





# Le climat de la Terre, glaciations, effet de serre, les causes

Conception Sylvain COUTTERAND Documents Marc DESMET (le climat de la Terre, passé, présent, futur)

Sylvain Coutterand – EDYTEM, CNRS - 2017



<ul><li>Ce diaporama</li></ul>	est mis à	disposition	des étudi	ants/élèves	et collègues
qui le souhaitent					

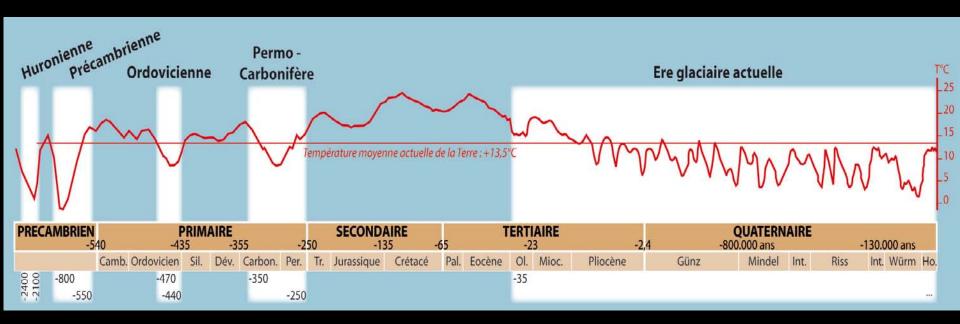
■ Il doit être utilisé dans un <u>cadre strictement scolaire et universitaire</u> car il comporte des documents non cités ou non publiés

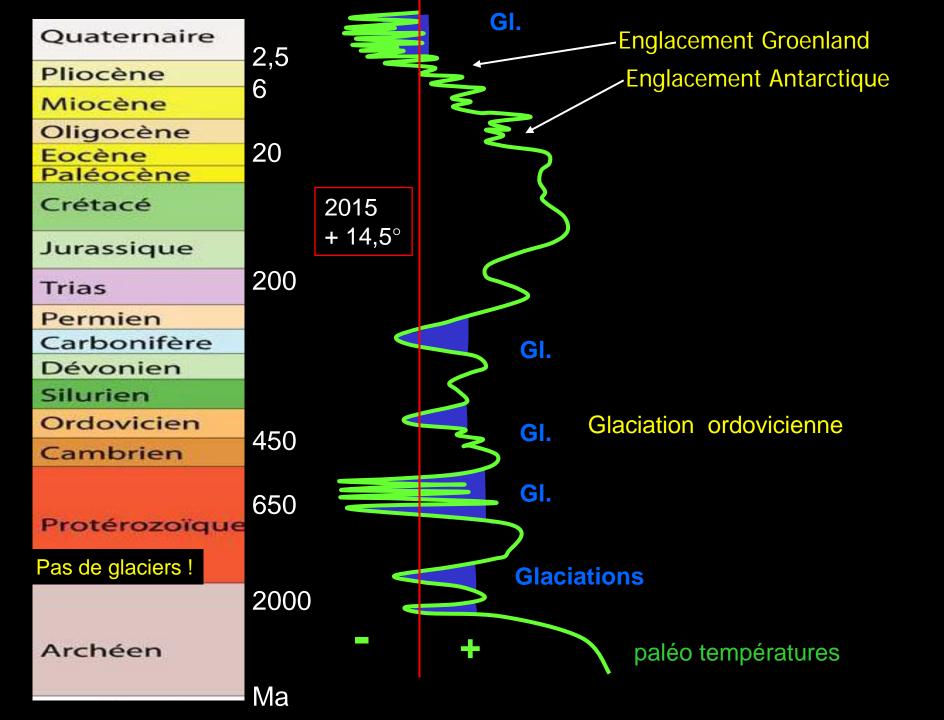
Contact

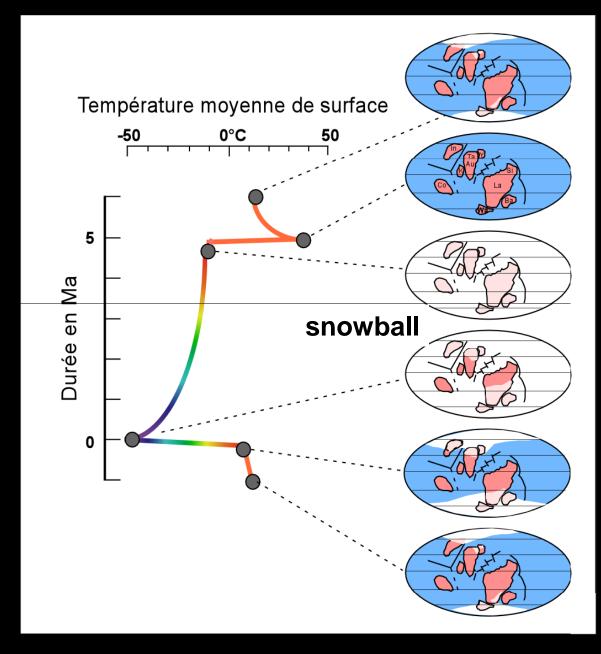
sylvain.coutterand@univ-savoie.fr

- variabilité du climat à l'échelle des temps géologique
- Le contrôle astronomique du climat
- Les archives climatiques océaniques
- Les archives climatiques glaciaires du climat
- les grandes fluctuations de l'ère Quaternaire
- les fluctuations historiques : le Petit Age Glaciaire
- L'effet de serre
- changement climatique : une réalité
- l'origine anthropique : une certitude

#### Variabilité du climat à l'échelle des temps géologique







Volcanisme pourvoyeur de CO<sub>2</sub> – effet de serre considérable



Blocage des échanges océan/atmosphère



Rétroaction de l'albédo

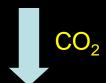


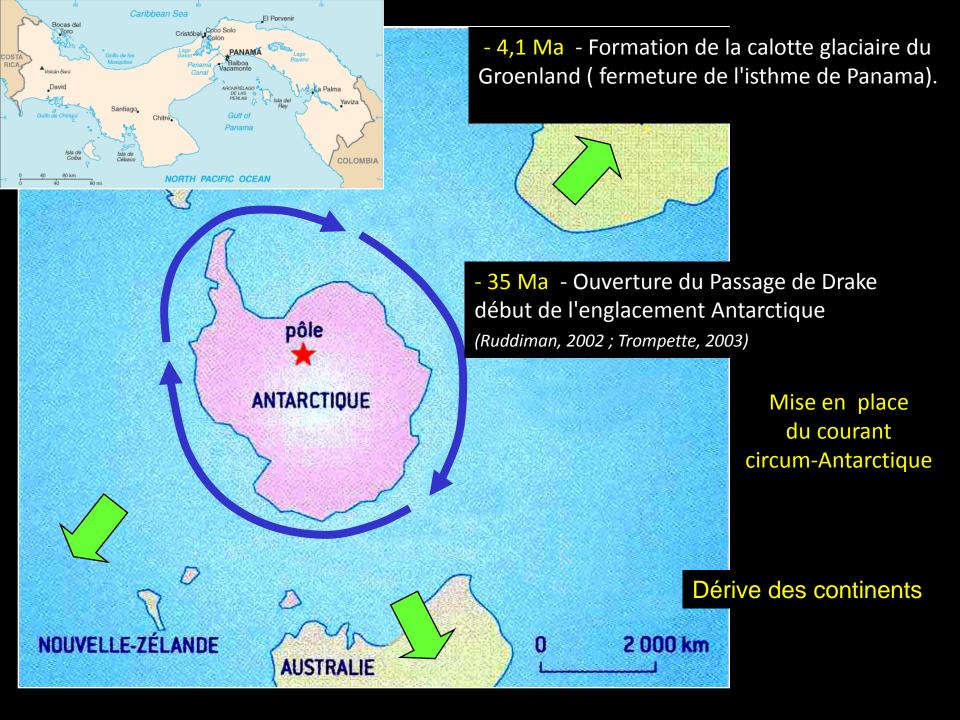
Début de croissance des calottes



Altération poussée



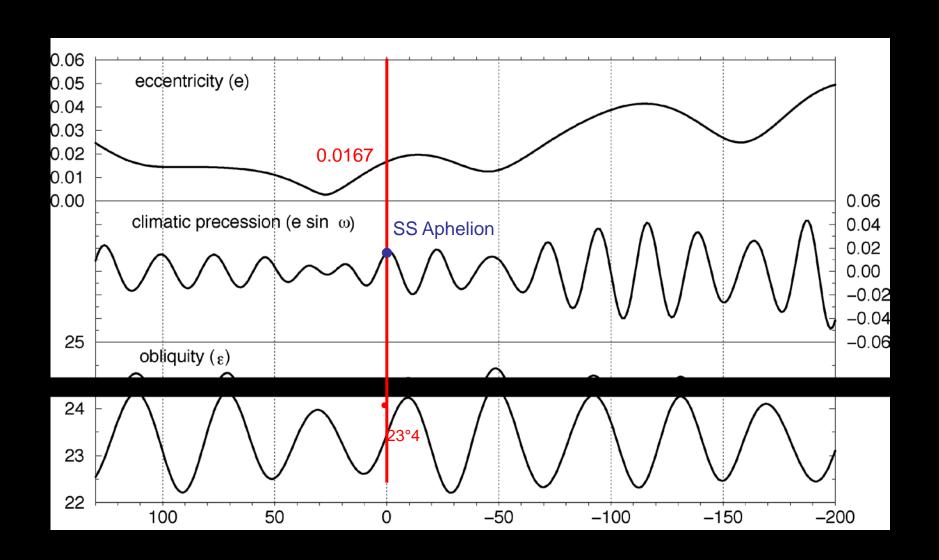


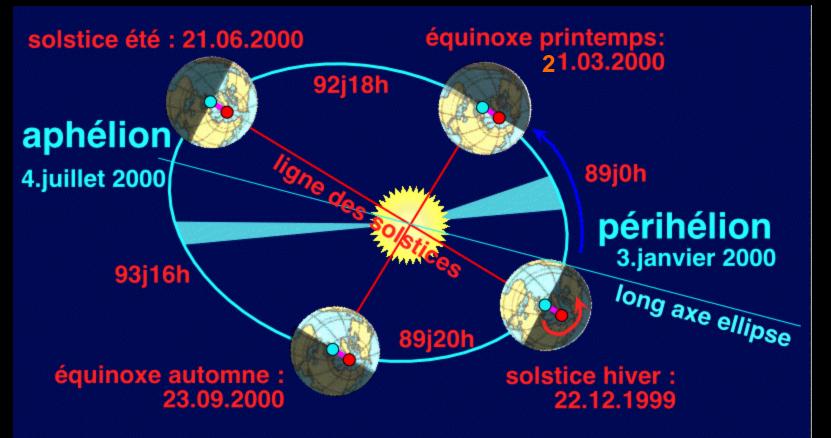


#### La théorie astronomique des climats (Milutin Milankovitch)

- → La distance (pas seulement) entre la Terre et le Soleil est fonction de trois paramètres orbitaux : excentricité, obliquité, précession.
- → Cette distance conditionne la quantité d'énergie qui arrive à la surface de la Terre.
- → La combinaison de ces trois paramètres fondamentaux se traduit par des configurations astronomiques Terre/Soleil propices à l'englacement ou au désenglacement des pôles.

#### Ce que nous disent les astrophysiciens...





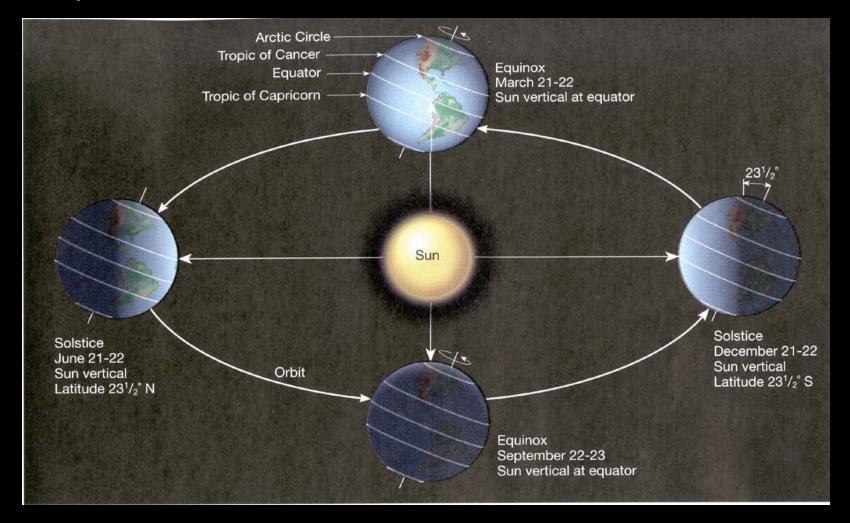
Aphélie : point le plus éloigné 329 W/m2

Périhélie : point le plus proche 351 W/m2

7 Quatre saisons calées entre les solstices et les équinoxes

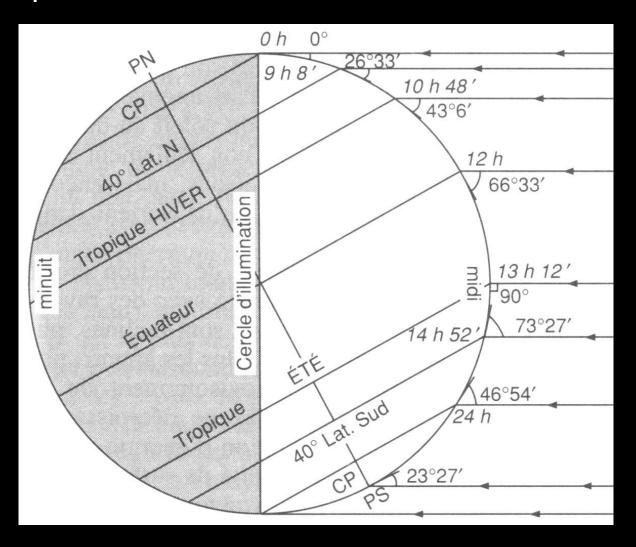
7 Une inclinaison orbitale responsable de la saisonnalité

#### Aujourd'hui



▶ Le 21 juin, le Nord pointe en direction du soleil.
▶ Aux équinoxes, durées du jour et de la nuit sont égales.

## Au 22 décembre, Lyon reçoit autant de « chaleur » que le Pôle Sud!!

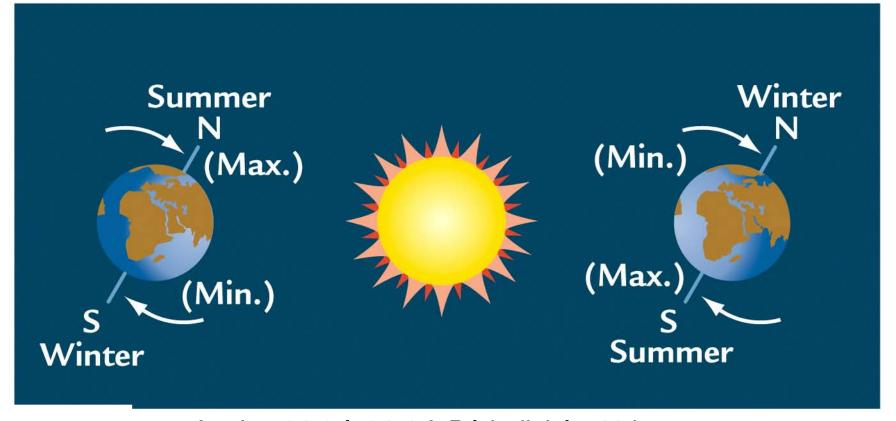


210 W/m2 à 45°N et 280 W/m2 au pôle Sud (selon le modèle de Laskar, 1990)

#### Les trois paramètres orbitaux

- → L'obliquité
- → L'excentricité
- → La précession

#### L'obliquité ou inclinaison de l'axe de rotation

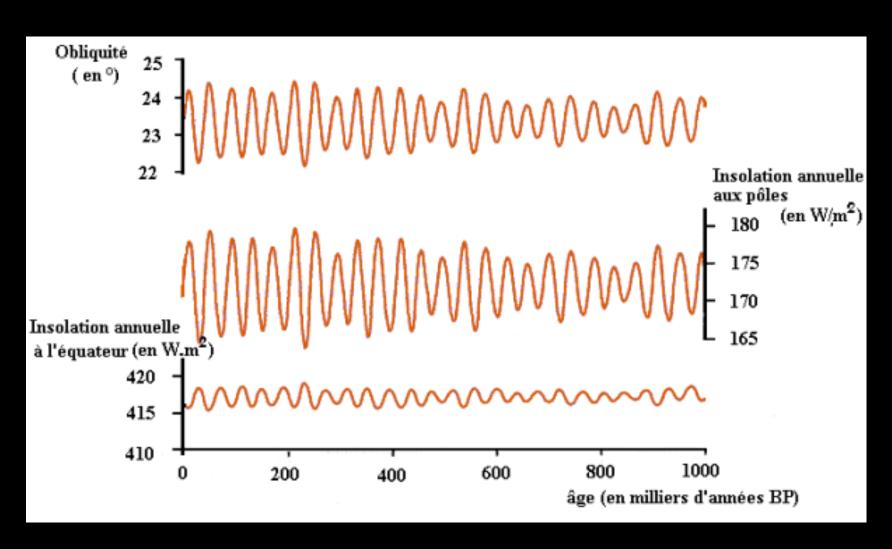


Angle: 21.8 à 24.4 & Périodicité: 41 ka

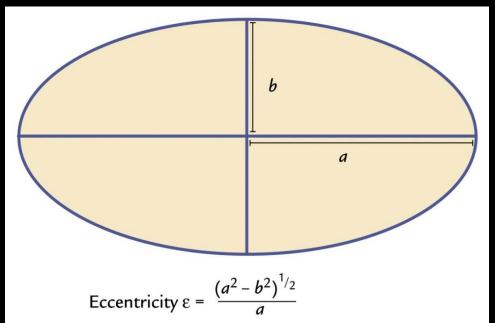
Au voisinage des pôles la variation d'énergie est de 14% au solstice d'été

Forte inclinaison : fortes saisons Faible inclinaison : faibles saisons

### Quelle est la configuration favorable à la mise en place d'une glaciation ?

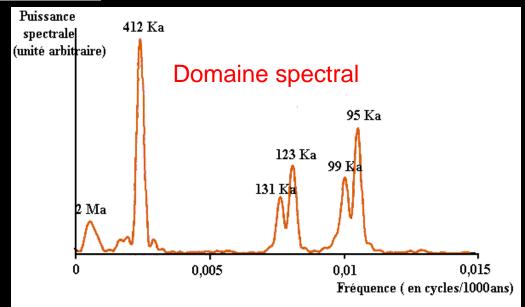


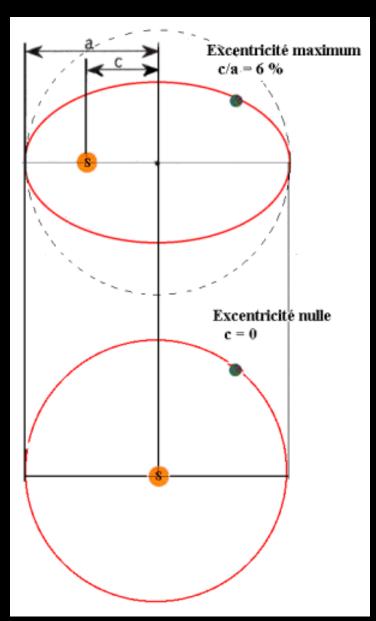
#### L'excentricité de l'ellipse



L'excentricité varie entre le cercle (excentricité = 0) et l'excentricité maximum de 6%.

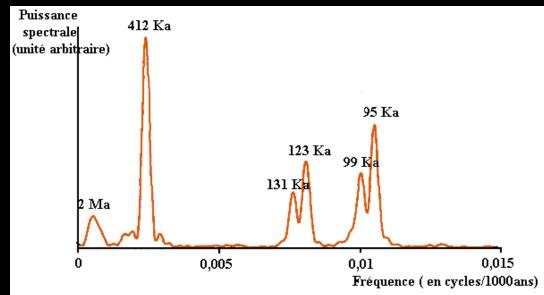
L'excentricité actuelle correspond à 1,67%



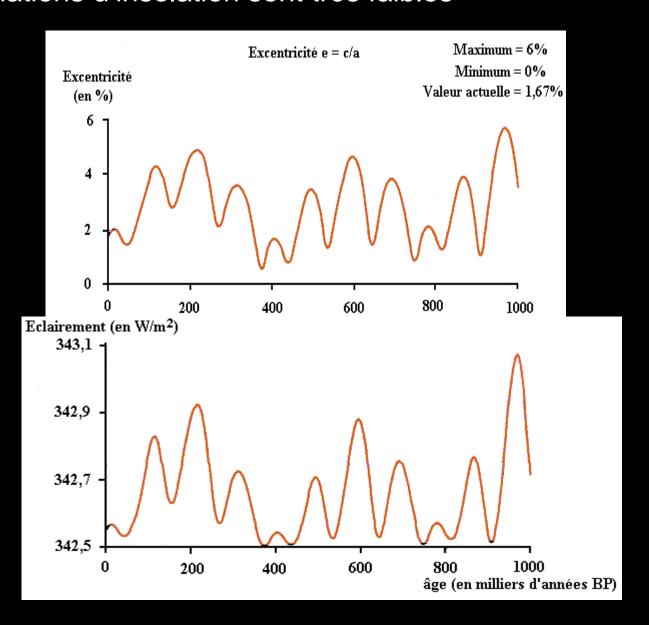


#### L'excentricité de l'ellipse

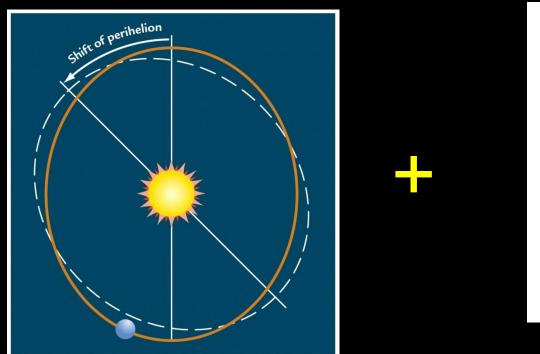
L'excentricité varie entre le cercle (excentricité = 0) et l'excentricité maximum de 6%. L'excentricité actuelle correspond à 1,67%



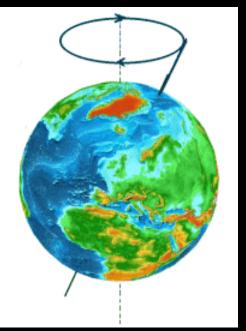
#### L'excentricité joue sur la durée des saisons... ...les variations d'insolation sont très faibles



### La précession climatique angle entre le périhélie et l'équinoxe de printemps



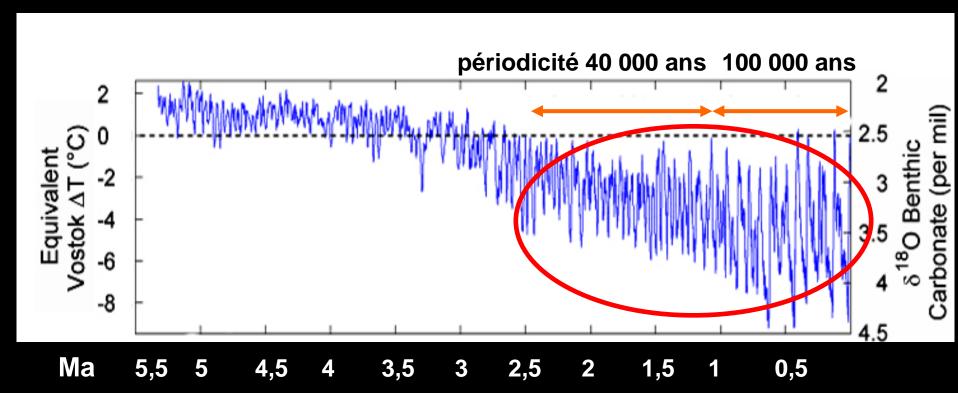
Une rotation en 135 000 ans qui modifie le mois de l'année du périhélie



Un cône de précession axiale de 26 000 ans de période

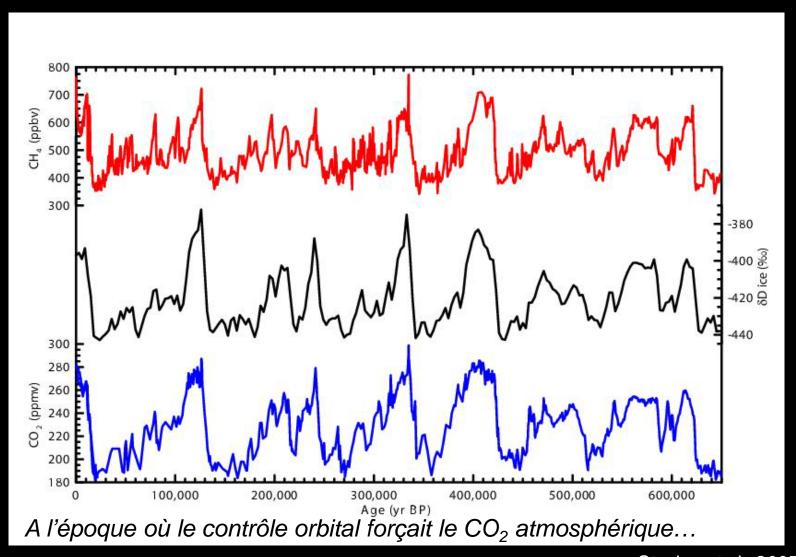
Cadre stratigraphique du Pléistocène les sédiments océaniques : archives du climat

6 millions d'années de fluctuations climatiques

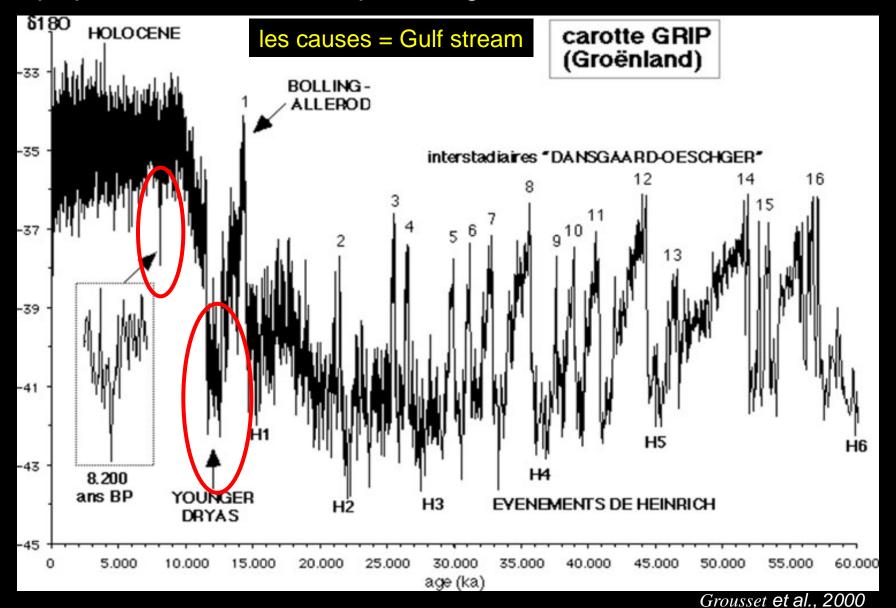


Pléistocène depuis 2,5 millions d'années ⇒ environ 30 glaciations

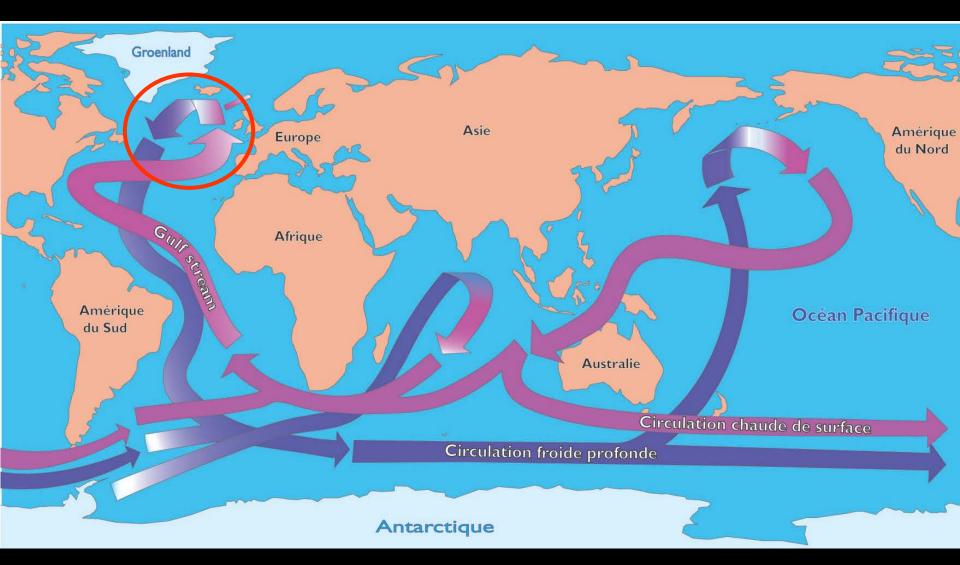
#### EPICA (Antarctique) : La plus grande archive glaciaire et la mise en évidence du contrôle astronomique des climats



### Des surprises climatiques chaudes qui ponctuent la dernière période glaciaire



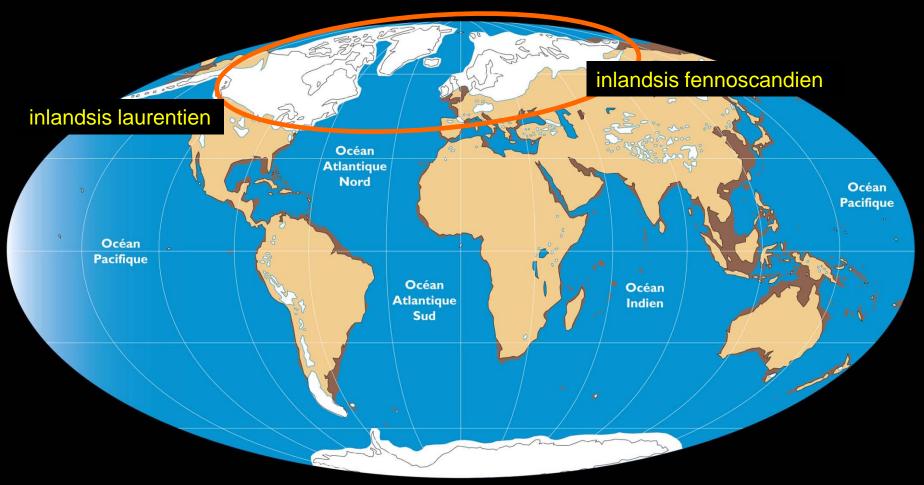
#### La circulation thermohaline



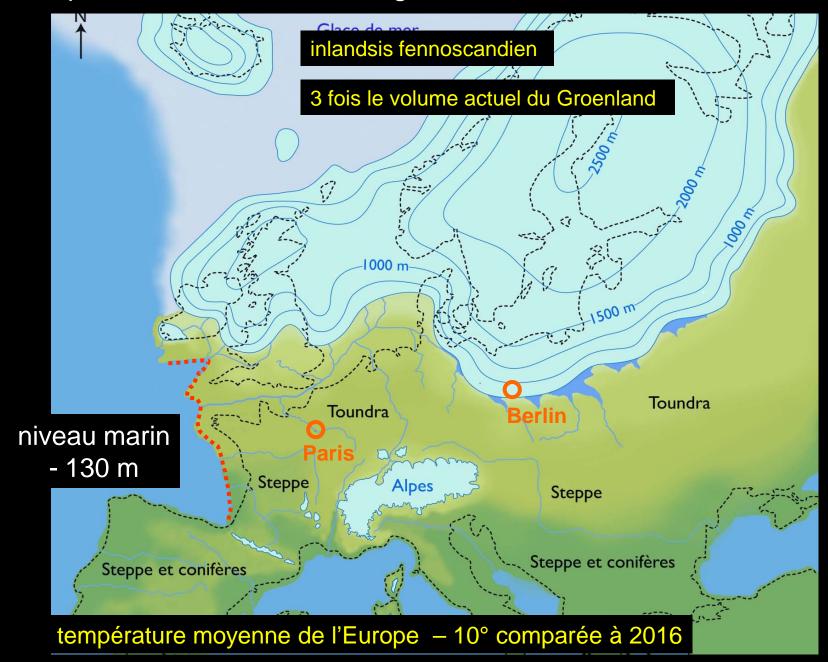
amorçage de la circulation thermohaline dans l'Atlantique nord

Reconstitution paléogéographique de la Terre pendant le dernier maximum glaciaire — 21 000 ans

calottes glaciaires de l'hémisphère Nord



l'Europe au dernier maximum glaciaire - 21 000 ans

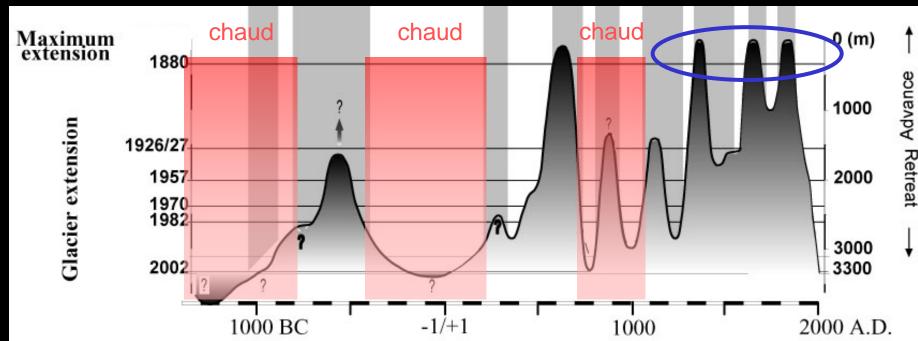


#### Depuis 10 000 ans : l'interglaciaire Holocène

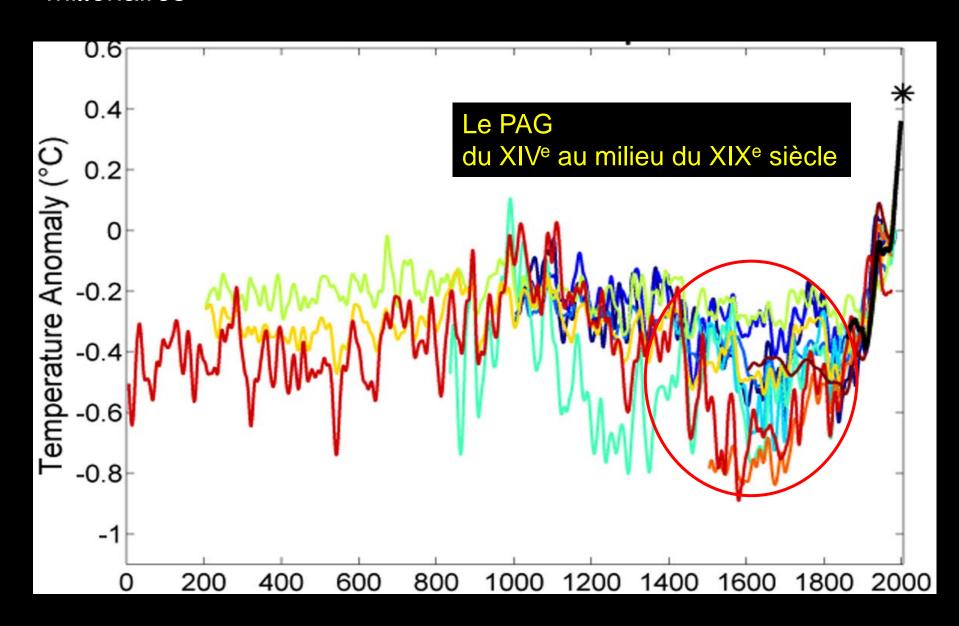


Les glaciers français, suisses et les autres... bougent depuis 10 000 ans...

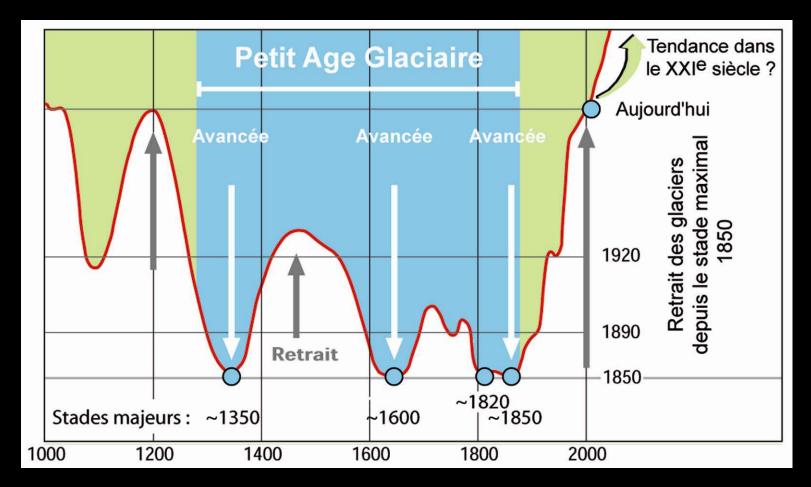
Petit Age Glaciaire Entre le XIV<sup>e</sup> siècle et 1850



### Fluctuations des températures au cours des deux derniers millénaires

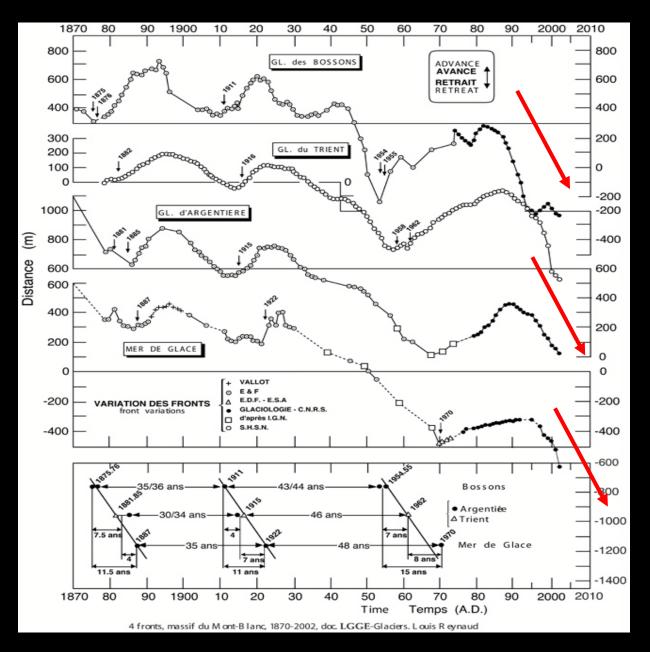


#### 500 ans de Petit Age Glaciaire!

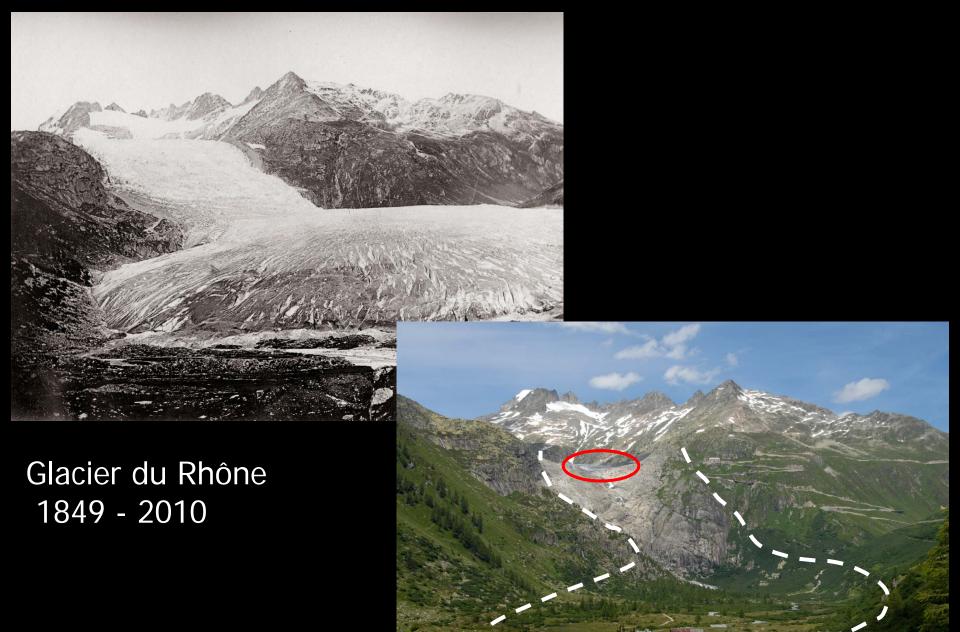


- l'activité solaire en baisse
- pluviométrie accrue
- températures inférieures de 1°

#### Les glaciers du Massif du Mont Blanc depuis 1850



(Reynaud, 2003)

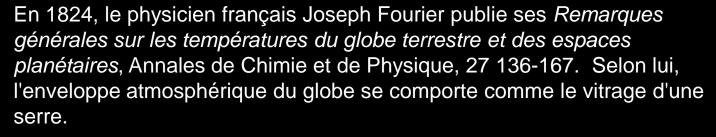


#### Retrait de la Mer de Glace entre 1895 et 2008





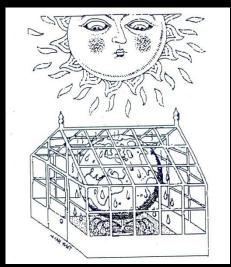
#### Histoire de la découverte de l'effet de serre



L'analogie lui a été suggérée par les travaux **d'Horace Bénédict de Saussure en 1780**. Le naturaliste suisse avait construit un appareil constitué de cinq caisses de verre emboîtées les unes dans les autres, munies de thermomètres, pour montrer que, plus l'on va vers le centre, plus la température s'élève, jusqu'à obtenir une température d'équilibre (jusqu'à 109°C!).

A propos de cette expérience, Fourier écrit : "C'est ainsi que la température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure."

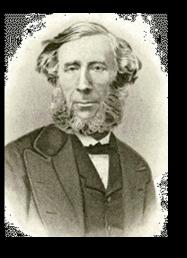
Quelques années plus tard, le physicien français Claude Pouillet puis l'Irlandais John Tyndall attribueront l'effet de serre à la vapeur d'eau et au gaz carbonique.





#### Découverte de l'effet de serre Contexte : des débats sur la *Théorie glaciaire* 1835-1840

- Claude Pouillet, 1830 : Attribution de l'effet de serre à la vapeur d'eau et au gaz carbonique
- Confirmation par les mesures de John Tyndall, 1861, "On the absorption and radiation of heat by gases and vapour, and on the physical connection of radiation, absorption and conduction" Philosophical Magazine, 22, 167 194; 273 285.

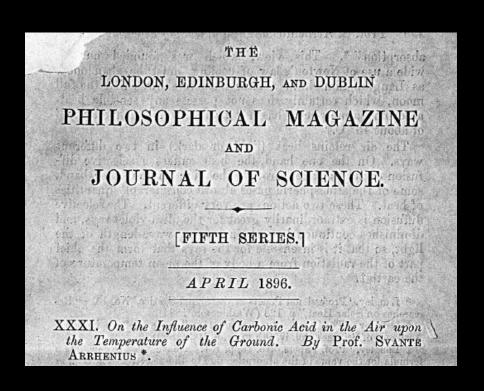


A propos des mécanismes de l'effet de serre : "La vapeur d'eau est une couverture indispensable. Otez cette vapeur d'eau et la chaleur de nos champs et de nos jardins s'épandrait sans retour vers l'espace. Sa présence limiterait les pertes de la Terre; son absence, sans altérer la transparence de l'air, ouvrirait grand une porte par laquelle la chaleur terrestre s'échapperait vers l'infini. »

A propos des changements climatiques : « tous les changements climatiques révélées par les études géologiques pourraient avoir été provoqués par des changements de composition en gaz atmosphériques radiativement actifs".

#### Découverte de l'effet de serre Contexte : des débats sur la *Théorie glaciaire* 1835-1840

Svante Arrhenius, 1896 "On the influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground" Philosophical Magazine 41 237-76, (1986) Il calcule qu'un doublement du CO2 s'accompagne d'une élévation de la température moyenne de 6°C. "Comme ce serait merveilleux si les émissions humaines de gaz carbonique vers l'atmosphère pouvaient augmenter d'autant le climat de la Terre. Nous en serions heureux en Suède".





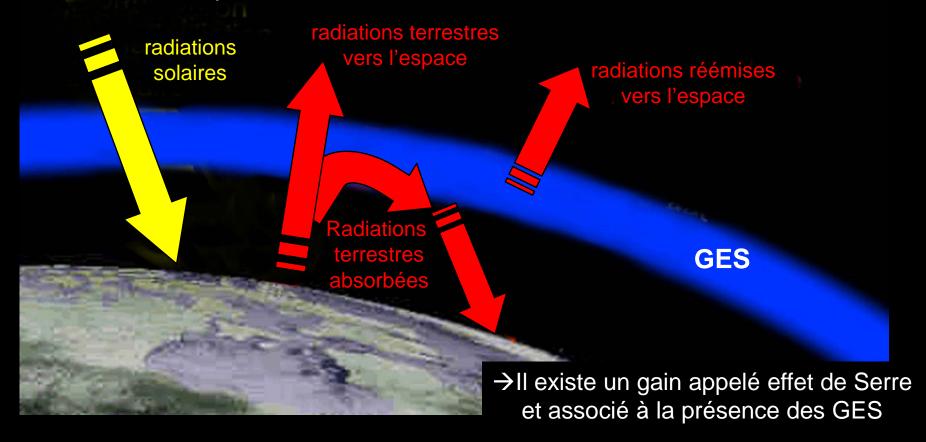
L'effet de Serre : rappel

∠Le bilan énergétique détermine la température moyenne à la surface du globe : 13°C, température d'équilibre entre la surface terrestre et l'atmosphère

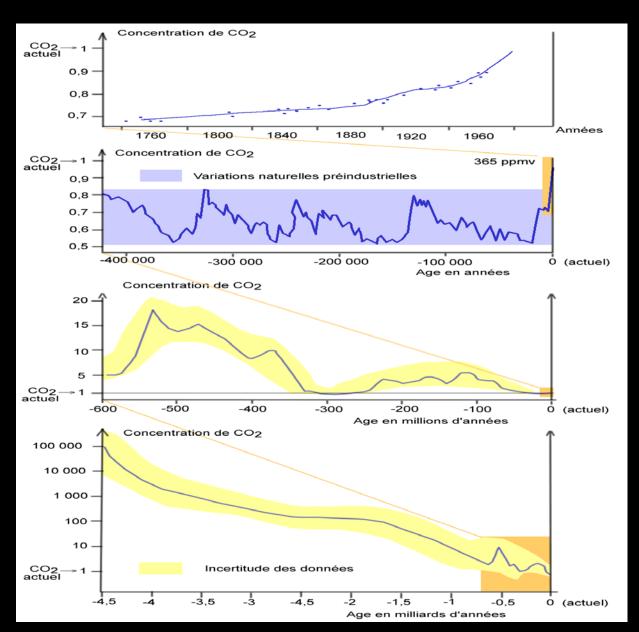
∠ Le système Terre-Atmosphère en équilibre avec l'espace serait à une température de - 18°C mesurée par un observateur extérieur

↗La différence de 31°C provient de l'effet de serre : en résumé l'atmosphère est transparente au « visible » solaire et opaque à « l'infrarouge » terrestre

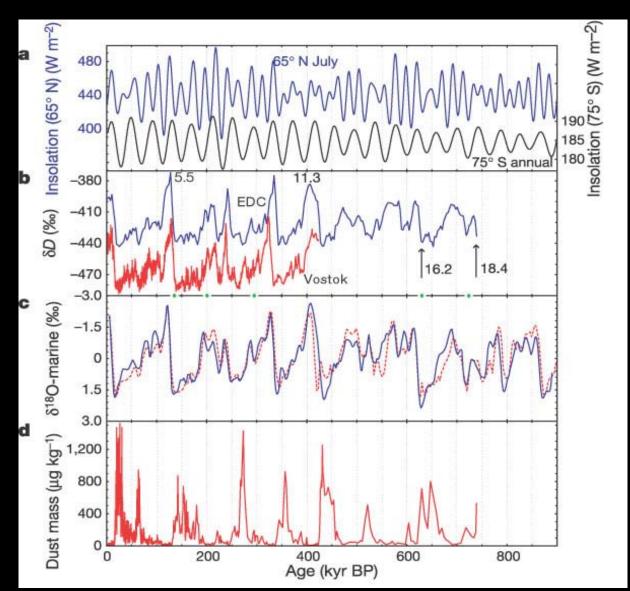
- → Le soleil éclaire dans le domaine de l'UV, du visible, du proche infra-rouge
- →Les molécules de l'atmosphère (gaz polyatomiques) n'absorbent pas ou peu dans la longueur d'onde du visible
- → La Terre (les enveloppes fluides) ré-émet dans le domaine de l'Infrarouge
- →Les molécules de l'atmosphère (gaz polyatomiques) absorbent en partie dans ce domaine spectral

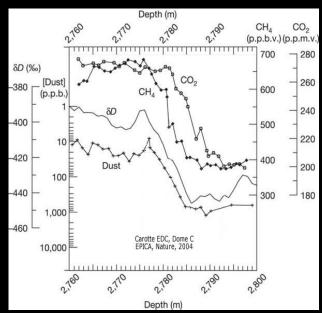


#### Evolutions du CO<sup>2</sup> à l'échelle des milliards d'années



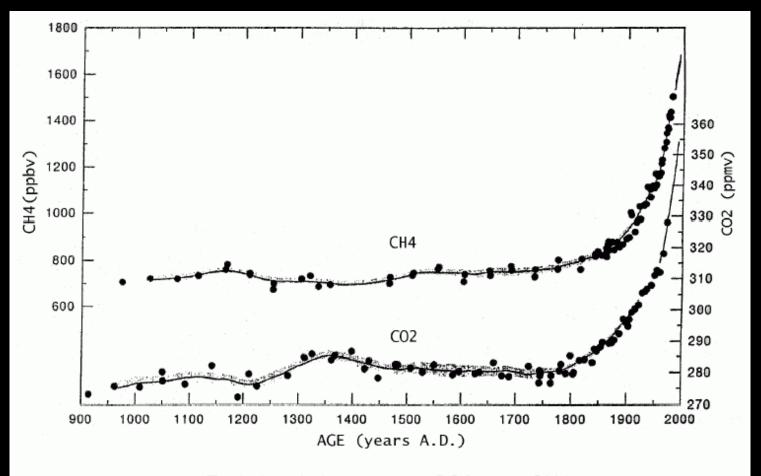
# 740 000 ans d'histoire de l'effet de Serre : le forage EPICA





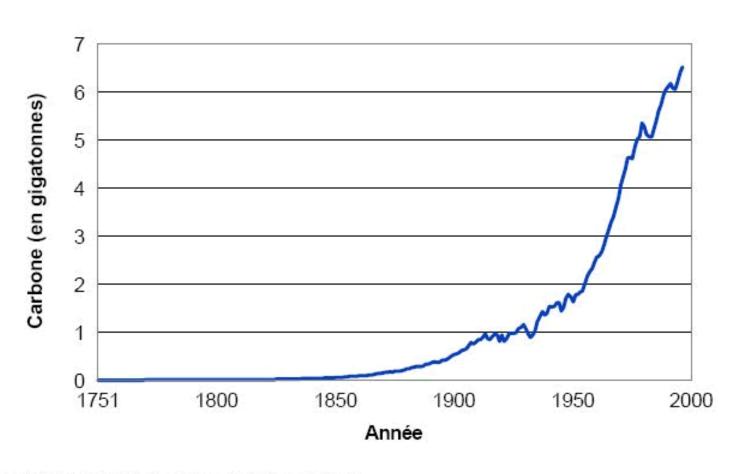
Masson et al., Nature 2004

#### Origine et évolution des gaz à effet de serre



Evolution de la teneur en CO2 et en CH4 d'après l'analyse des bulles d'air contenues dans la glace (source Lettre PIGB, France)

# Tendances mondiales des émissions de CO<sub>2</sub> attribuables aux combustibles fossiles



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center.

#### Concentrations des GES avant 1850

Les Gaz à effet de serre et leur contribution

H2O: ?? CO2: 280 ppm (+ 30%) CH4: 0.7 ppm (+20%) CFC: 0.04 ppm (\*25)

Probable contribution anthropique depuis 1900

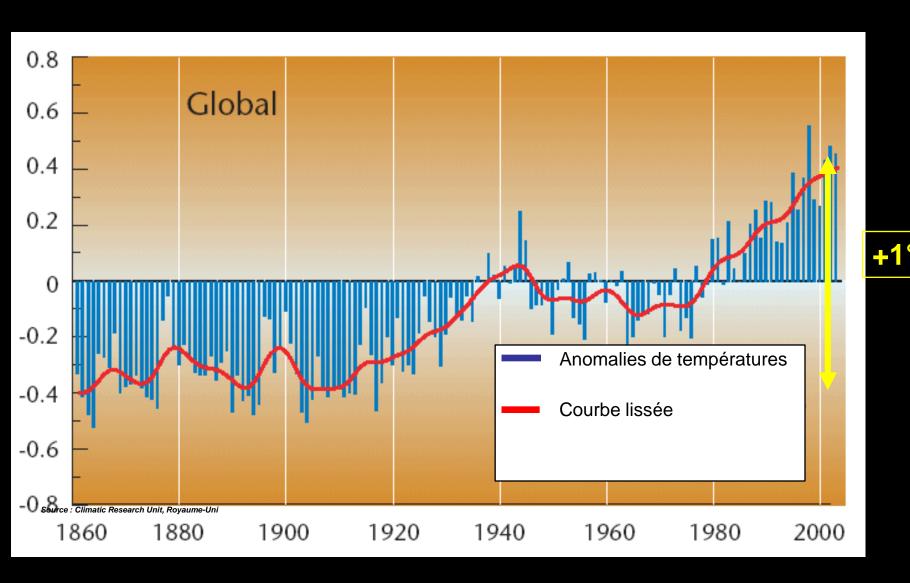
CO2: 50%? CH4: 50% N20: 6% CFC: 14%

+ Ozone troposphérique et Stratosphérique

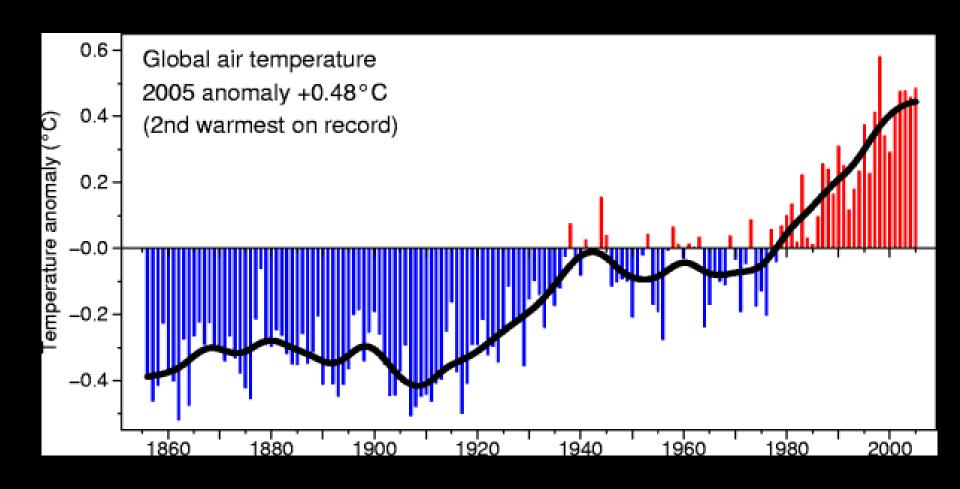


# Température moyenne de surface

#### Depuis plus d'un siècle sur l'ensemble du globe

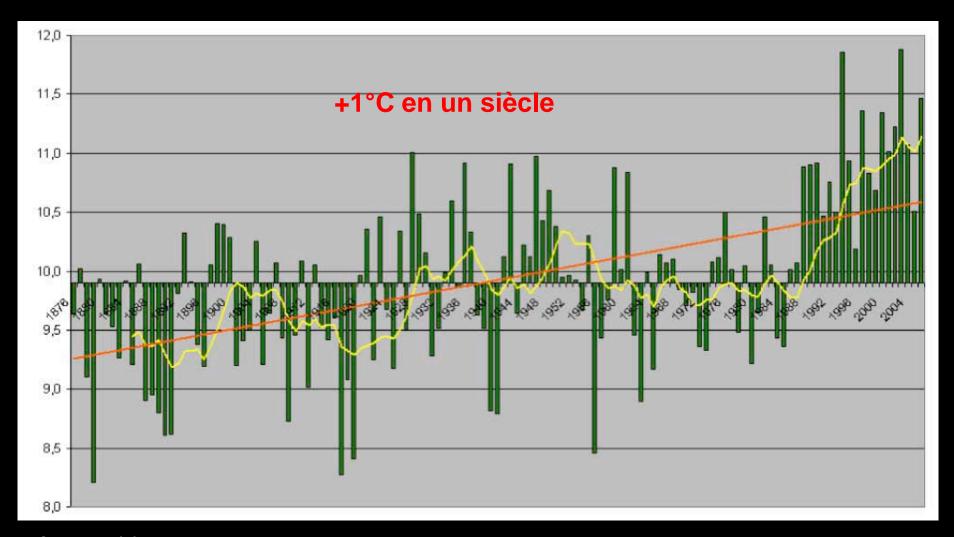


### La température de la Planète depuis 1850





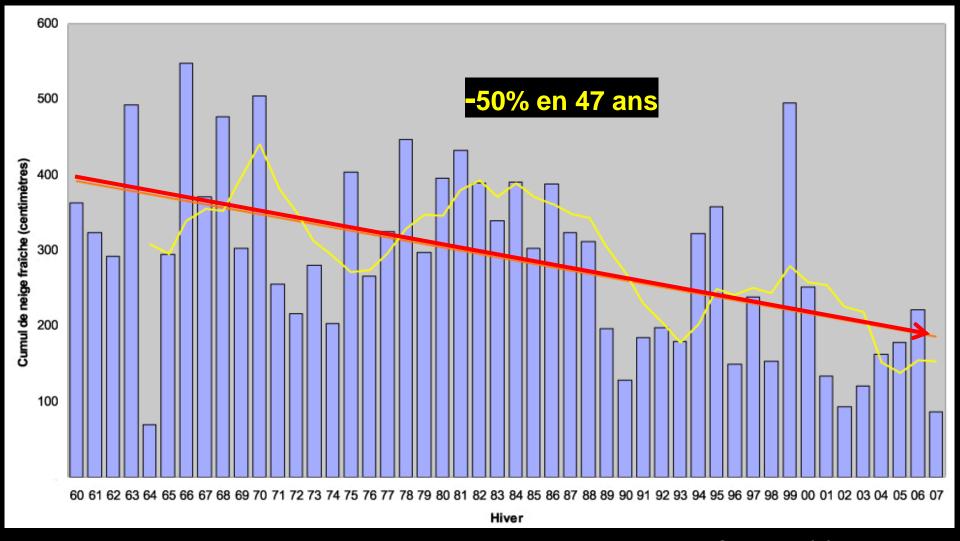
# Température à Annecy



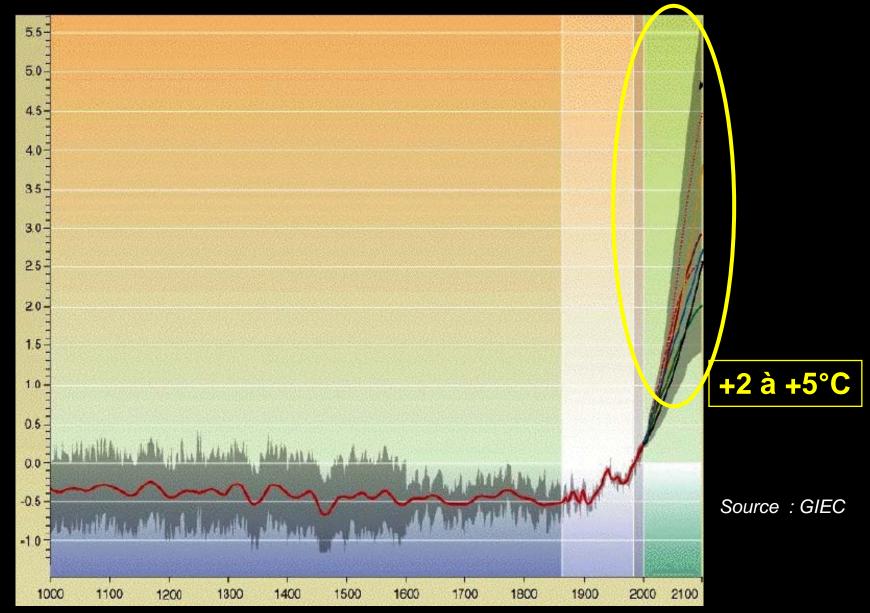
Source : Météo France



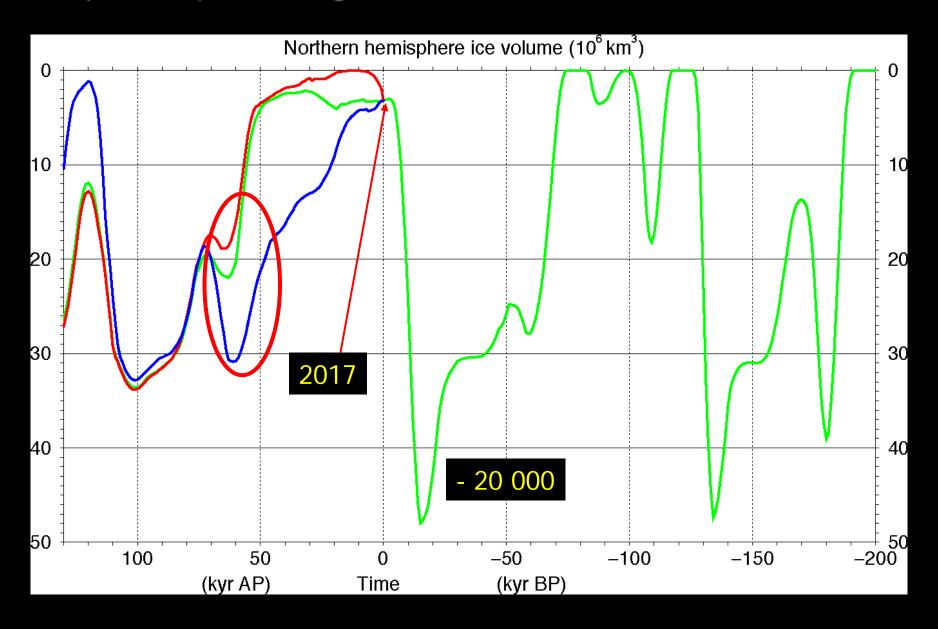
# Cumul de chute de neige fraîche à Chamonix (1000 m)



Le climat du futur moyenne multimodèle - Différents scénarii

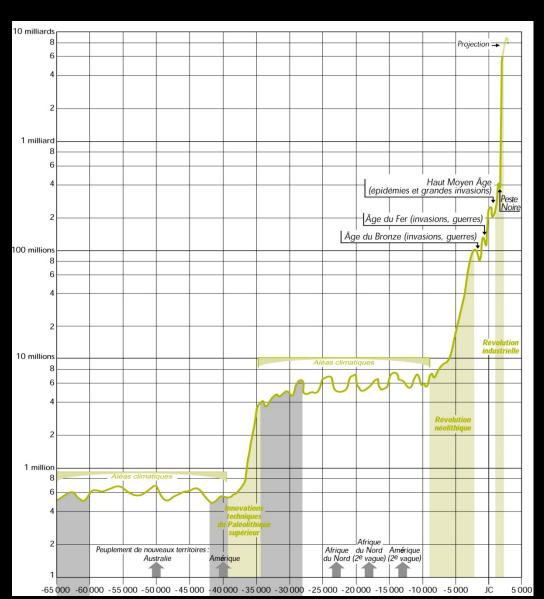


# A quand la prochaine glaciation?



# Un enjeu démographique?

9 Milliards de terriens en 2050 !!!





copyright Sylvain Coutterand