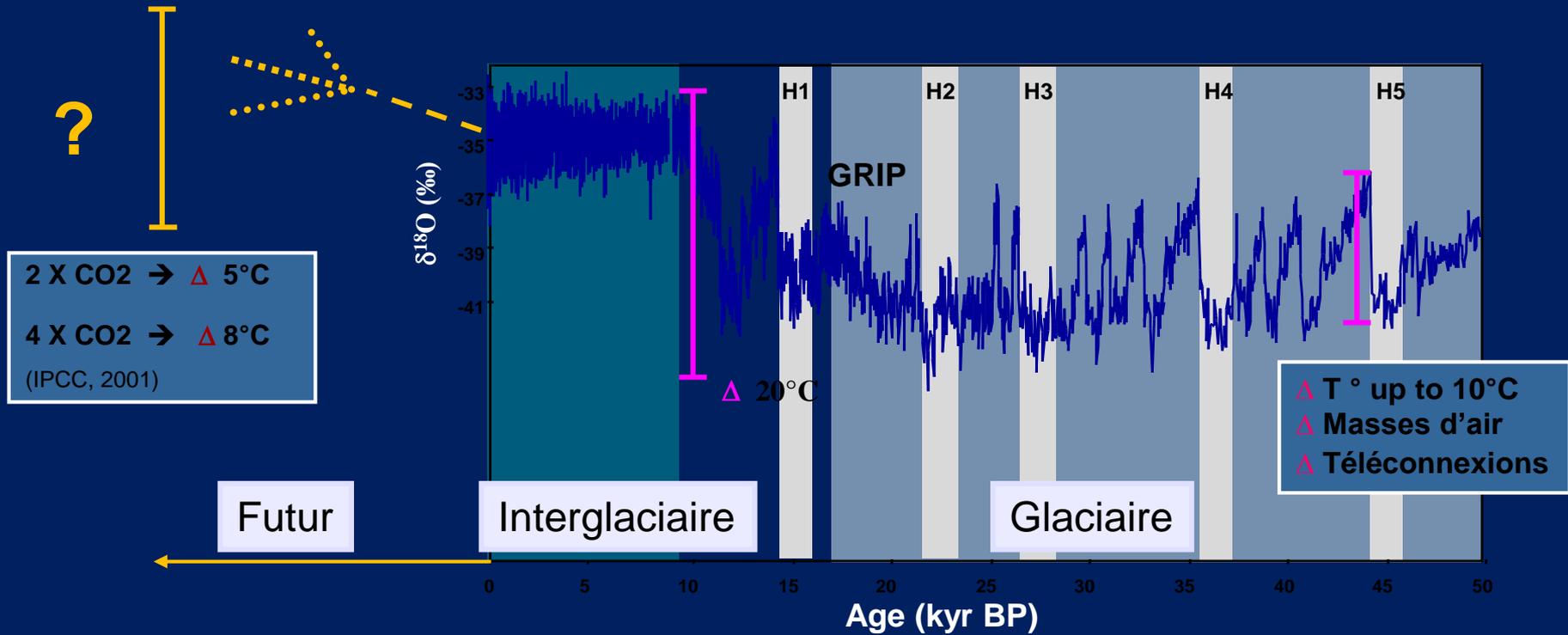
NOUVEAU CYCLE: MIS₅ À PRÉSENT

Cycle Gremlins
 $t = -126000$ ans



Bonnelli et al, Clim past 2009

Stabilité du système climatique à l'échelle du millénaire



Déstabilisation des calottes Groenlandaise et Antarctique

Calottes Groenlandaise et Antarctique stables

Calottes Laurentide et Fennoscandienne instables

?

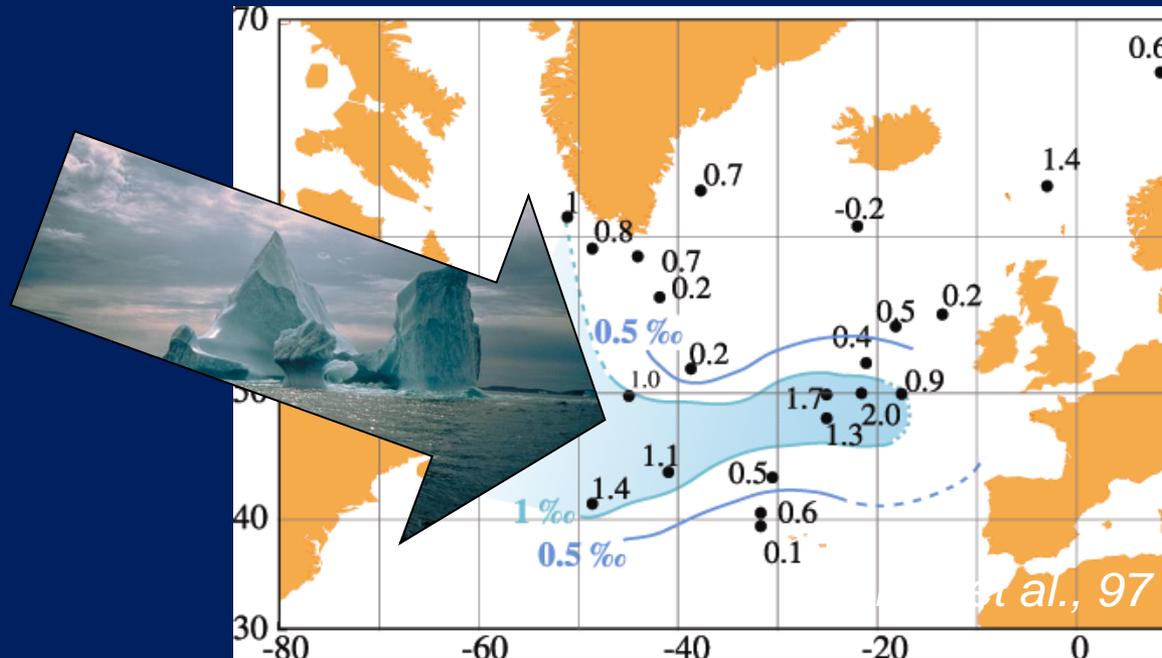


Oscillations de faible amplitude



Changements climatiques rapides

Evènement de Heinrich : une fonte catastrophique d'icebergs en Atlantique nord

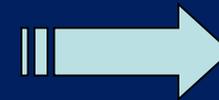


Mécanisme :

Fonte
d'icebergs



Apport d'eau
douce à l'océan
Atlantique



Arrêt de la
circulation
thermohaline

Questions posées :

Durée de l'événement ?

Volume d'icebergs émis ?

Scénarios d'évolution de température et du niveau marin

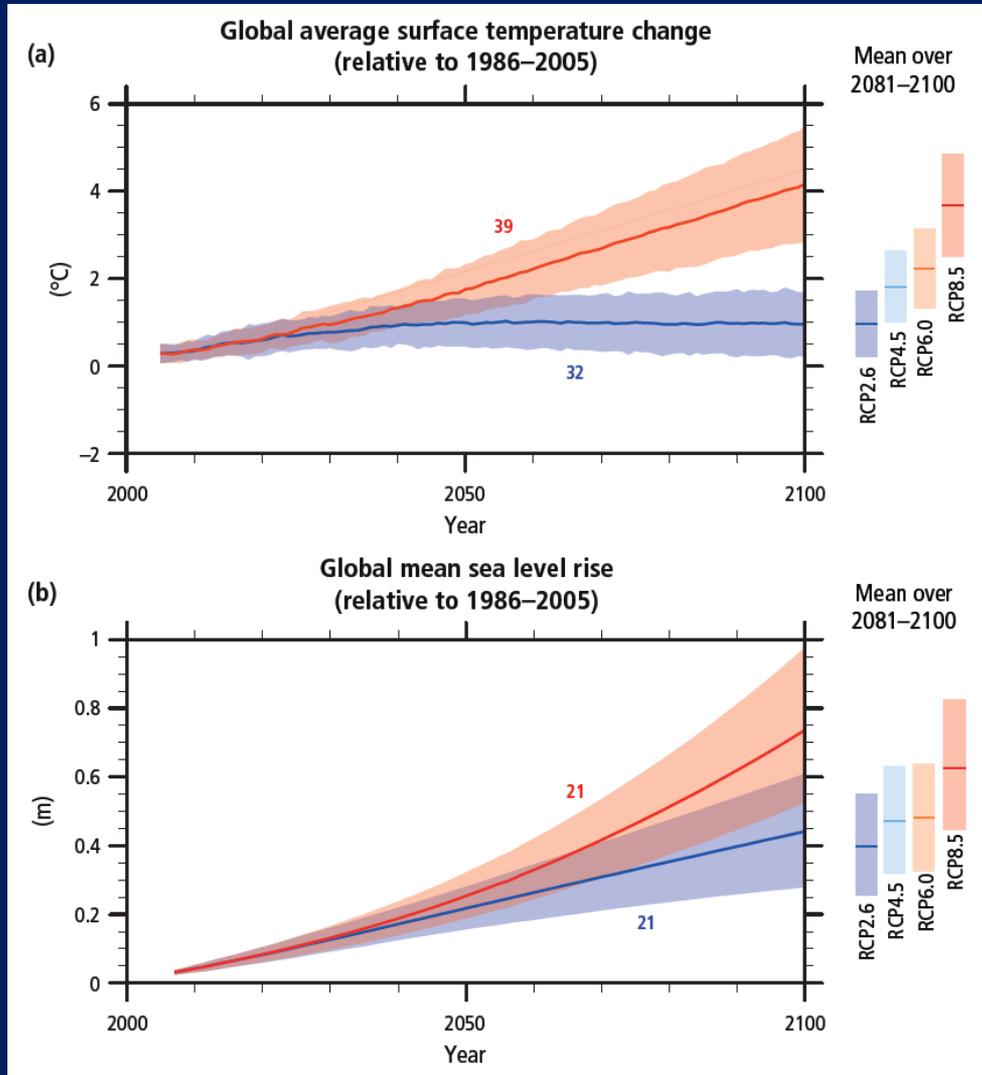
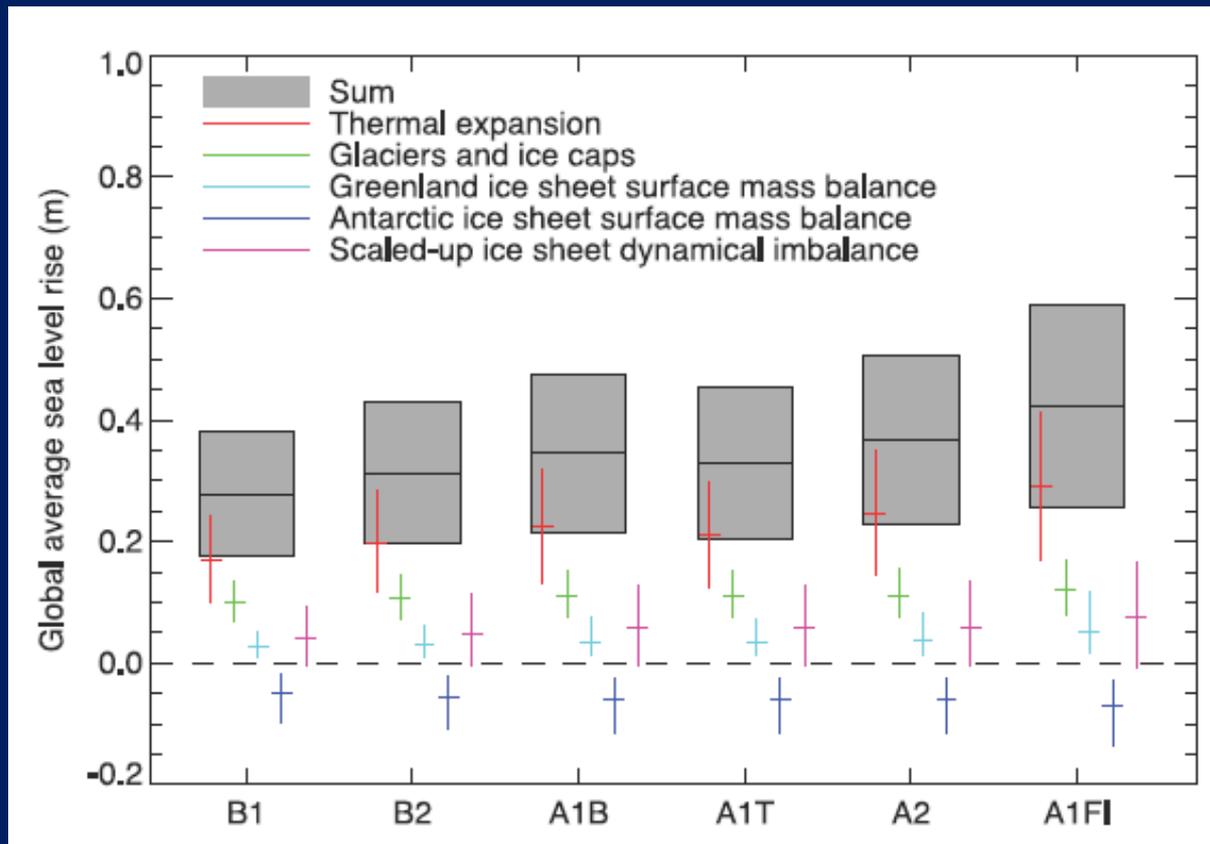


Figure 6 du résumé à l'intention des décideurs 5ème rapport du GIEC

ESTIMATION DE LA HAUSSE MOYENNE DU NIVEAU MARIN SELON 6 SCÉNARIOS (AR4 IPCC 2007)



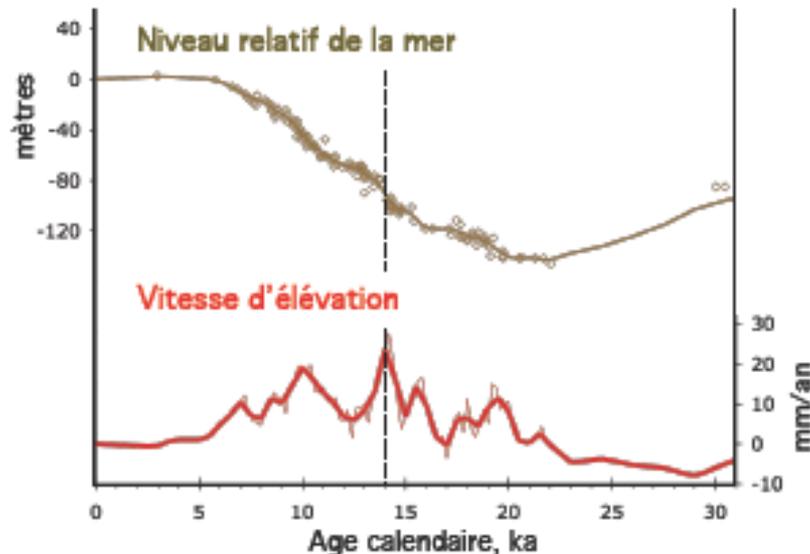
Reconstruction du niveau marin depuis 30 000 ans

Variations du volume de l'océan

Les variations passées du niveau marin:

- donnent accès à la vitesse de fonte des glaces,
- permettent de calibrer les modèles de déformation de la croûte terrestre.

⇒ Nouvelles bases de données internationales



Dernière déglaciation

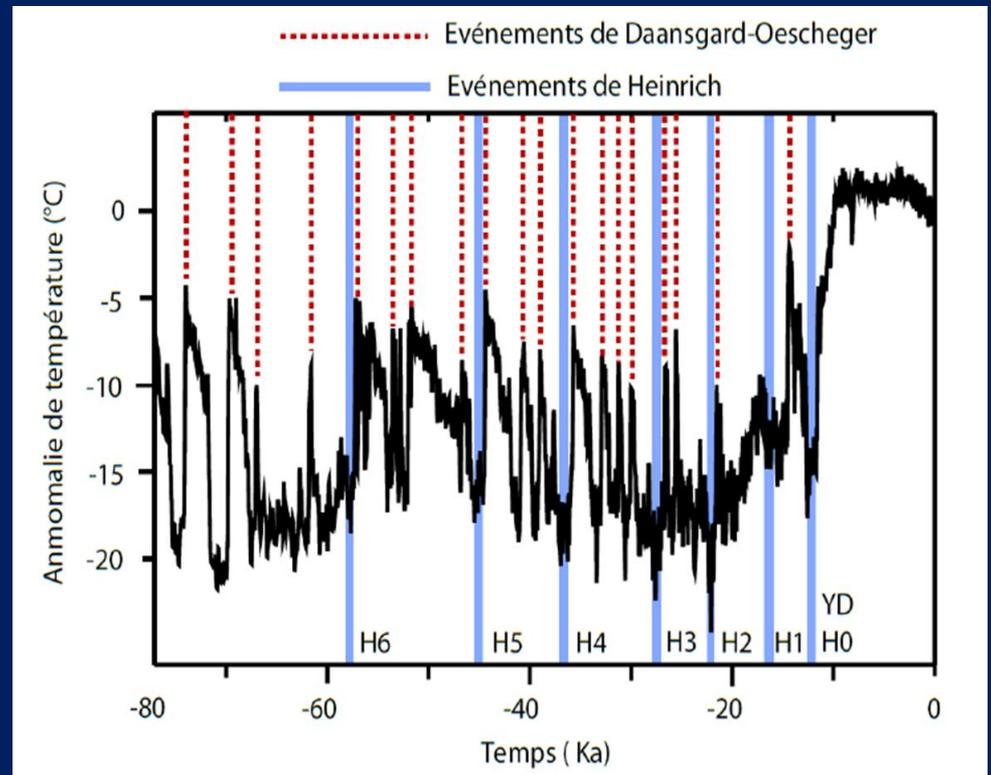
- Vitesse d'élévation moyenne du niveau de la mer: + 10 mm/an
- Vitesse d'élévation maximale du niveau de la mer ~ + 37 mm/an durant quelques siècles

[Bard et al., 1990; Lambeck&Chappell, 2001; Waelbroeck et al., 2002]

Instabilité II / Évènement de Heinrich

Évènement de Heinrich

- De 60 à 15 millions d'années climat glaciaire très instable
- L'instabilité de l'Amérique du Nord a produit d'énormes quantités d'icebergs (évènements de Heinrich)
- Rupture de la circulation thermoaline
- Impact climatique global



LA CASSURE DE LA PLATE-FORME DU LARSEN B

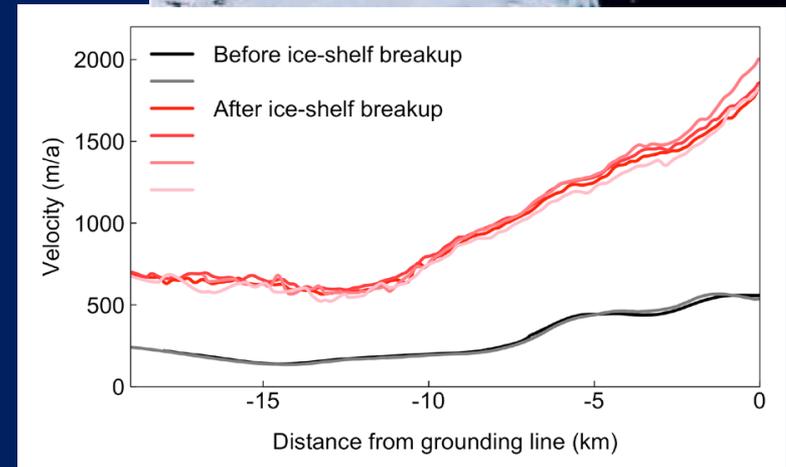
ENJEU:

Quels effets sur la calotte posée?

- *Cassure liée à la hausse des températures de surface et à l'amincissement par fonte basale*

Rignot 2004; Scambos et al, 2004

- *Forte accélération des fleuves de glace liée à la disparition de l'effet d'arc boutant*



Alvarez-Solas et al, 2011. The Cryosphere Discuss

Modèle utilisé/Description des expériences

Modèle utilisé : IPSL AOGCM version 5A. Les simulations sont effectuées pendant le 21^e siècle.

Cette perturbation est appliquée sur la période 2020-2070

Superposé au scénario le plus réaliste du GIEC: RCP8.5 qui est aussi le plus pessimiste, nous ajoutons une quantité d'eau douce allant de 0.5 m à 3 m associé à 3 scénarios différents :

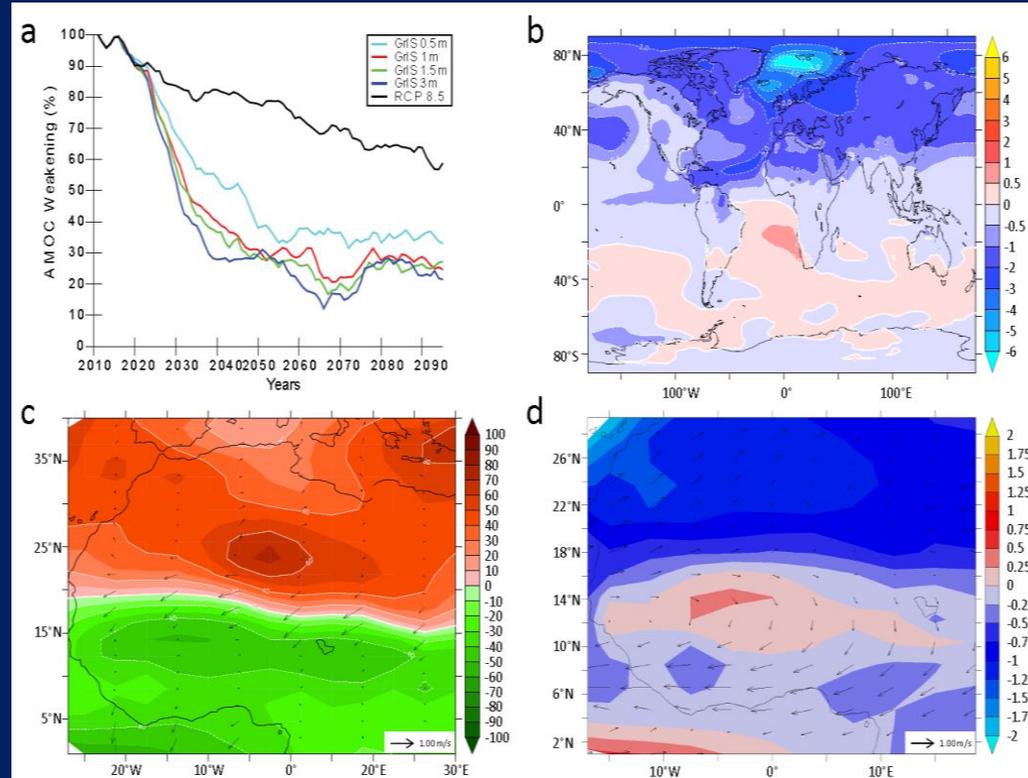
1. Une fonte partielle du Groenland
2. Une fonte partielle de l'Antarctique de l'Ouest
3. Un mélange à parts égales (1,5m) de ces deux calottes

→ Nous nous focalisons ici sur le scénario 1: le scénario du Groenland

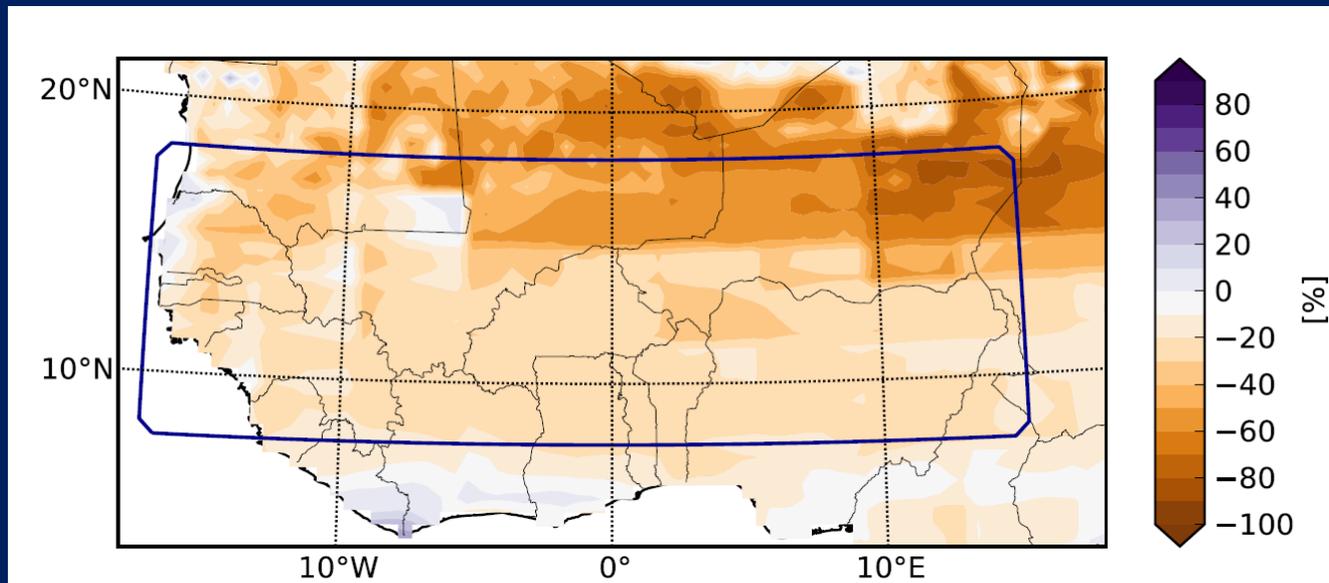
La perturbation superposée au RCP 8.5 correspond à une expérience transitoire avec une arrivée d'eau douce correspondant à 0.11 Sv (0.5 m), 0.22 Sv (1 m), 0.34 (1.50) et 0,68 Sv (3 m).

Relation entre l'apport d'eau douce lié à la fonte de la calotte et les modifications de dynamiques océaniques et atmosphériques

Mécanisme de téléconnexion reliant la fonte du Groenland et la forte diminution des précipitations au Sahel. A) Evolution de l'AMOC (Atlantic Meridional Ocean Circulation; en % par rapport à la valeur actuelle); B) Différence de température annuelle entre la simulation correspondant à 1,5m de fonte (GrIS 1,5) et le scénario de base RCP8,5 sur la période 2030-2060; C) Similaire à B) pour la différence de pression au niveau de la mer; et le vent à 10m (flèches noires); D) similaire à B) pour la différence de température estivale (JJAS) et le vent à 850 hPa (flèches noires). *Defrance et al., PNAS, May 11, 2017*



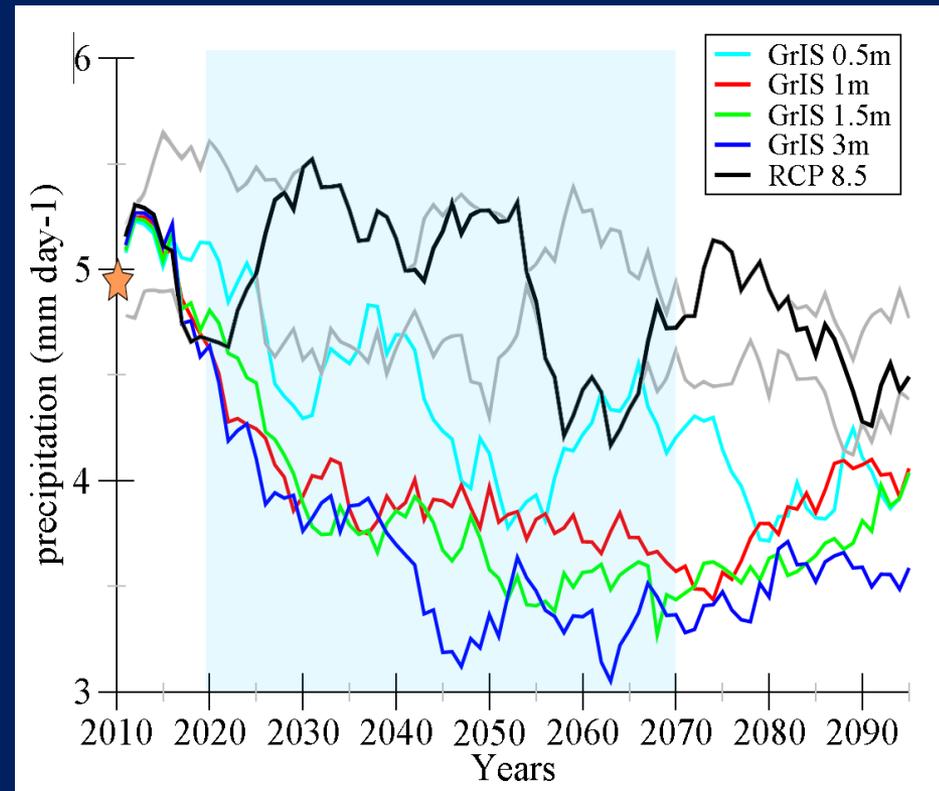
Les changements de précipitations sur la région du Sahel pour une expérience de 1,5 m



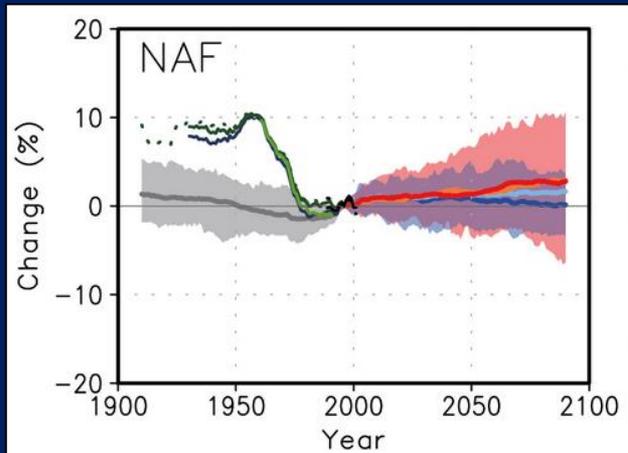
JJAS precipitation anomaly between the 1.5 m GrIS scenario and the RCP 8.5 baseline experiment normalized to the RCP 8.5 values and averaged over 2030-2060. Une valeur de 100 correspond à un doublement des précipitations et -100 correspond à une précipitation nulle. Les valeurs de précipitation sont obtenues après application de la méthode statistique (voir Méthodes). L'encadré bleu (8 ° N-18 ° N, 17 ° W-15 ° E) représente la zone étudiée. *Defrance et al., PNAS, May 11, 2017*

L'évolution des précipitations sur la zone du Sahel pour toutes les expériences et le scénario de référence : le RCP8.5

Evolution of JJAS precipitation during the 21st century averaged over the Sahel area (8°N-18°N, 17°W-15°E) for the RCP8.5 and the GrIS scenarios. The orange star indicates the simulated JJAS precipitation over the climatic reference period (1976-2005) deduced from the IPSL-CM5A simulated precipitation (4.96 mm). To illustrate the internal model variability, we considered a 4-member dataset of the RCP8.5 scenario, each member differing in initial conditions. The area delimited by the two grey curves represents the range of model variability deduced from the 4-member dataset. *Defrance et al., PNAS, May 11, 2017*



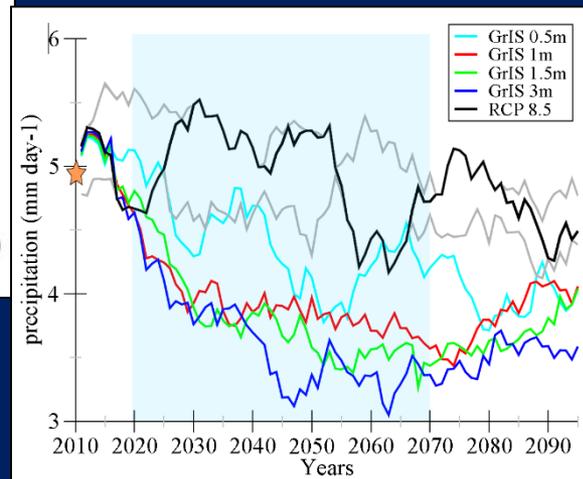
IMPACTS SUR LES MOUSSONS ET LES MIGRATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST



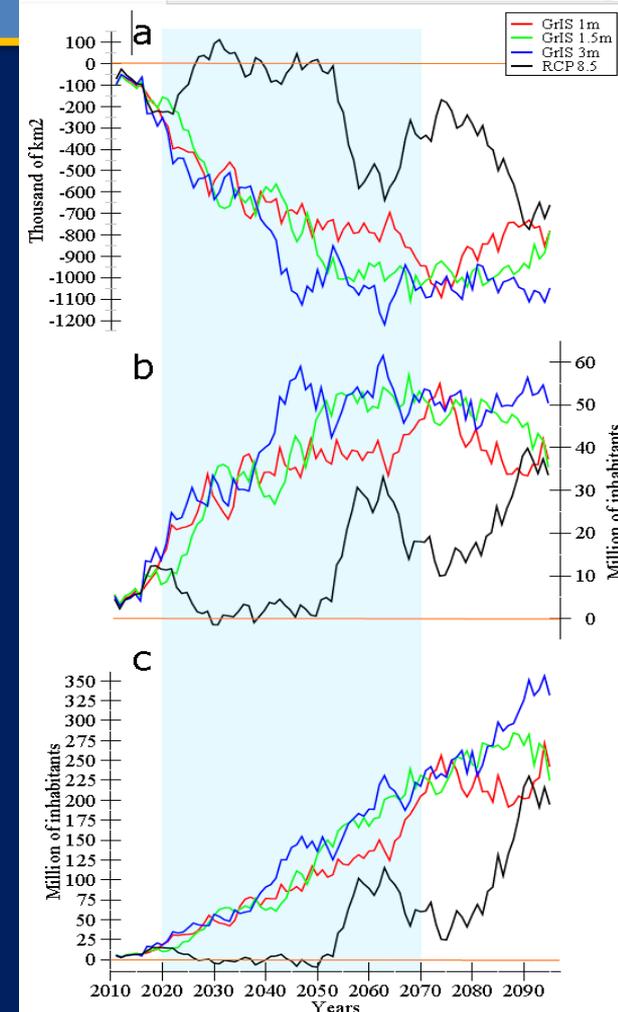
Simulation du GIEC

Observations des variations de moussons africaines passées et présentes (1900-2100) pour les différents scénarios: Historique (gris; 40 modèles), RCP2.6 (bleu foncé; 24 modèles), RCP4.5 (bleu clair; 34 modèles), RCP6.0 (orange; 20 modèles), et RCP8.5 (rouge; 32 modèles).

GIEC WP1 chap, 14 figure 14.7



Notre simulation

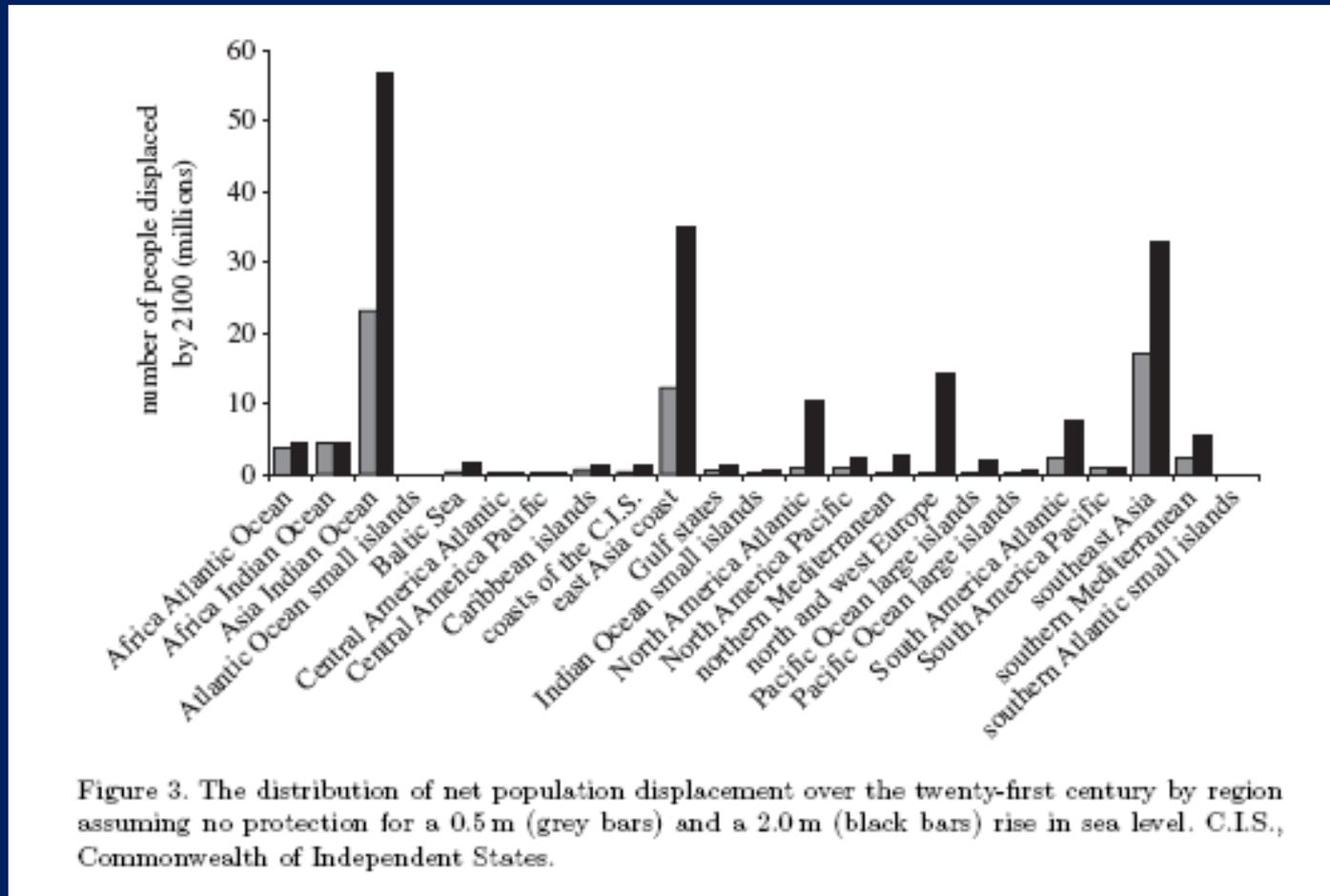


Impacts des changements de pluie sur la culture du sorgho et sur la population.

Defrance et al., PNAS, May 11, 2017.

vol. 114 no. 25. doi:10.1073/pnas.1619358114

PROJECTIONS POUR 2100 POUR LES SCÉNARIOS À 0.5 ET 2 MÈTRES D'ÉLEVATION DU NIVEAU MARIN



CONCLUSIONS

- Dans un contexte inédit : l'Anthropocène, avec un forçage radiatif important, mais surtout fulgurant, quelles instabilités à l'échelle du siècle pour le Groenland?
- Cette étude montre qu'une fonte accélérée du Groenland conduirait, non seulement, à une remontée amplifiée du niveau de la mer, mais également à une modification des zones de moussons associée à des migrations massives