Les variations climatiques à travers les

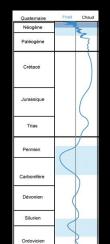
temps géologiques















Pierre Thomas, ENS-OSU Lyon

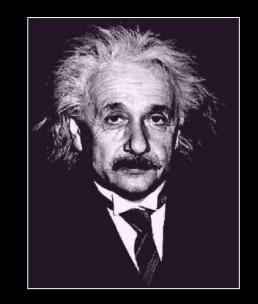
Tours, octobre 2022

Un préambule nécessaire : la relativité des échelles de temps.

D'ici 1 heure, on va aboutir à des contradictions <u>apparentes</u> avec ce que tout le monde dit, du genre « on est dans une période de refroidissement climatique, et le CO₂ n'a jamais été aussi bas que maintenant ». C'est vrai, mais c'est une question d'échelle d'observation.

Pour une abeille née le 1^{er} mai et mourant le 20 juin, on est évidement en période de réchauffement climatique. A la « dimension » de sa vie, elle a raison.

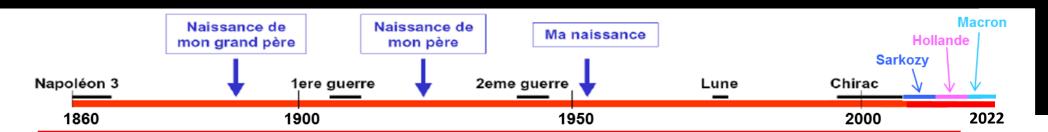
Pour un éphémère qui « naît » le 1^{er} juin à 15h et qui meurt ce même 1^{er} juin à 24h, on est bien sur en période de refroidissement climatique. A la « dimension » de sa vie, il a raison, et ce n'est qu'apparemment contradictoire avec ce que constate l'abeille.







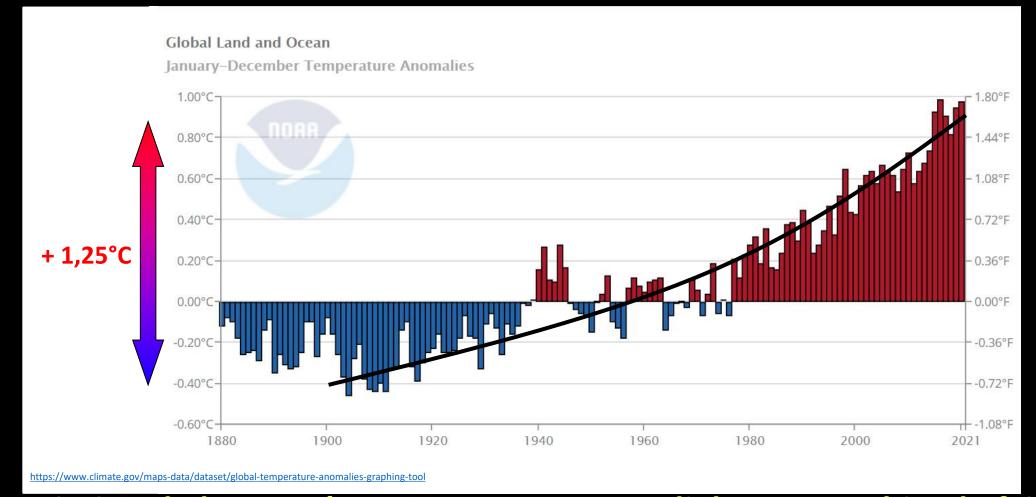
Donc, attention messieurs-dames les non-géologues/non astronomes : nous allons jongler avec les différentes échelles de temps !



Il y a plusieurs « échelles de temps ». On va d'abord parler de l'évolution du climat à l'échelle de temps d'une famille (siècle). Dans les 90 minutes qui suivent, on va parler à l'échelle de 1 000 ans, de 700 000 ans, de 600 000 000 d'années, de 4 500 000 000 d'années. On a parfois du mal à se représenter à quoi cela correspond!

L'échelle de 150 ans

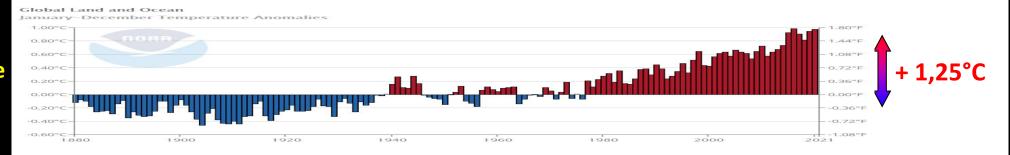
Les variations historiques (ici post 1880) du climat : la première courbe qui fait peur !

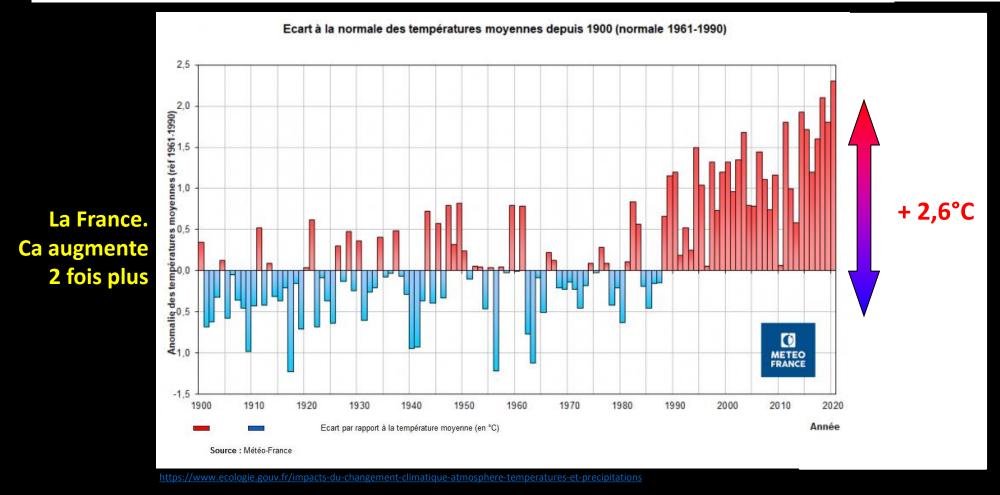


Variation de la température moyenne mondiale On peut bien le faire qu'à partir de 1860 /1880. Avant, la couverture de stations météo sur toute la Terre était très insuffisante.

Et pour la France métropolitaine?

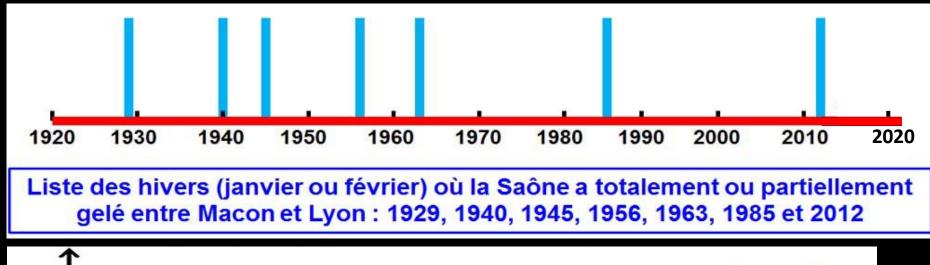
Le monde

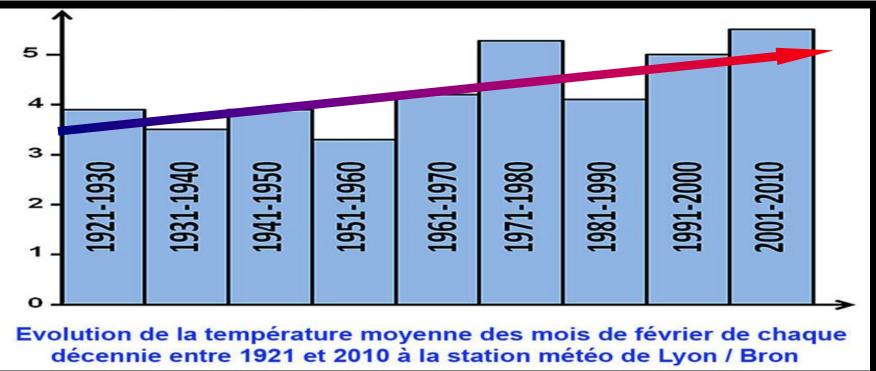






Ça ne se voit pas qu'avec des courbes de température. Voici la Saône à Lyon, le 13 février 2012





La moyenne de février augmente ; les épisodes de grands froids avec gel de la Saône se raréfient.

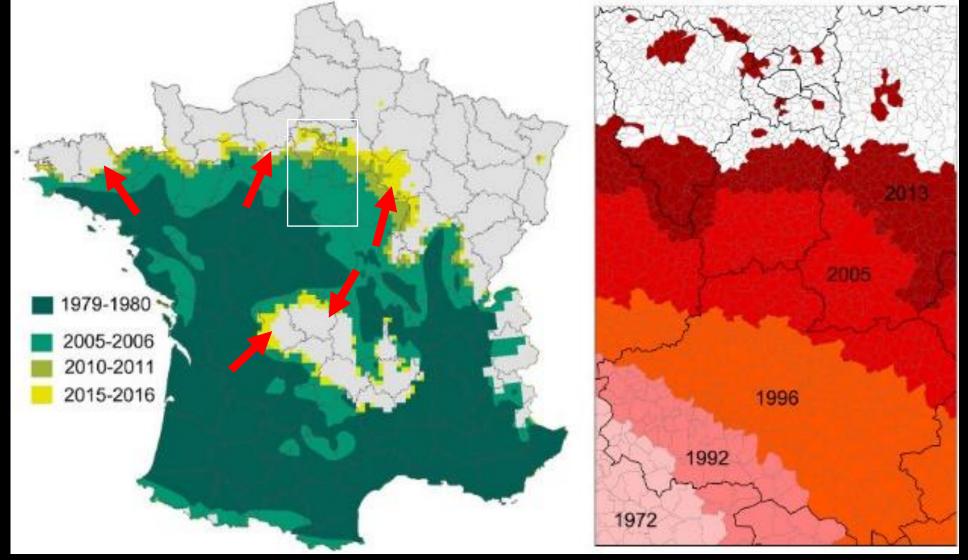


Les chenilles processionnaires



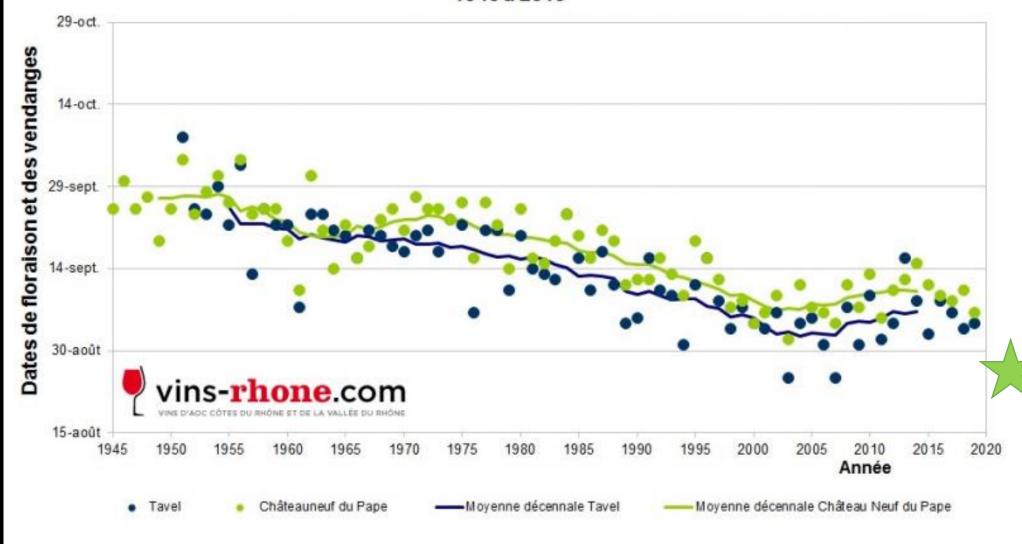
Ca ne se voit pas qu'avec des courbes de température.

Les espèces du sud migrent vers le nord.



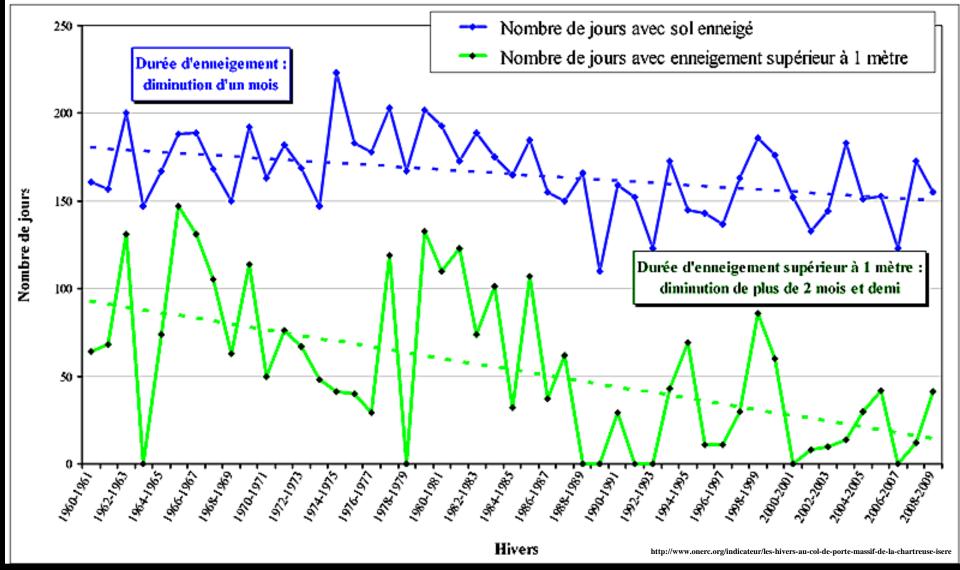
Cartes de cette migration vers le nord et vers les montagnes. Paris est atteint en 2015! Pour parodier Serge Regiani: « Les chenilles sont entrées dans Paris »!

Evolution des dates de début de vendanges en Côtes du Rhône méridionales de 1945 à 2019

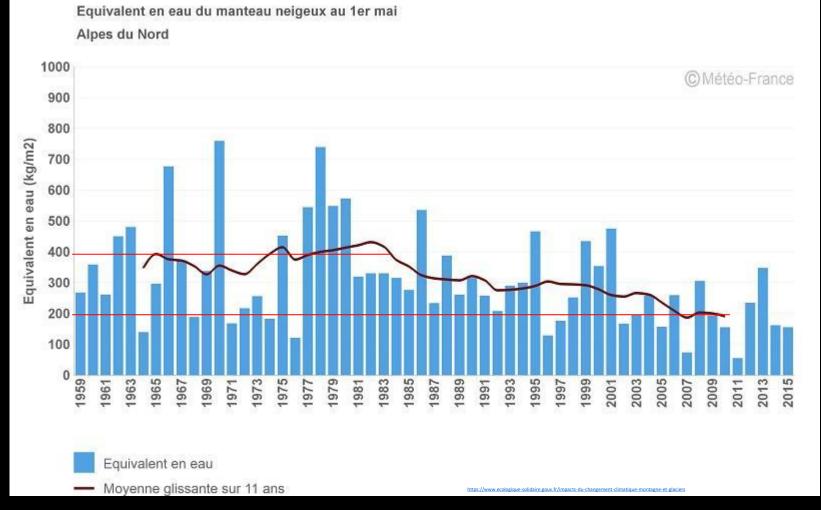


Date du début des vendanges à Chateauneuf du Pape Date du début des vendanges dans la région de Tavel

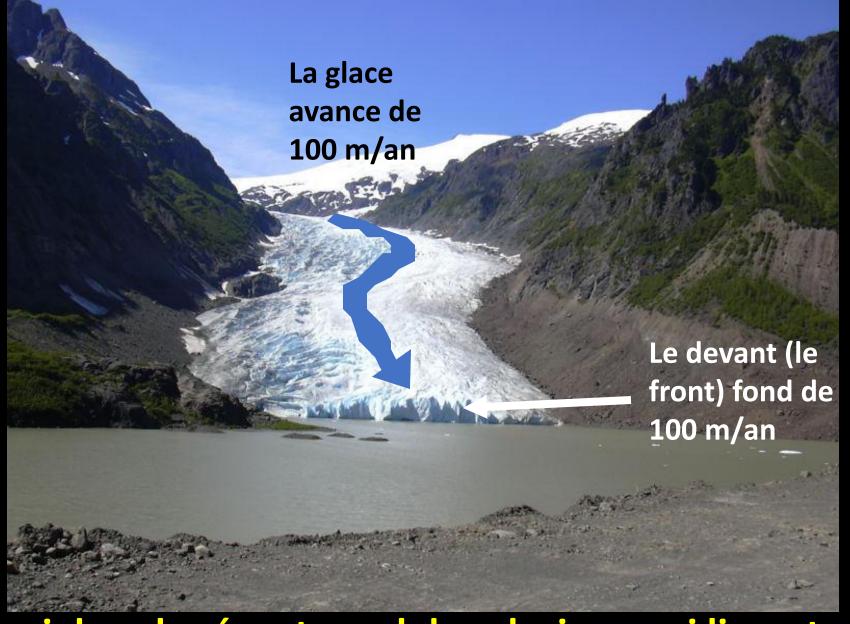
22 août 2022



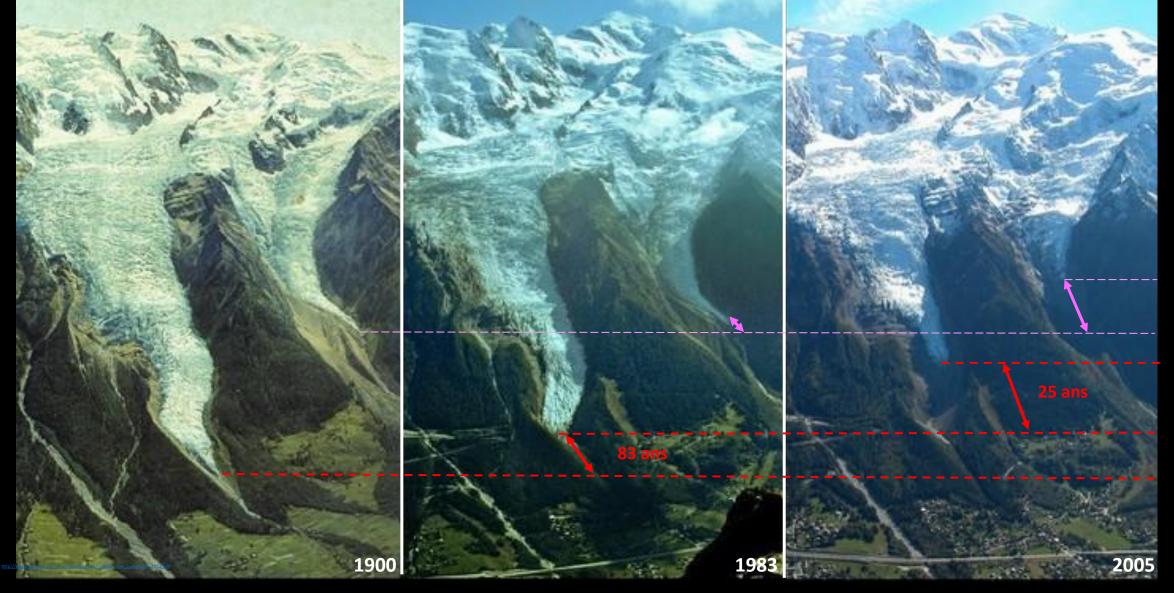
Ca se voit aussi dans la hauteur et la durée de l'enneigement, ici au Col de Porte, près de Grenoble.



Quantité de neige restant sur les Alpes du Nord début mai. Ca fait de l'eau en moins pour l'été, pour faire marcher les barrages hydroélectriques, irriguer la vallée du Rhône, refroidir les centrales nucléaires ...



Ca se voit aussi dans le récent recul des glaciers, qui lissent naturellement les irrégularités annuelles, « mieux » que les courbes.



Restons « chez nous ». Voici un siècle (105 ans) de recul des glaciers des Bossons et du Taconnaz (à Chamonix). On voit l'accélération!



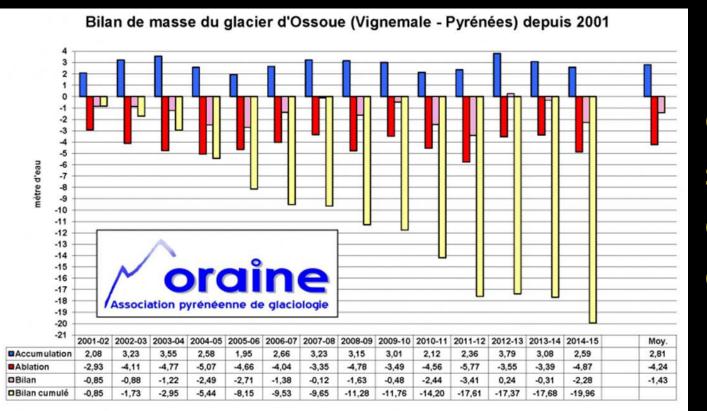
C'est pareil pour la Mer de Glace.



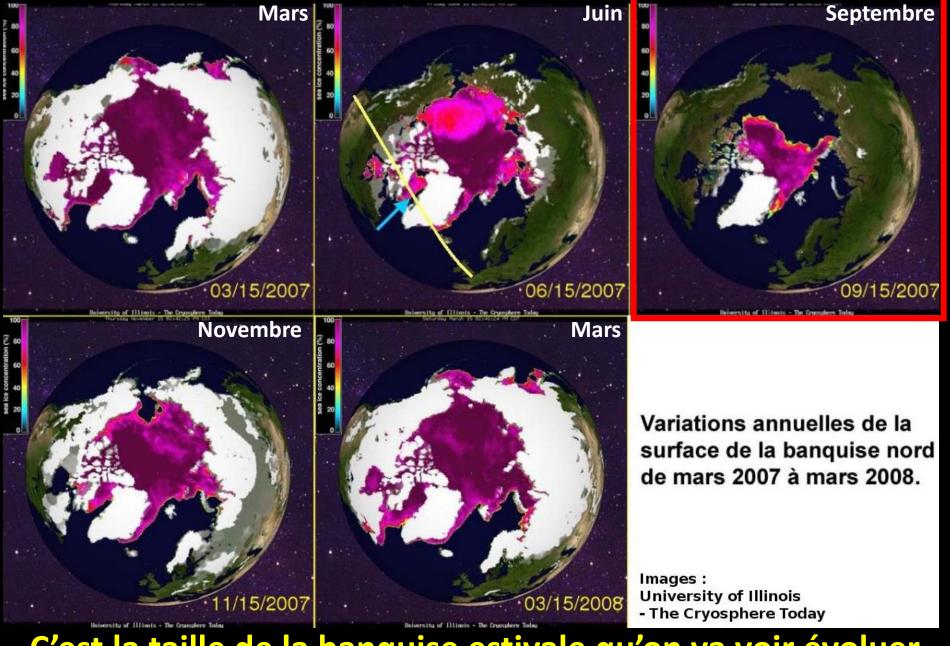
Macron lui-même est venu « constater les dégâts » le 12 février 2020. Dommage qu'il ne soit pas venu accompagné de Donald Trump, Jair Bolsonaro ou les actionnaires des compagnies pétrolières!







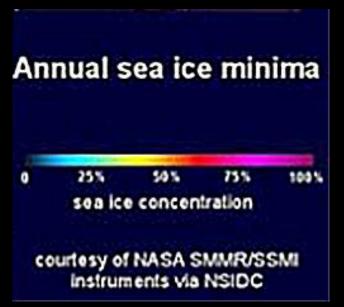
Certains glaciers sont bien suivis depuis quelques décennies!



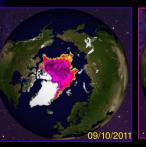
C'est la taille de la banquise estivale qu'on va voir évoluer d'années en années dans la diapo suivante :

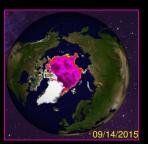
1991/09/16 1992/09/01

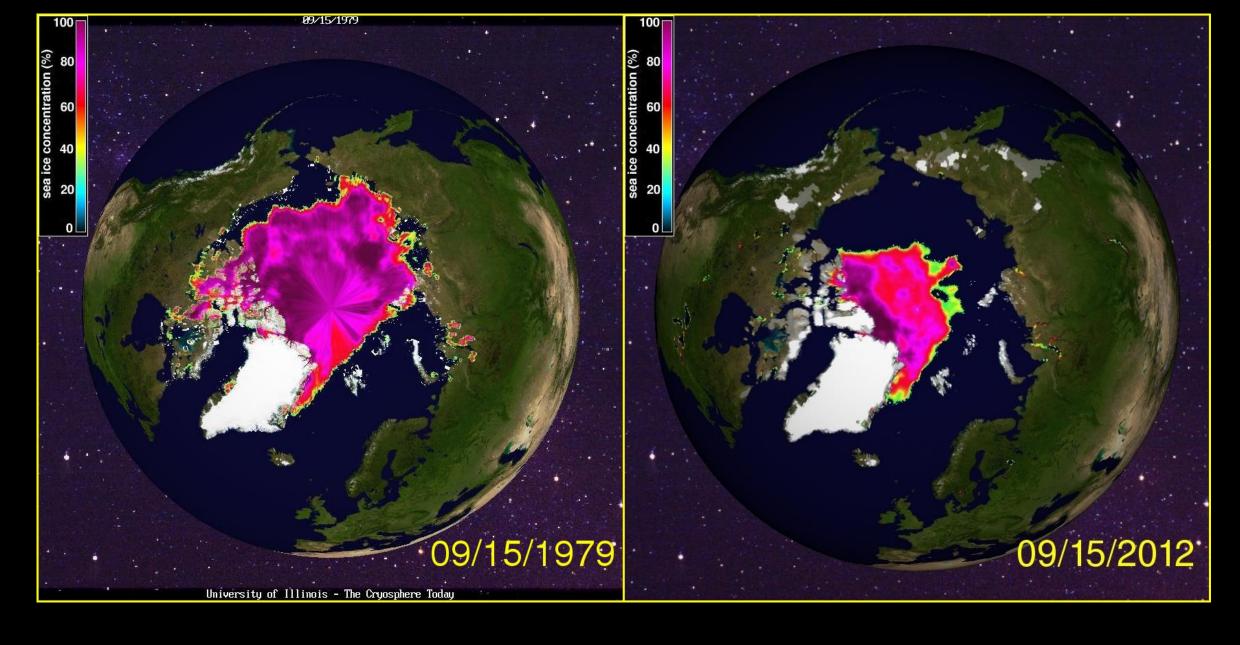
La réduction de la banquise estivale nord depuis 1991



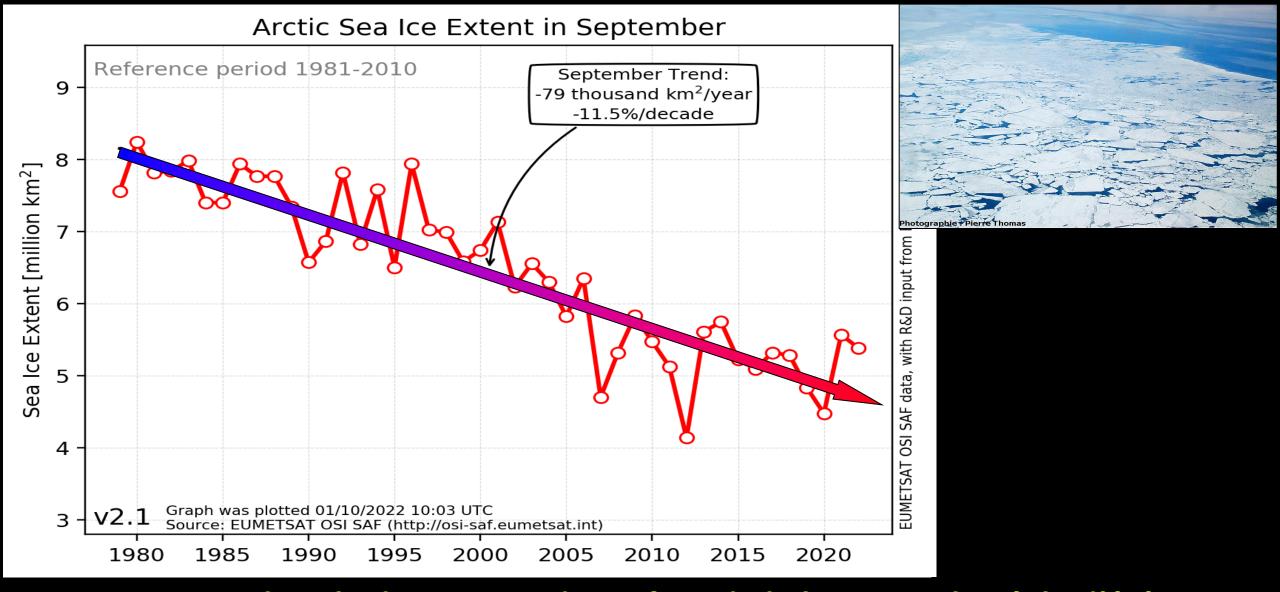
http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere







De septembre 1979 (début des données) à septembre 2012

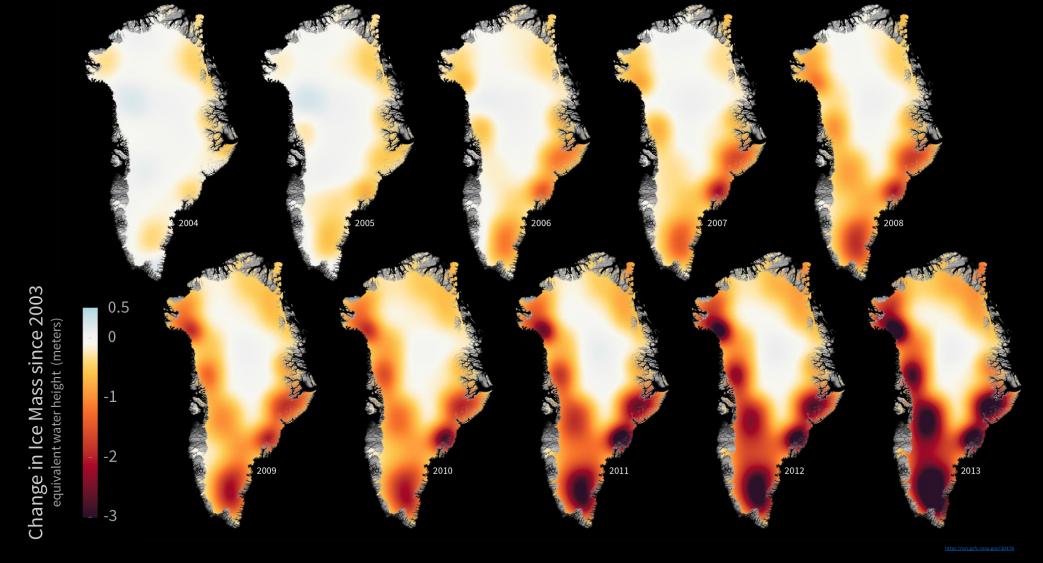


Ca se voit aussi dans la diminution de surface de la banquise boréale d'été. La tendance globale (flèche bleu et rouge) montre une diminution moyenne de 3.300.000 km² (6 fois la surface de la France) en 42 ans.

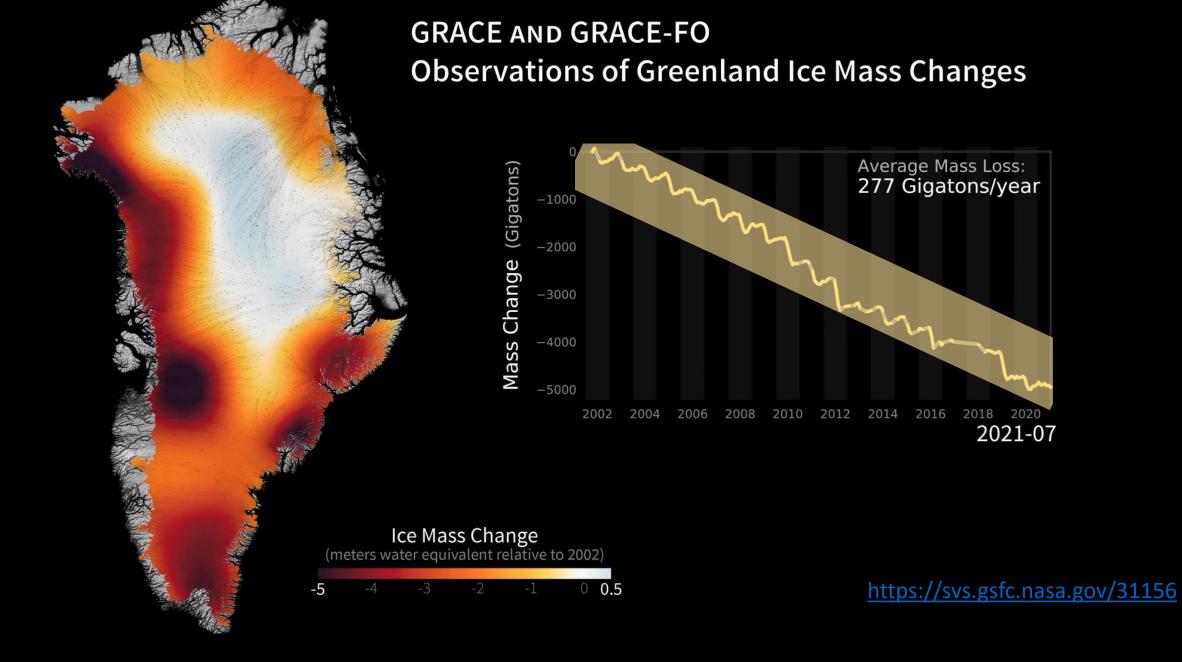
Cela se voit aussi les calottes glaciaires continentales (groenlandaise et antarctique).



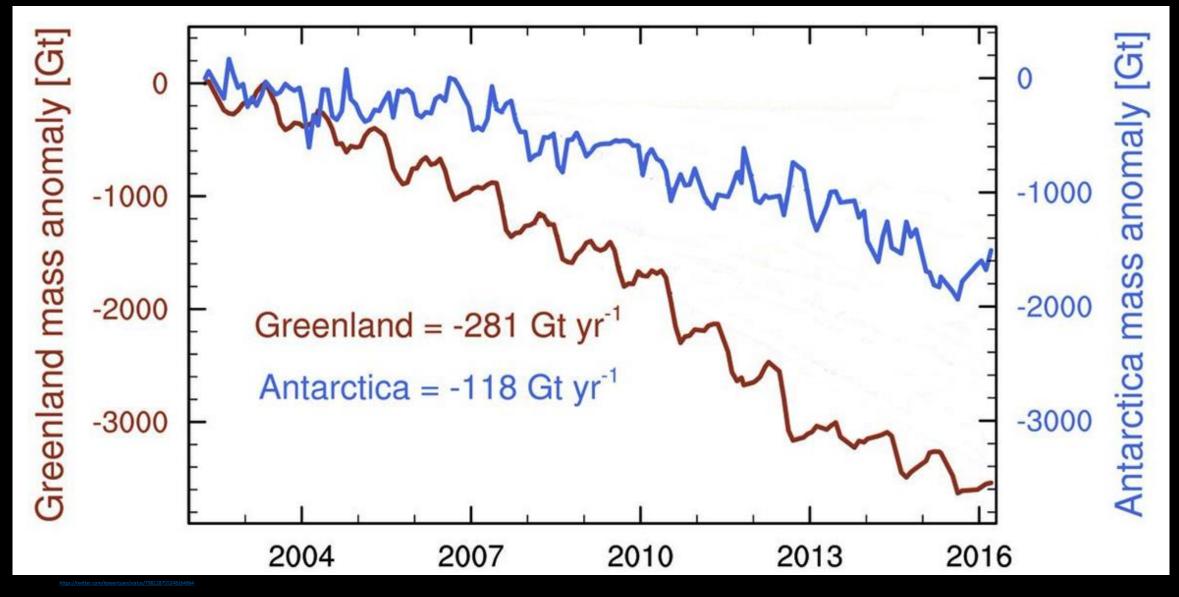




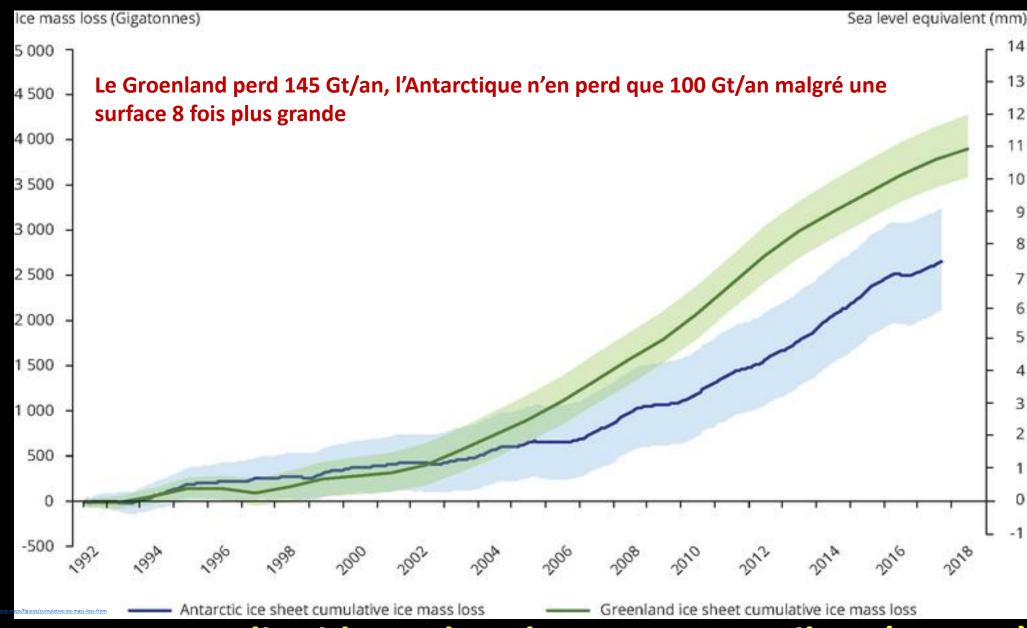
Avec les satellites, on peut mesurer les variations de masse sur Terre, et les convertir en hauteur de glace en plus ou moins (en moins en l'occurrence). Ici, l'évolution 2004-2013. Ca va jusqu'à -3 m!



La situation l'an dernier : jusqu'à -5 m



Pour l'instant, le Groenland perd 2,4 fois plus de glace que l'Antarctique.

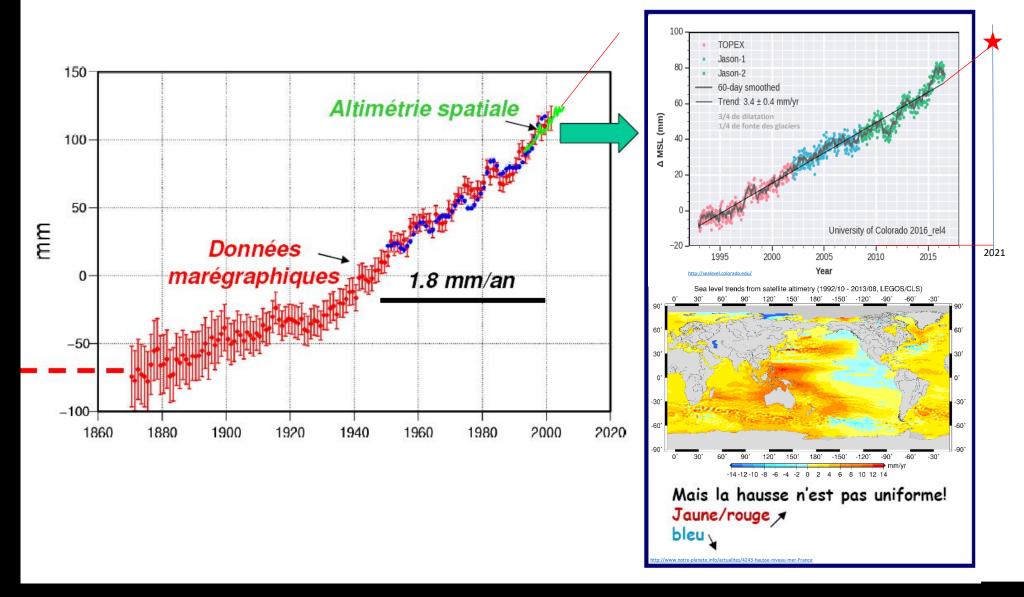


Et toute cette eau liquide va dans la mer, et contribue (un peu) à faire monter le niveau de la mer



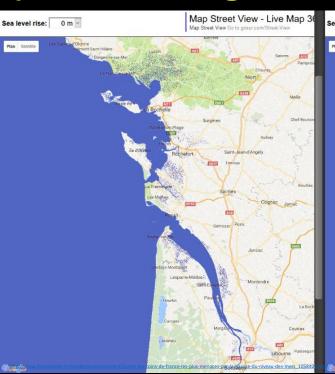
La fonte des glaciers polaires et des glaciers de montagne a dû faire monter le niveau de la mer d'environ 3 cm.

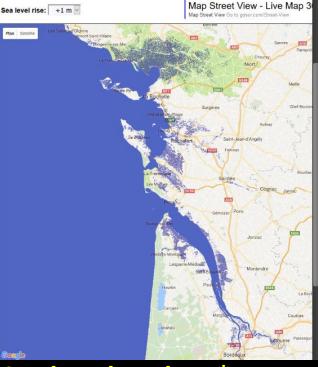
Mais il y a un autre phénomène : la dilatation thermique des mers. L'eau de mer, comme tous les liquides, se dilate quand sa température augmente. Il se dilate de 0,026% quand sa température augmente de 1°C. Ce n'est pas beaucoup. Mais si les +1° d'augmentation depuis 1 siècle s'appliquent sur 1 km d'épaisseur, cela fait une augmentation théorique du niveau de la mer de 26 cm.

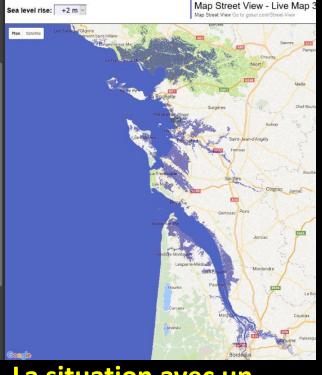


Les mesures vérifient la théorie! La mer est montée d'environ 25 cm depuis le début de la 3eme République (10% dus à la fonte des glaces, 90% à la dilatation).

Ce que va devenir le littoral atlantique d'ici 78 ans (là où se baigneront nos petits enfants) si ...





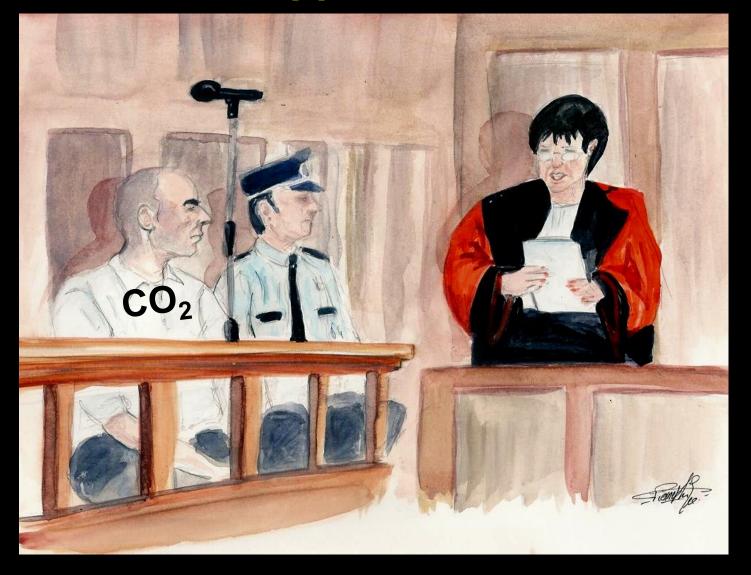


La situation actuelle

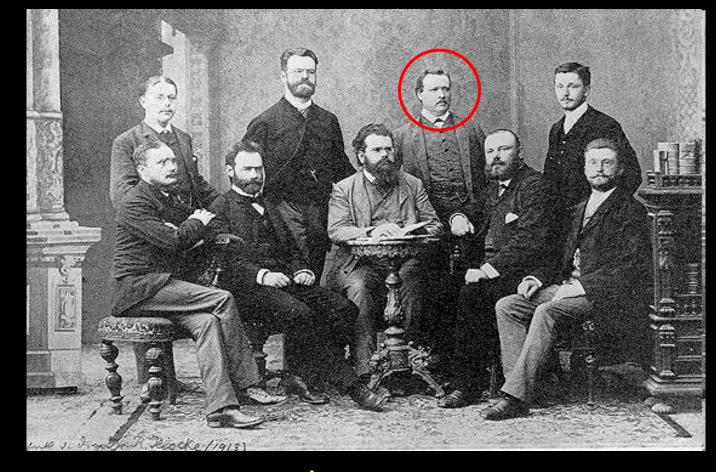
La situation si on *
continue à fonctionner
comme maintenant
(croissance, pas de
révolution énergétique
...), bref, le monde selon
ce qui se profile.

La situation avec un monde selon les fantasmes de Trump et autres républicains américains, de Bolsonaro ...

* « On », c'est toute la planète, et pas que nous, en particulier la Chine, les USA, l'Inde ..., mais nous aussi. Un des « mis en examen » : le gaz carbonique (CO₂) qui cause un effet de serre supplémentaire.

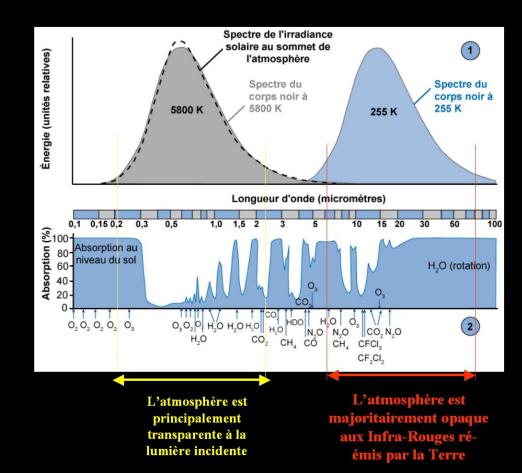


Pourquoi accuse-t-on, entre autres, le CO, ?



Et dès la fin du 19ème siècle, on se disait que le CO₂ atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre devait « naturellement » rendre la Terre plus chaude qu'elle serait sans cet effet de serre.

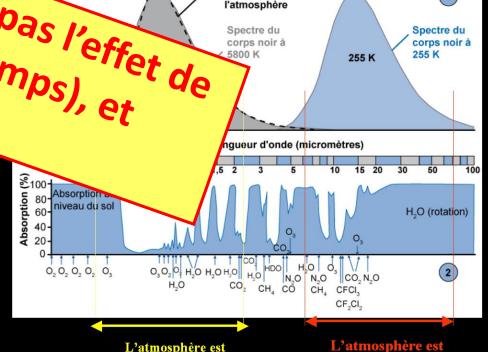
La physique de l'effet de serre est « bien » connue depuis Svante Arrhenius (1859-1927)





La physique de l'effet de serre est « bien » connue depuis Svante Arrhenius (1859-1927)

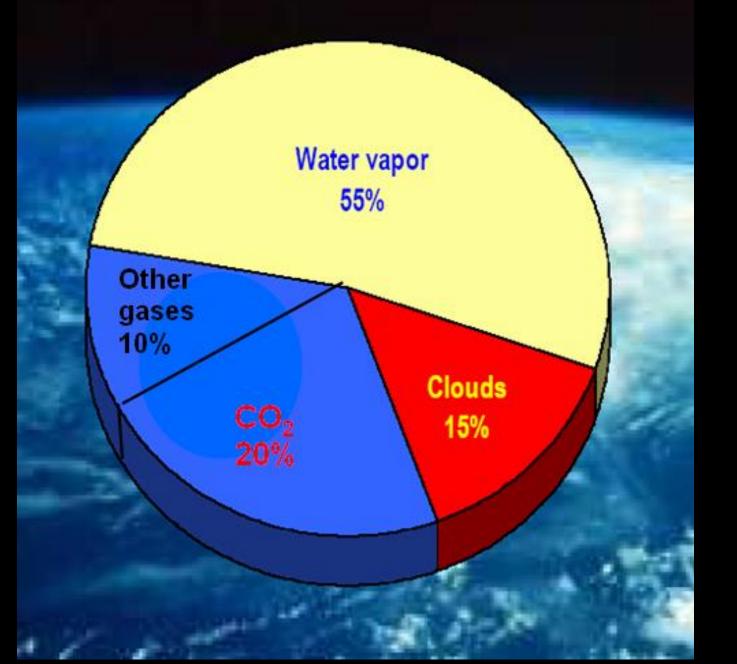
Et dès la fin du 19^{ème} siècle, on se disait que le CO₂ atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre devait « naturellement » rendre la Terre plus chaude qu'elle serait sans cet effet de serre.



principalement

Spectre de l'irradiance

L'effet de serre naturel sur Terre

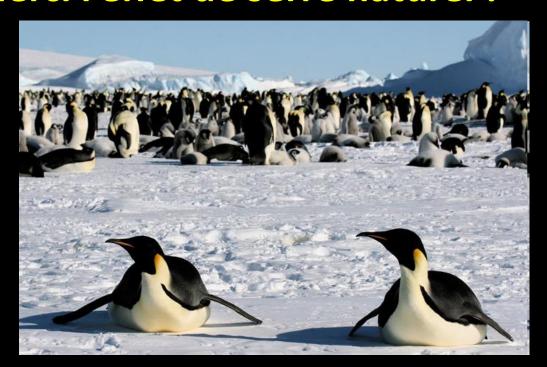


L'atmosphère de la Terre comprend 78% de diazote, 21% de dioxygène, mais 1% d'autres gaz, dont la vapeur d'eau, le méthane et le CO₂, gaz à effet de serre (dits GES). La Terre est une serre naturelle!

Cet effet de serre naturel sur Terre rajoute 155 W/m² aux 342 W/m² du rayonnement solaire moyen arrivant au sol. Avec 342 W/m², la température moyenne serait de -18°C.

Avec $342 + 155 = 497 \text{ W/m}^2$, la température moyenne est de + 14° C, soit 32° de plus.

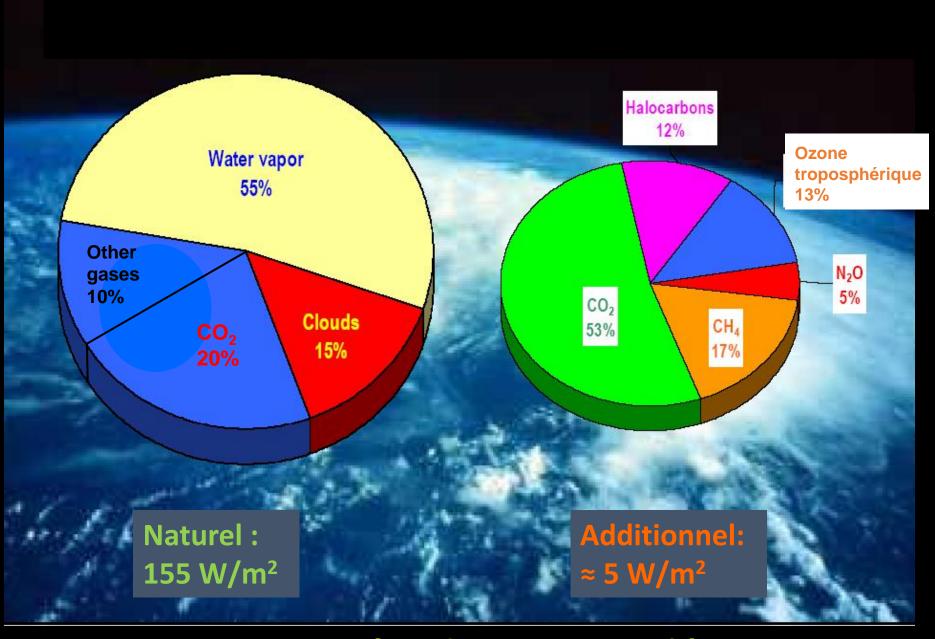
Merci l'effet de serre naturel!





Cinq gaz rejetés par les activités humaines, surtout le CO₂, augmentent l'effet de serre naturel. Depuis 150 ans, aux 497 W/m² « ordinaires », les activités humaines rajoutent des watts, aujourd'hui ≈ 5 W/m².

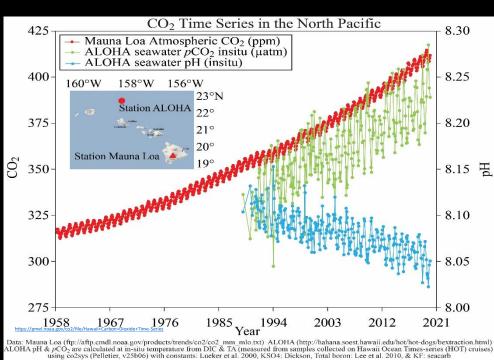


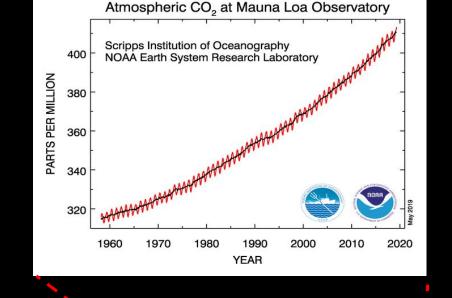


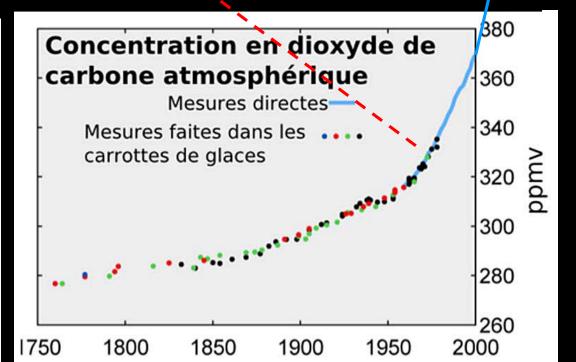
Les principaux accusés : des GES supplémentaires.

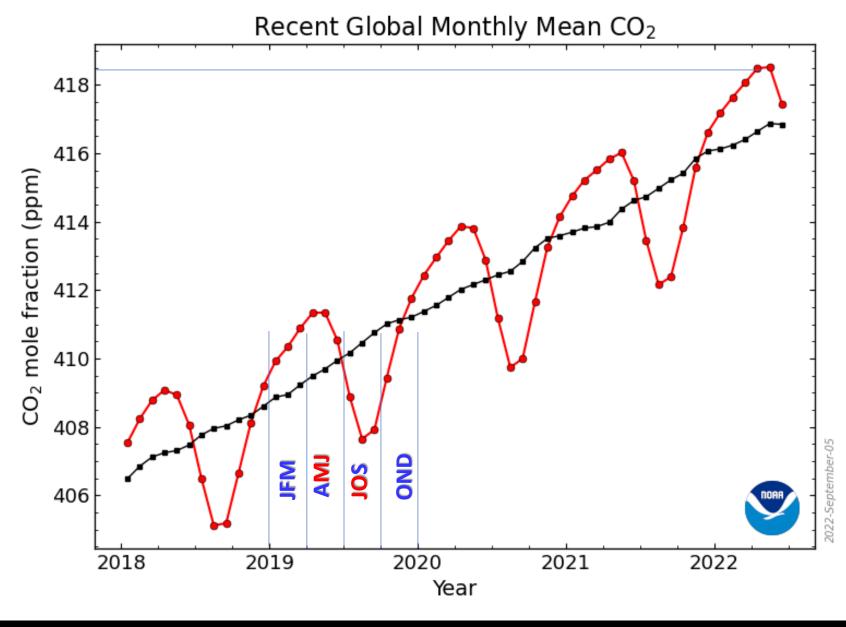
Les variations du CO₂ atmosphérique.







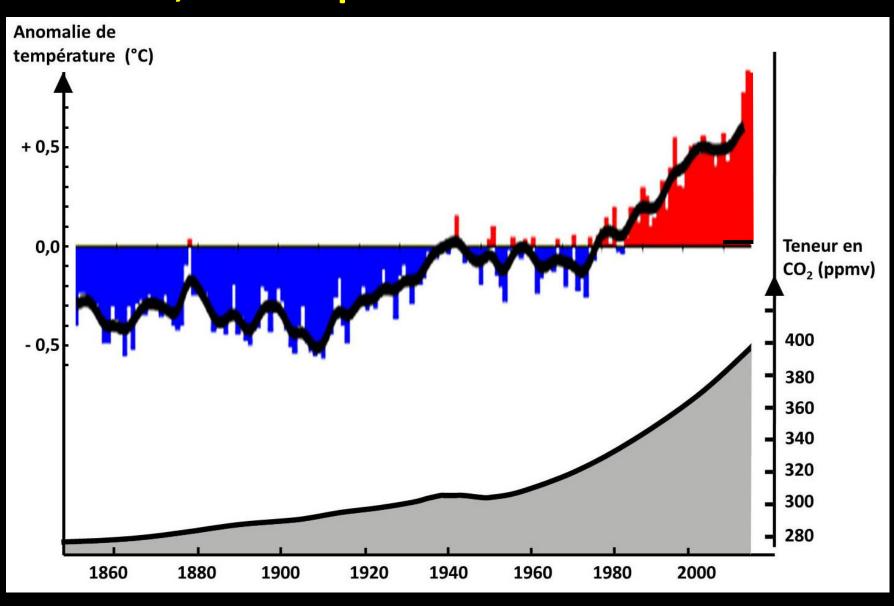


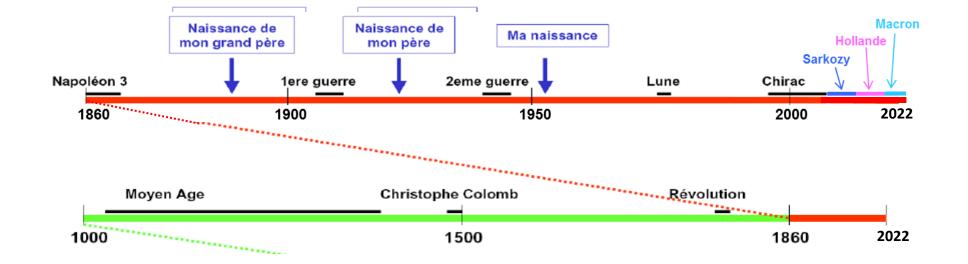


Juin 2022 : 417.4 ppm Juin 2021 415.2 ppm

Les dernières (mauvaises) nouvelles : le CO₂ en juin 2022.

Depuis 150 ans, le CO₂ augmente (charbon, pétrole, gaz ...) et la température « suit », comme prévu!





L'échelle de 1000 ans. Comment fait-on avant 1860, avant l'invention de la météo « mondiale », avant la généralisation des thermomètres … ?

Comment fait-on avant 1860, avant l'invention de la météo, des thermomètres ... ? On utilise les glaciers, les chroniques historiques ...





Horace Bénédict de Saussure, 1740-1799



Depuis 1850, les glacier reculent. Voici le glacier de l'Invernet en 2000.



En 1970. On voit le recul en 30 ans, recul « récent »



Le même en 1850.

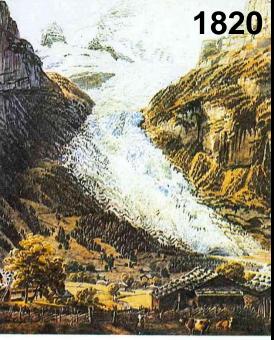
Figure I.6. Le glacier inférieur de Grindelwald



vers 1808 (d'après J.J. Biedermann; point g sur la figure I.5)

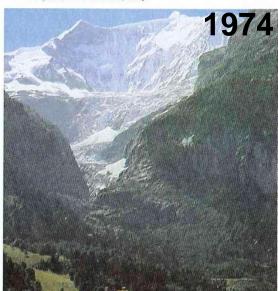






 vers 1820, alors que son front se situe environ 1600 m en aval du front actuel parmi les champs et les maisons d'une vallée très habitée et aisément accessible (aquarelle 42,8 x 33,6 cm; collection privée; photo H. Zumbühl, Univerité de Berne; ONST, 1981).

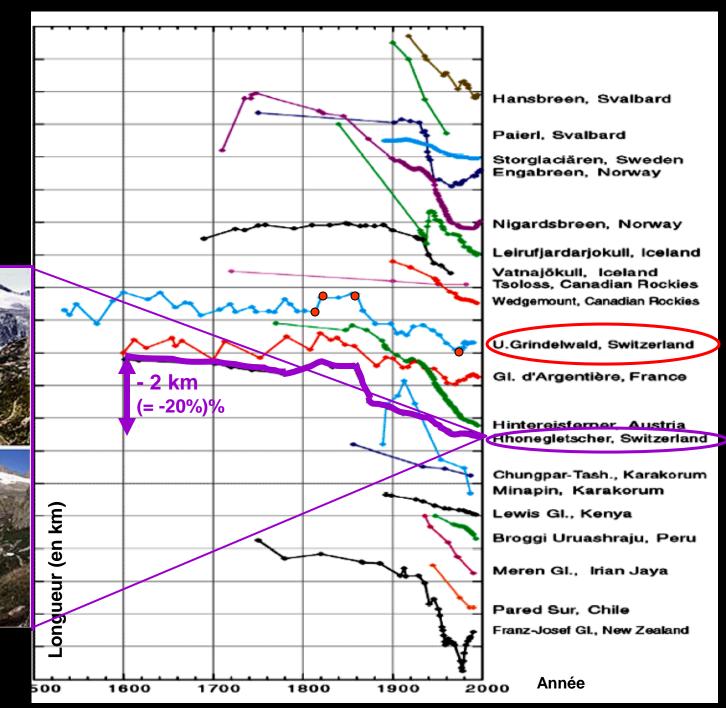
en 1974 (photo; tiré de Schotterer, 1988).



Un glacier bien documenté : le glacier inférieur de Grindelwald.

Cette époque froide, du 14ème au 19ème siècle (compris) est appelée « Petit Age Glaciaire »

Variation de la longueur de quelques glaciers de montagne



On peut étudier les chroniques « historiques ».

Un exemple « photogénique » :





Voici comment Breughel (16ème siècle) voyait le « petit âge glaciaire »



La foire du givre de 1683, sur la Tamise gelée



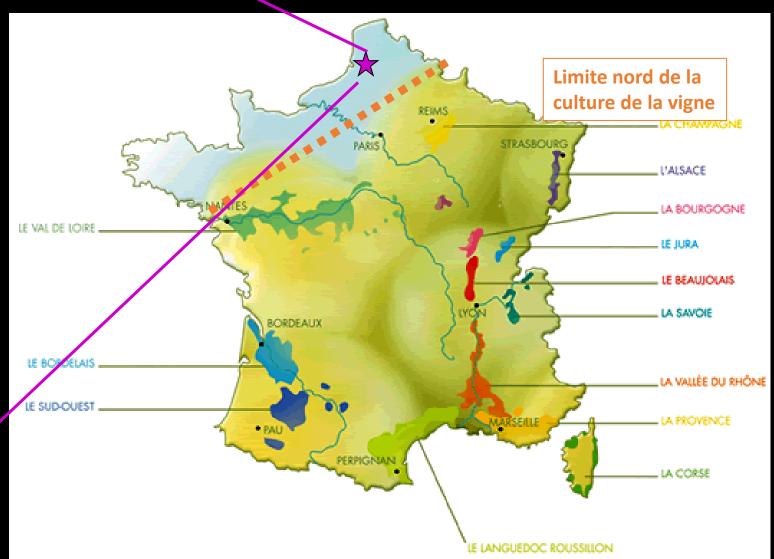
Il y eu des famines terribles sous Louis XIV, dont la Grande Famine de 1693-1694.

Ces famines servent de toile de fond à des contes de Perrault, dont le Petit Poucet.



Cathédrale d'Amiens (13ème siècle), 3 siècles avant Breughel

Retournons 3 à 4 siècles en arrière. Allons à Amiens, en Picardie. C'est trop au nord pourqu'on y cultive de la vigne! Mais ...

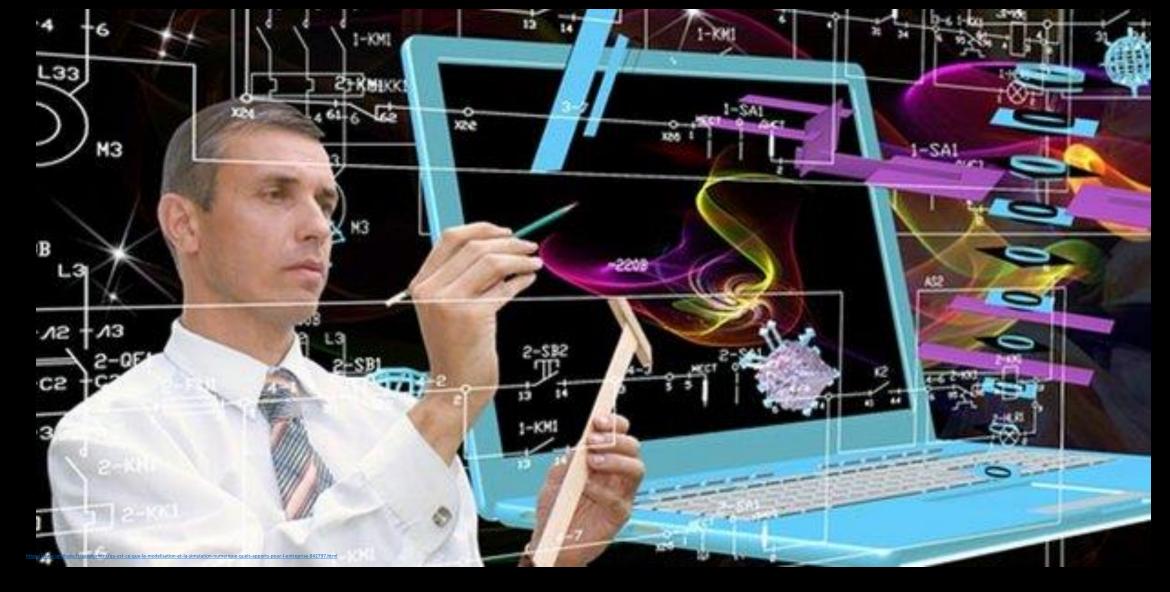




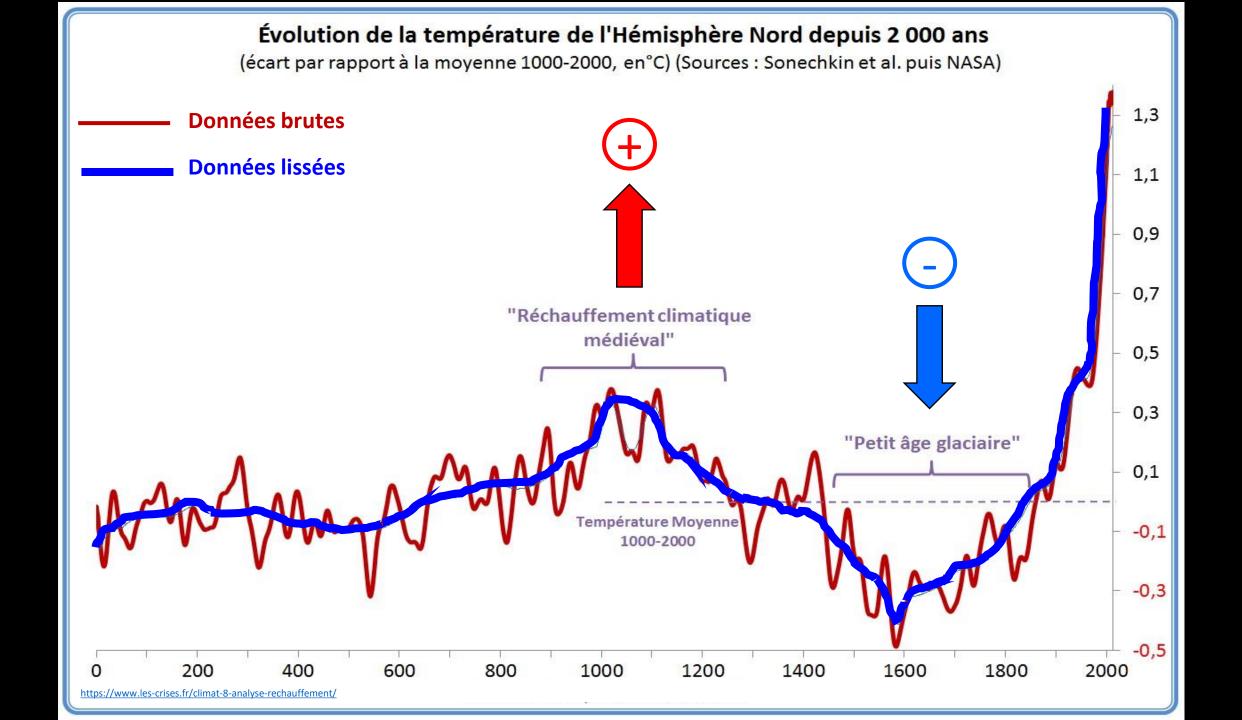
Au 13^{ème} siècle, il faisait assez chaud en Picardie pour cultiver la vigne. Le climat était plus chaud qu'aujourd'hui. C'est un des exemples de l'études des pratiques agricoles, de l'extension des cultures ...



On confirme cela par l'étude des pollens fossiles et d'autres données géologiques.



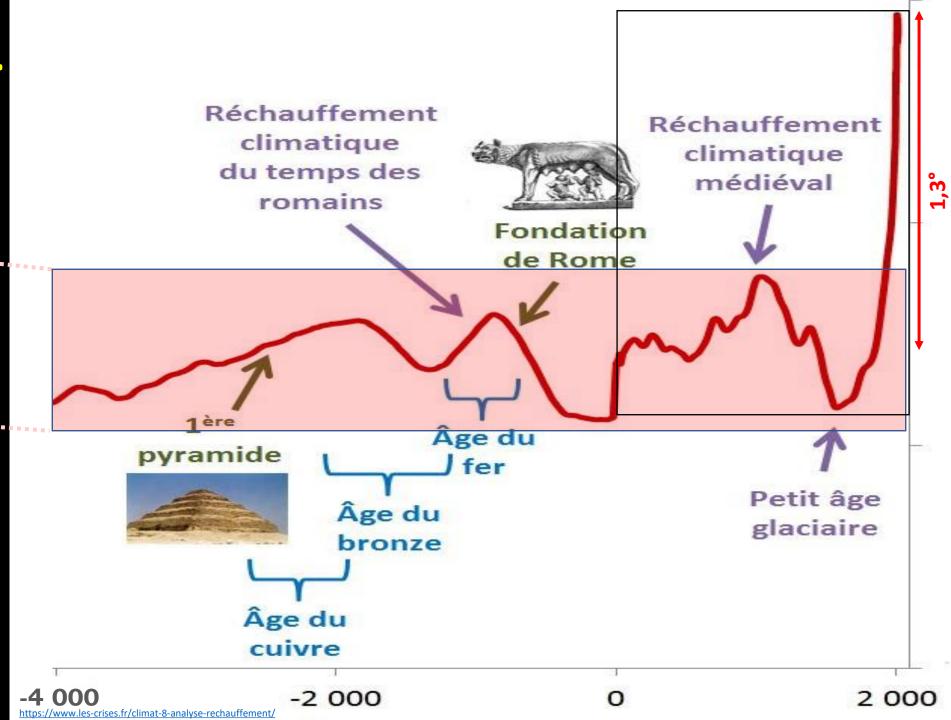
Si on combine toutes ces données historiques, archéologiques, géologiques ... on arrive au résultat suivant :

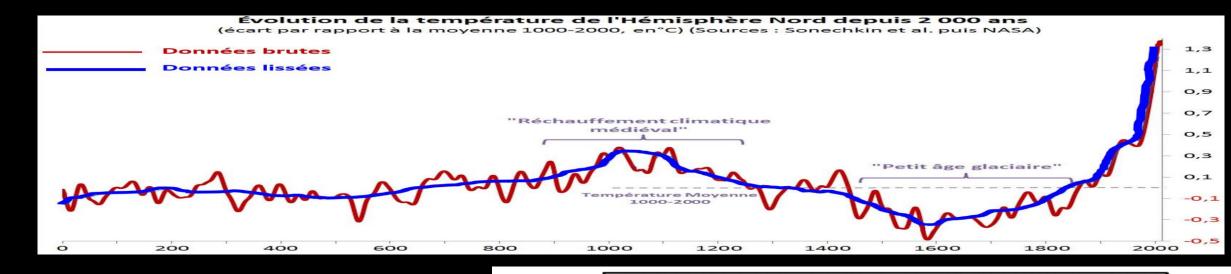


Depuis 4000 ans ...

On voit qu'on sort du champs des variations naturelles.

Quelles peuvent être les causes de ces variatins ?

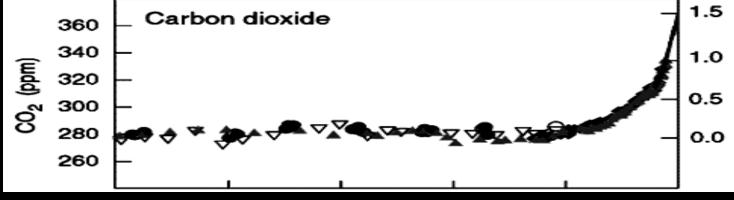


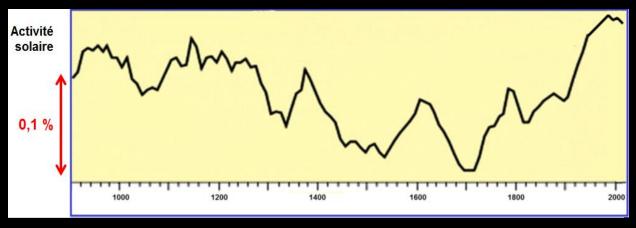


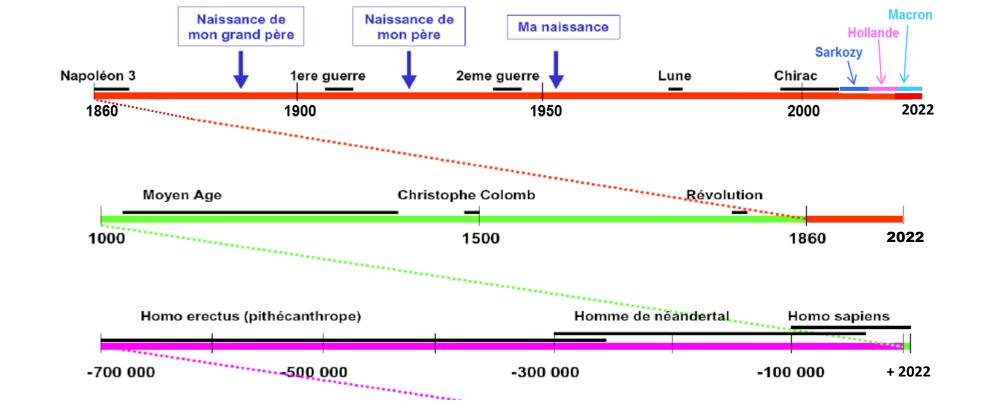
Comparaison température / CO₂ / soleil.

Le moins que l'on puisse dire, c'est que les relations ne sont pas claires.

Il reste du travail à faire pour comprendre! Deux possible coupables : le soleil, et l'éruption du Samalas au 13ème siècle



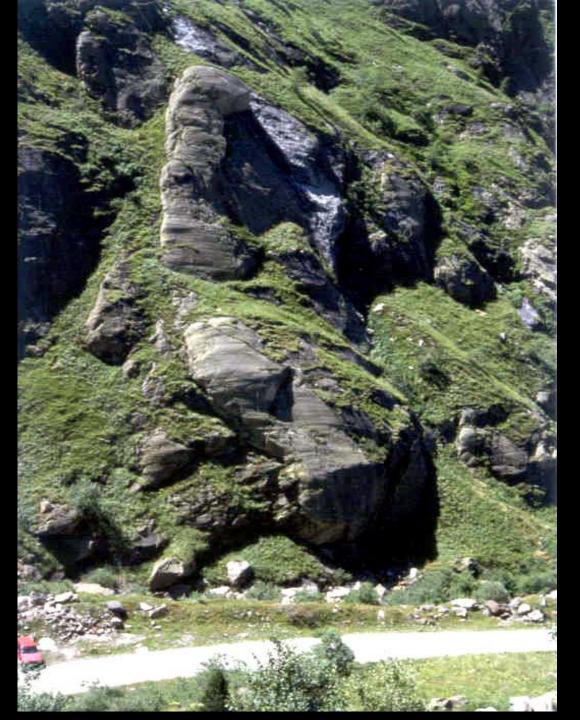


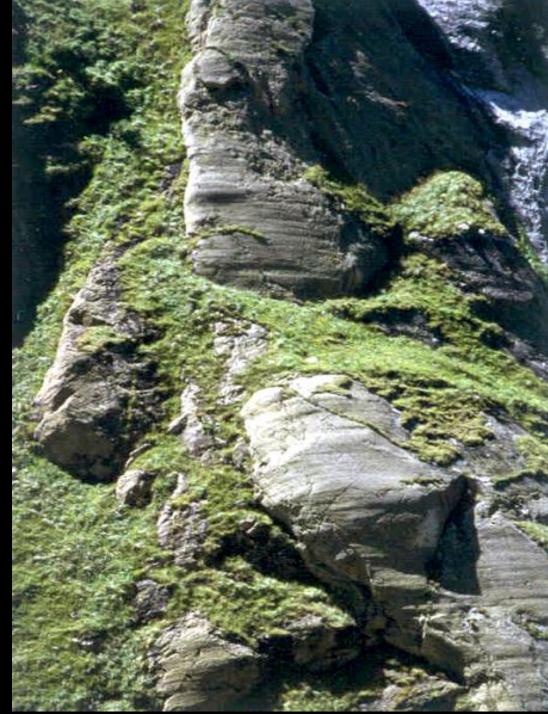


L'échelle du million d'années. Comment fait-on avant les chroniques et objets « historiques » ou archéologiques … ?

Les variations climatiques pré-historiques.











Les Alpes ,il y a
-20 000 et
- 140 000 ans

Jusqu'où allaient ces glaciers des Alpes? A Lyon!

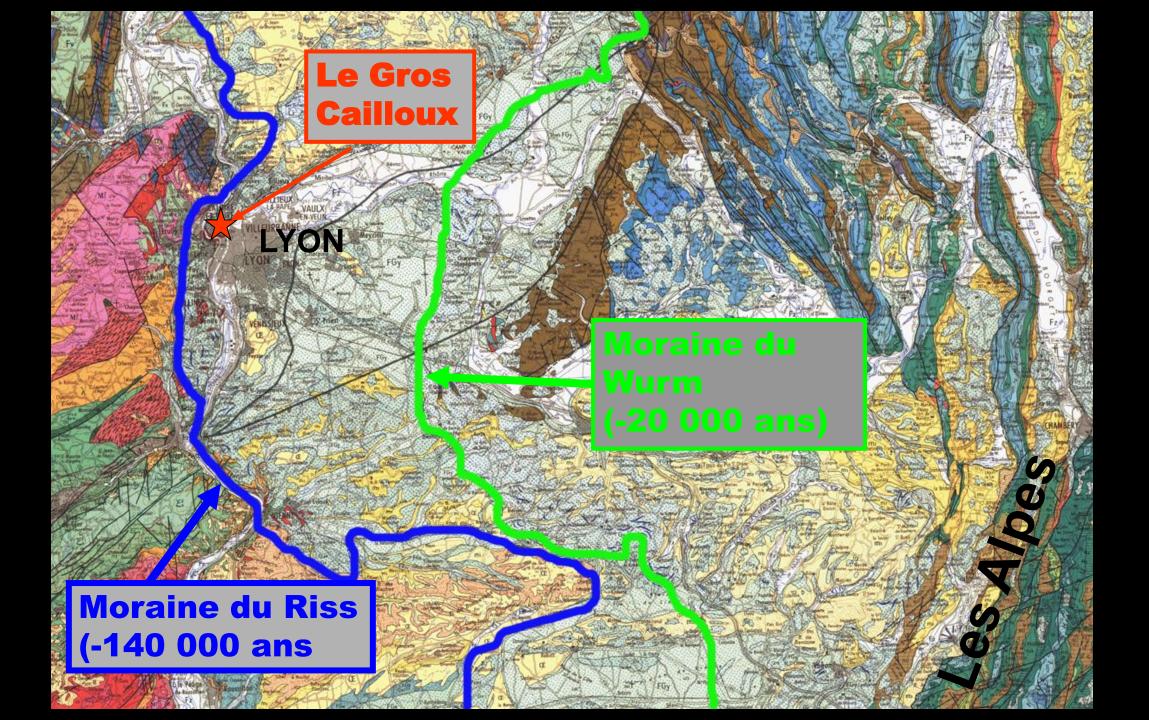


Le Gros Cailloux de la Croix Rousse, aujourd'hui.



La Croix Rousse il y a 140 000 ans.



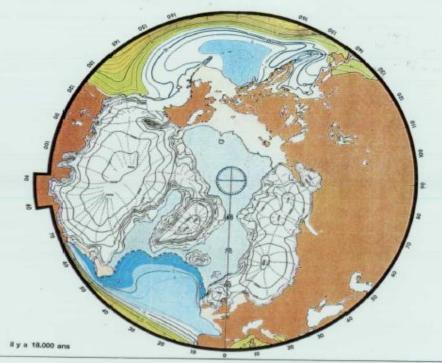


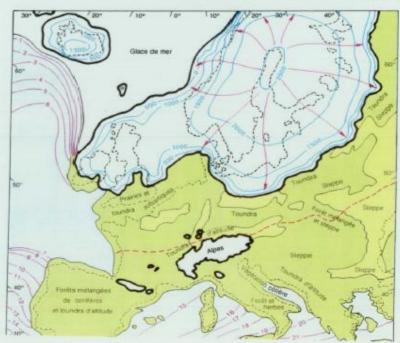


L'Europe il y a 20 000 ans.







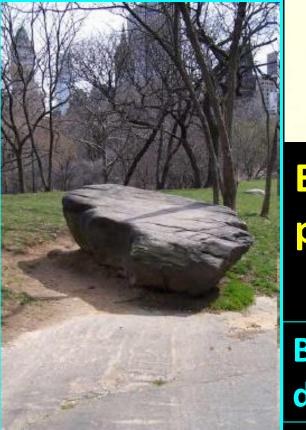






Et il n'y a pas que l'Europe qui est touchée ; c'est un phénomène mondial.

Bloc erratique et surface striée dans Central Park à New York



Le monde « actuel », peu de glaciers et température moyenne d'environ 14°.



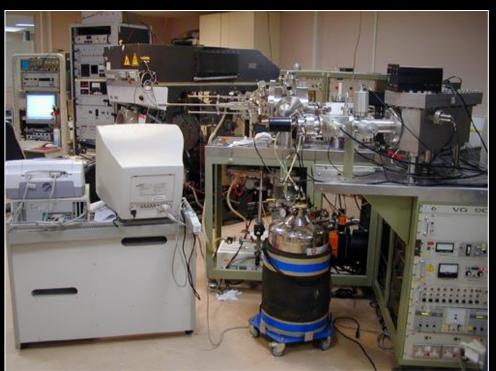
Le monde « il y a 18 000 ans », beaucoup de glaciers et température Last Glacial Maximum 18,000 years ago moyenne d'environ 10-12°.

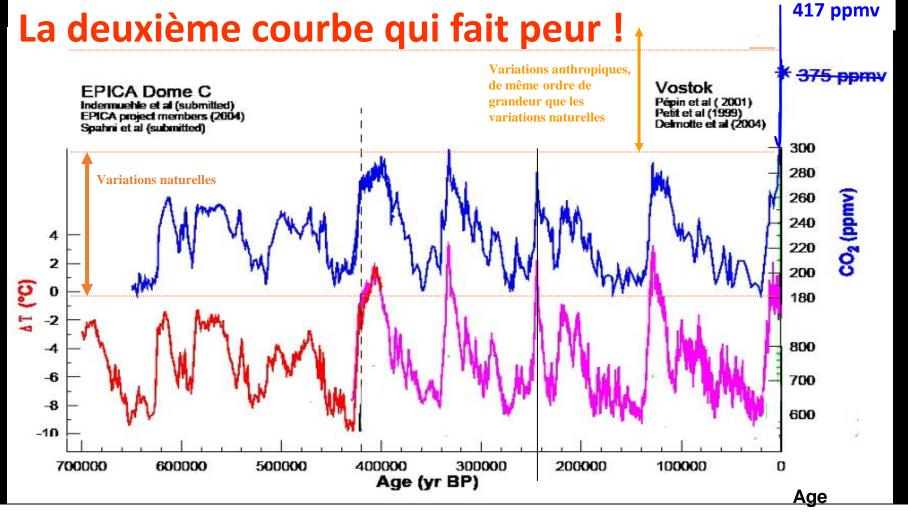


On arrive avec des études dans les glaces des pôles à connaître les anciennes températures locales et les anciennes teneurs en CO₂ globales.

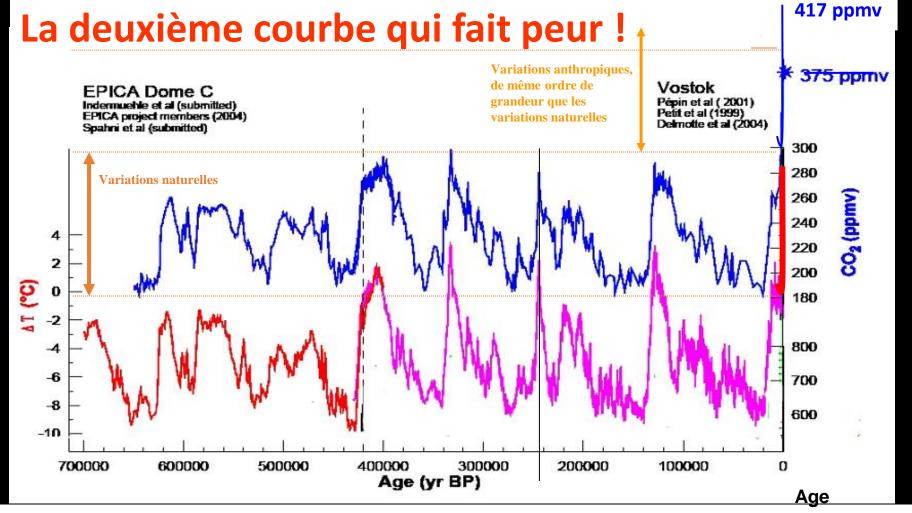








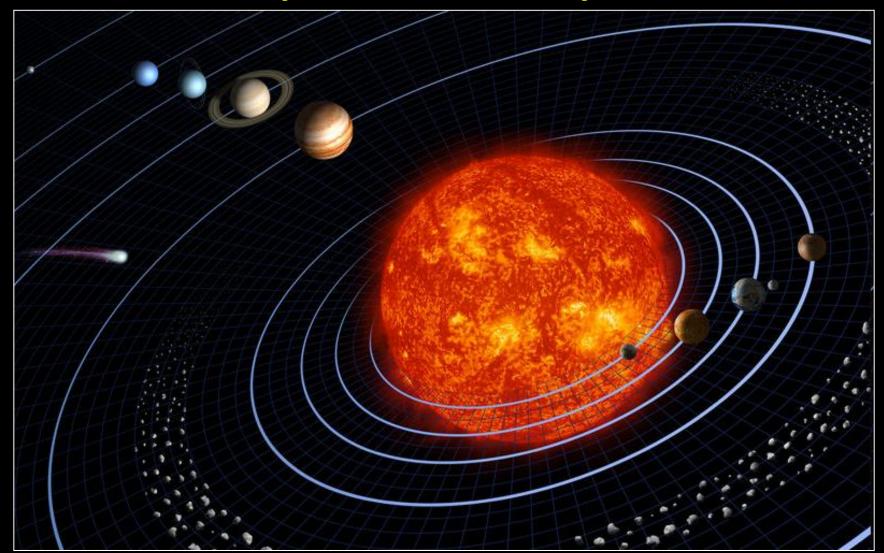
La température antarctique varie de +2 à -10° C par rapport à la température actuelle (-40° C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à $\frac{375}{417}$. Les variations sont parfaitement corrélées. Et, chose très surprenante, les variations de température commencent quelques siècles avant celles de CO_2



La température antarctique varie de +2 à -10° C par rapport à la température actuelle (-40° C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à $\frac{375}{417}$. Les variations sont parfaitement corrélées. Et, chose très surprenante, les variations de température commencent quelques siècles avant celles de CO_2

Ces variations régulières ont le même rythme que des variations « astronomiques » (ellipticité de l'orbite, inclinaison de l'axe de rotation ...). C'est l'astronomie qui est la « cause première », le

déclencheur.

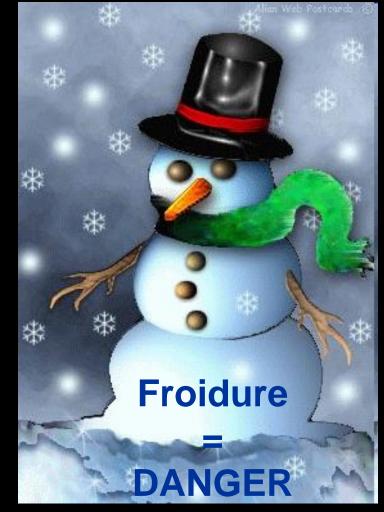


Ces variations « astronomiques » ont le bon rythme, mais sont très, trop, faibles. Pourquoi d'aussi fortes variations de température avec d'aussi faible variations astronomiques, <u>et que vient faire le CO₂ dans</u>

tout ça?







Si on réchauffe de l'eau qui contient du CO₂ dissout (eau gazeuse), le CO₂ part.

Or l'océan contient beaucoup de CO₂ dissout : il y a ≈ 100 fois plus de CO₂ dans la mer que dans l'atmosphère.





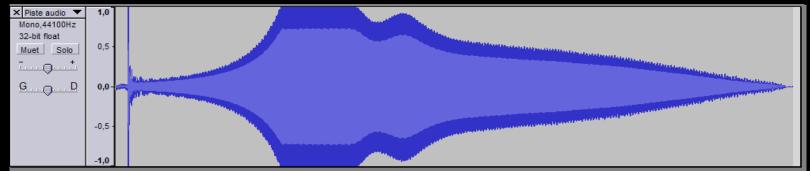
Le soleil et les variations d'orbite de la Terre réchauffent un petit peu -> la planète se réchauffe un petit peu -> l'océan se réchauffe un petit peu -> un petit peu de CO₂ quitte l'océan et va dans l'atmosphère -> l'effet de serre augmente → la température de l'air et de la mer augmente → du nouveau CO_2 quitte l'eau de mer \rightarrow l'effet de serre augmente encore \rightarrow la température augmente encore > du CO, quitte encore la mer > l'effet de serre augmente de plus en plus ... Et il y a d'autres boucles de rétroactions positives qui s'ajoutent, en particulier des boucles faisant intervenir les sols.



Depuis quelques millions d'années, l'Astronomie fournissait le signal, et le CO₂ jouait le rôle d'amplificateur. Depuis 150 ans, le signal ne varie pas (ou peu) mais l'Homme augmente considérablement l'amplificateur. Pourvu que ça ne s'emballe pas! Quand ça s'emballe avec un amplificateur « audio », on obtient un effet dit

AL CUTOPERINTERSISE F

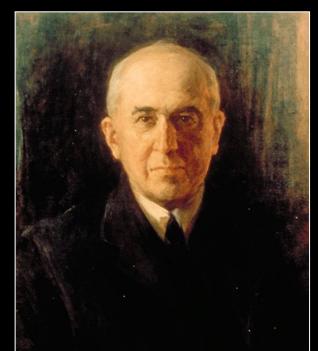
« de Larsen ».



Que risque d'être un possible effet de Larsen en climatologie ? Personne ne le sait, mais évitons de jouer les apprentis sorciers!

Quand va débuter la prochaine glaciation? L'astronomie nous dit « peut-être dans 18 000 ans, pourquoi pas dans $18\,000 + 23\,000 = 41\,000$ ans, mais vraisemblablement dans 18 000 + 23 000 + 23 000 = 64 000 ans », quand l'ellipticité de l'orbite sera redevenue significative.







La remontée du niveau des mers.

Si tous les glaciers du monde fondaient ...

Antarctique: 29 millions de km³ Groenland: 2,5 millions de km³

Glaciers de montagne : 0,2 millions de km³.

Si tout ça fondait, le niveau de la mer monterait de :

70 m + 7 m + 0,6 m, soit 77 à 78 m, sans compter la dilatation thermique des mers.

Ca a déjà bien commencé pour les glaciers de montagne, un peu pour le Groenland, un tout petit peu pour l'Antarctique.

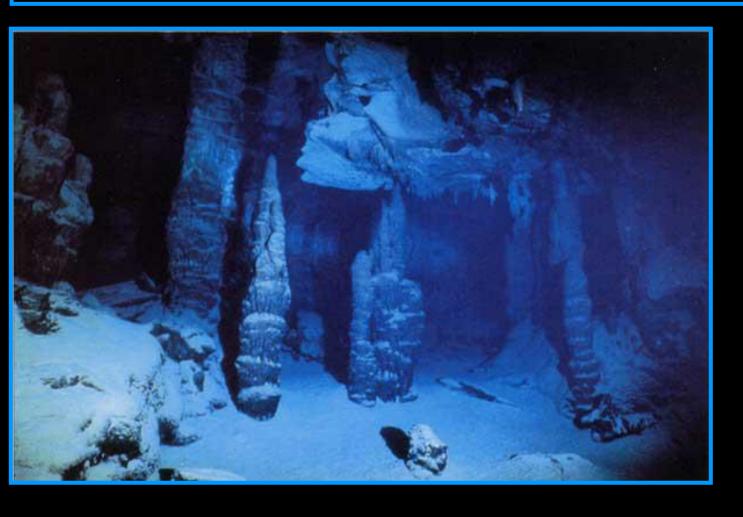


Et si Groenland et Antarctique fondaient entièrement (ce n'est pas à l'ordre du jour de quelques générations) ...

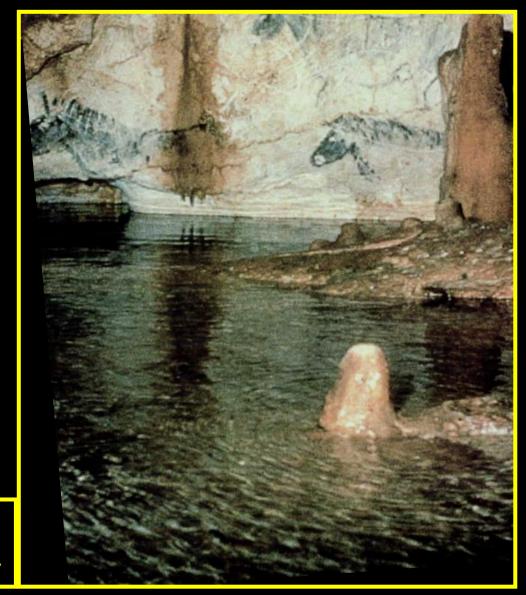
Maintenant, allons dans, ou plutôt sous, les calanques entre Marseille et Cassis, et plongeons!



On nage (en scaphandre) dans des boyaux immergés ...



... et on sort dans uns salle « ornée »





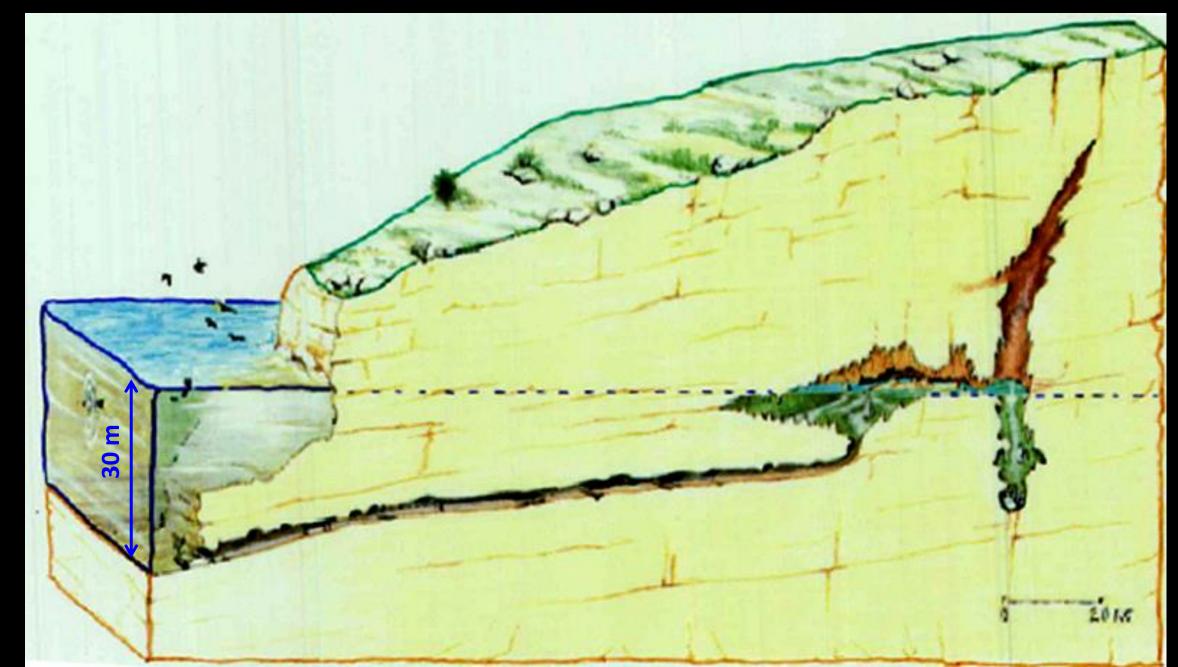
Un pingouin

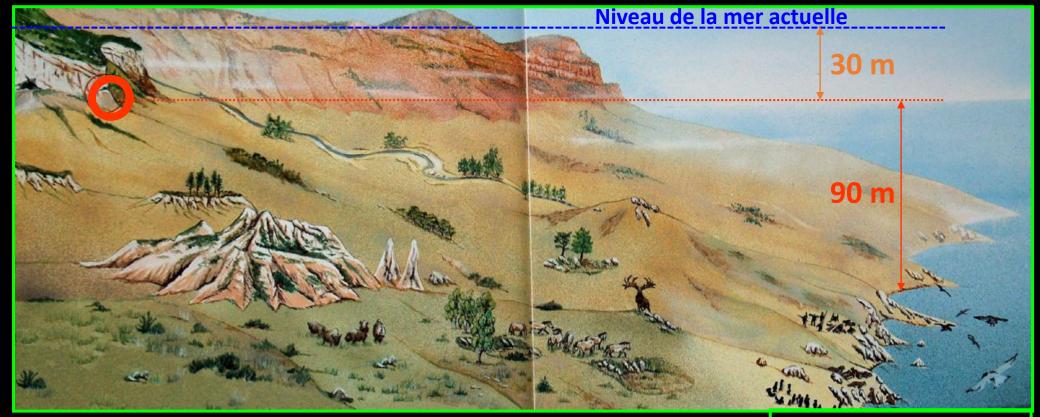




un phoque

La grotte Cosquer, vue en coupe

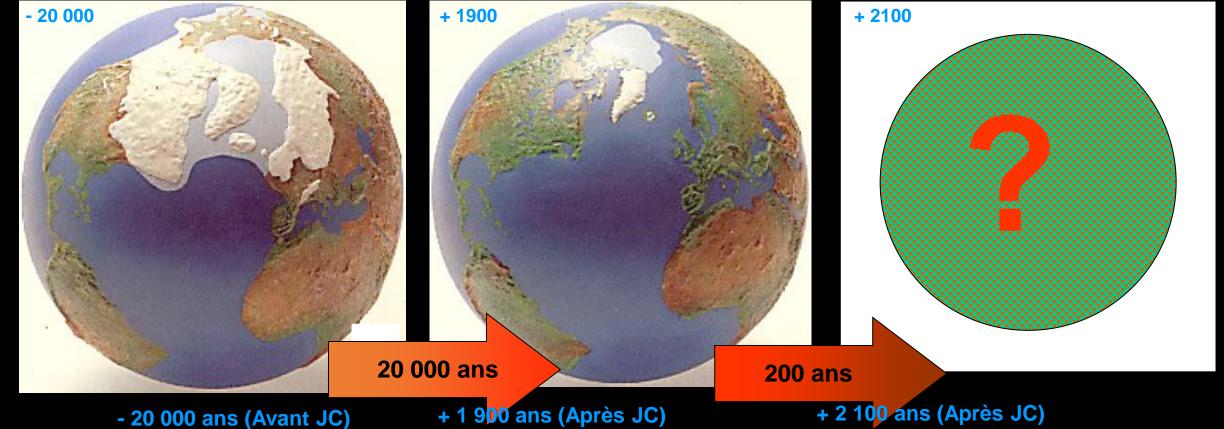






Les calanques, aujourd'hui

Les calanques, il y a 27 000 ans

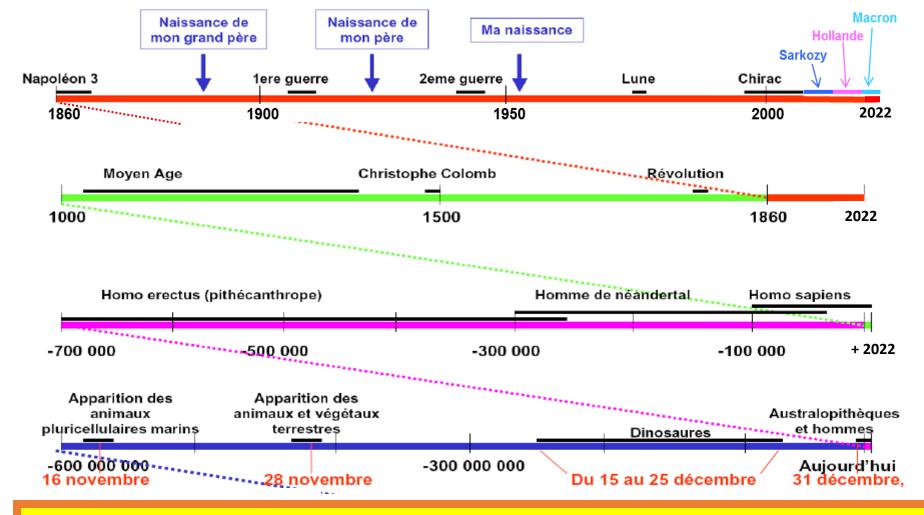


- 20 000 ans (Avant JC)
CO₂ = 200 ppmv
T moyen = 10°C
Niveau de la mer = -120 m

+ 1 900 ans (Après JC) CO₂ = 280 ppmv (380 en2010) T moyen = 13,6°C (14,4°C en 2020) Niveau de la mer = 0 m (+0,2 en 2010) + 2 100 ans (Après JC) CO₂ = 580 à ????? ppmv T moyen = 19 à ???? °C Niveau de la mer + 1 à + ? m

Les leçons du passé récent (Cro-Magnon) sur l'avenir immédiat (nos petits enfants).

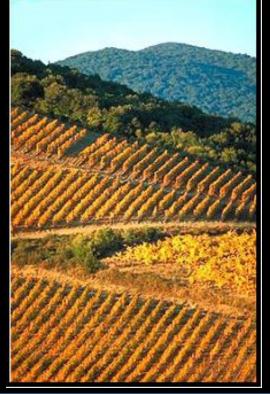
Pour l'avenir un peu plus lointain (dans quelques siècles à millénaires) ça reviendra sans doute « normal » (plus de pétrole ou de charbon à brûler), sauf si ...



Quatrième échelle de temps : l'échelle de tout le phanérozoïque (600 000 000 ans).

L'échelle de 600 000 000 ans







LE CLIMAT DU LANGUEDOC ET DE LA PROVENCE

Pendant vos vacances, au lieu d'aller sur les plages 30 jours sur 30, promenez vous aussi dans l'arrière pays. Vous y trouverez :

- 365 Ma (Dévonien) : coraux
- 290 Ma (Carbonifère) : fougères arborescentes
- 250 Ma (Permien): fentes de dessiccation
- 210 Ma (Trias); gypse et sel
- 150 Ma (Jurassique) coraux
- 90 Ma (Crétacé) : latérite
- 30 Ma (Oligocène) : crocodiles et colibris
- 20 Ma (Miocène) coraux

Aujourd'hui, rien de tout ça.

→ Climat chaud de – 365 à – 20 Ma, avec refroidissement majeur depuis – 20 Ma





Que trouve-t-on dans le Dévonien (-365 Ma) de Montagne Noire

(Hérault)?

Des coraux fossiles!



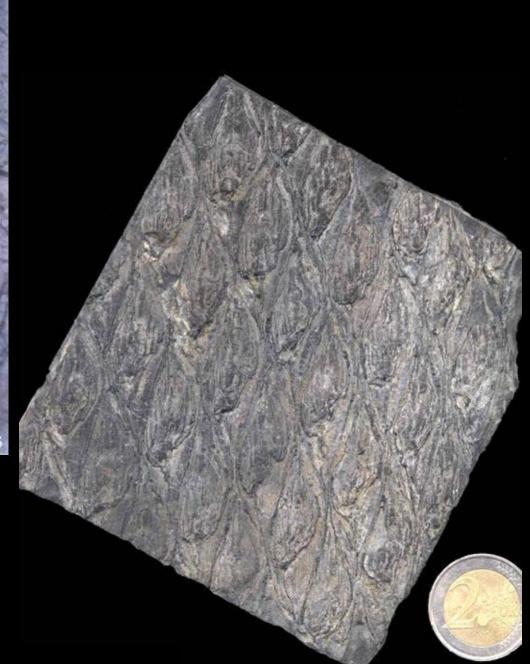


- 290 Ma : des couches de charbons, des fossiles de troncs d'arbres.





Des troncs d'arbre avec de drôles « d'écailles ».

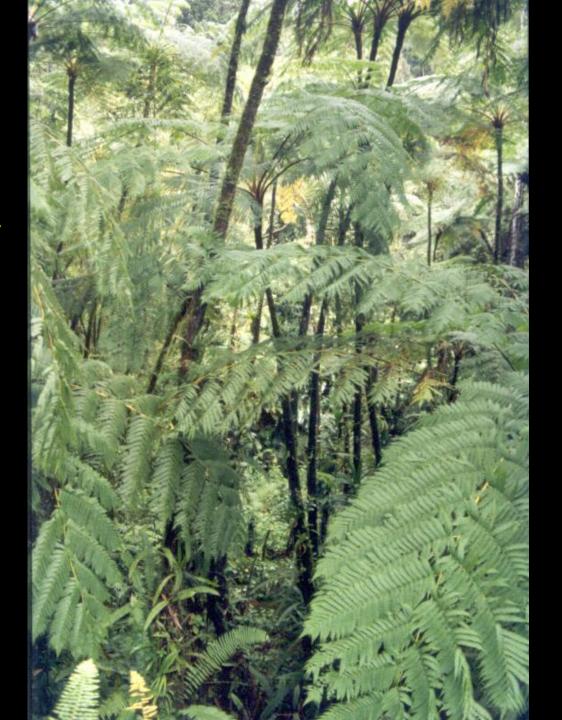




Ce sont des troncs de fougères arborescentes.



Dans le sud de la France, il y avait un climat chaud et humide il y a 290 Ma.







Des dépôts de gypse et de sel datant de – 210 Ma.



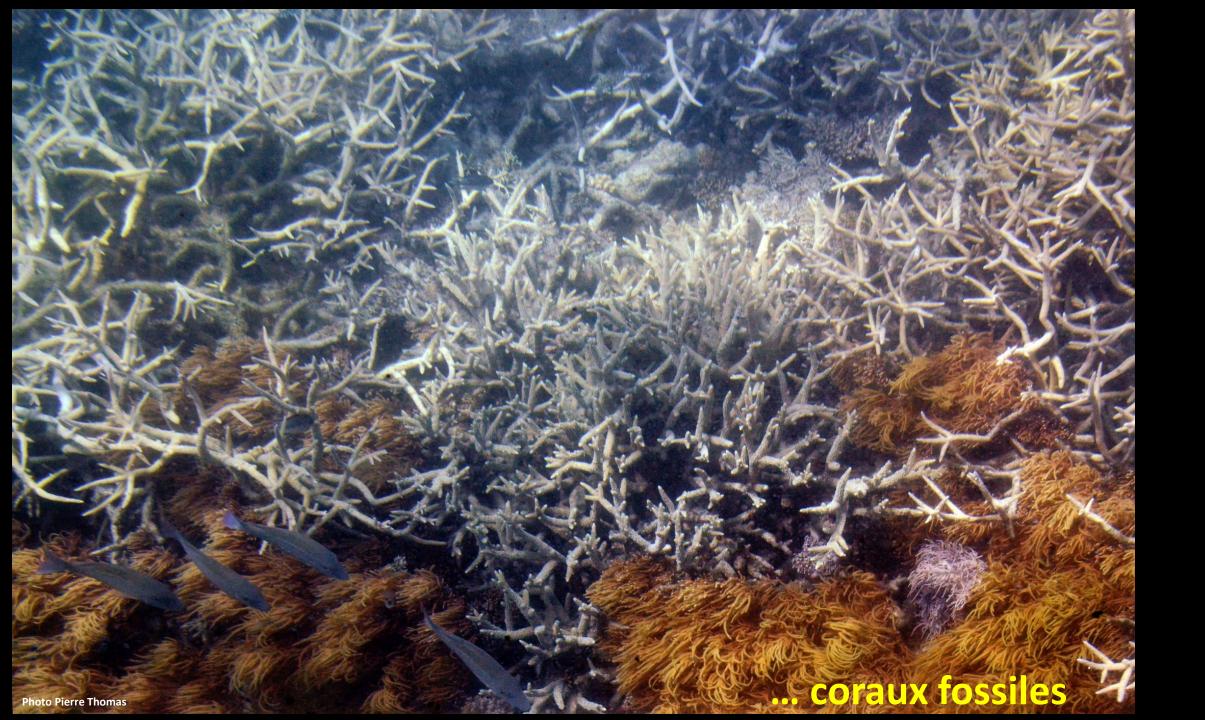


Qui ont du se former dans un paysage voisin de ceux-ci.





Des falaises calcaires de - 150 Ma, avec des ...

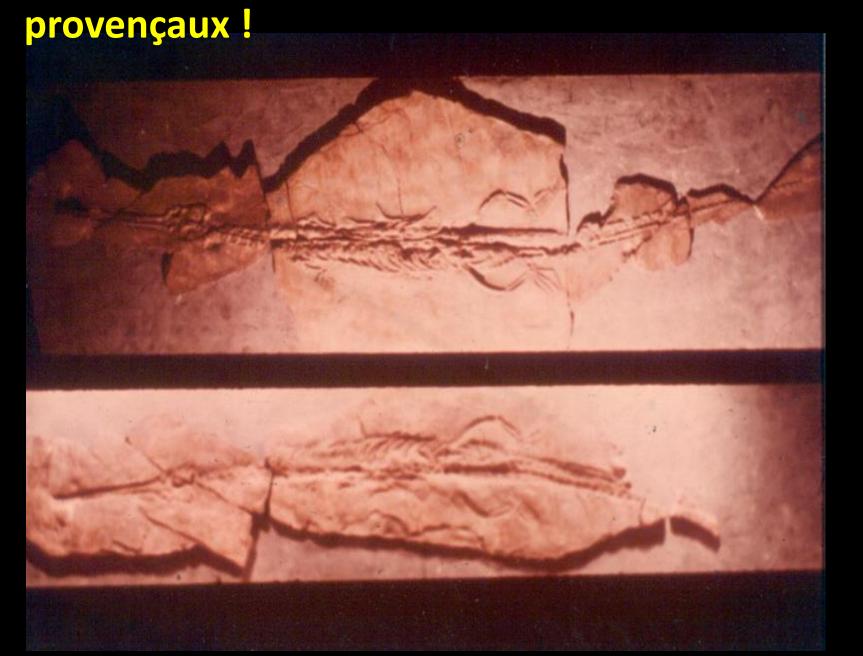


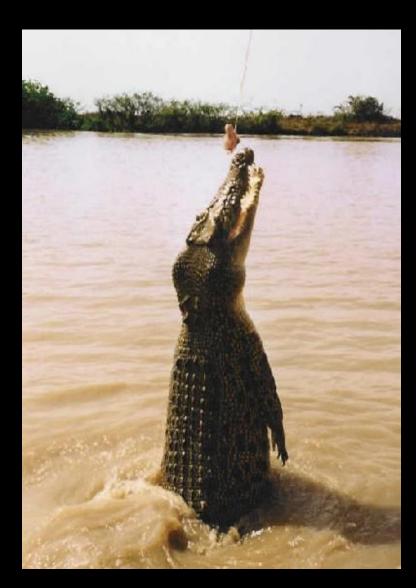


Le Languedoc et la Provence il y a 150 Ma



Et il y a 30 Ma, il ne faisait pas bon se baigner dans les lacs





Par contre, autour des lacs, volaient des ...



Par contre, autour des lacs, volaient des ...





Du Dévonien (-365 Ma) au Miocène (-20 Ma), en Languedoc / Provence, climat chaud, avec coraux, fougères arborescentes,

crocodiles, colibris ... Aujourd'hui, rien de tout cela! Le temps change!

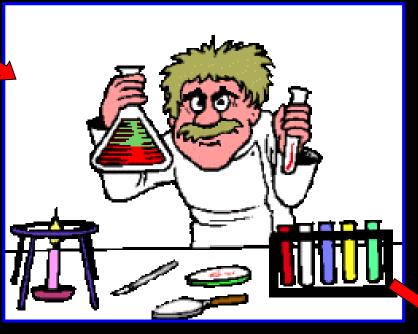


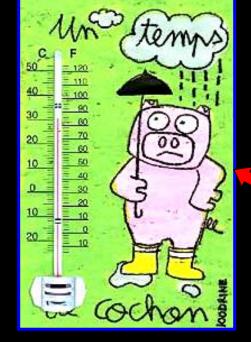


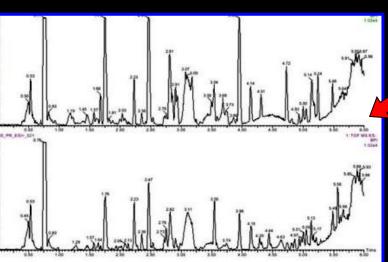


D'autres moyens basés sur le fractionnement isotopique

existent pour déterminer les climats anciens, mais c'est plus cher (et plus long à expliquer).







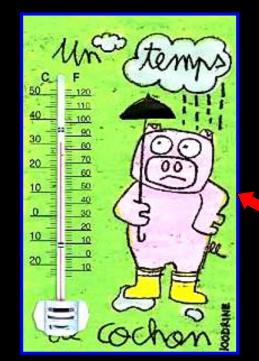


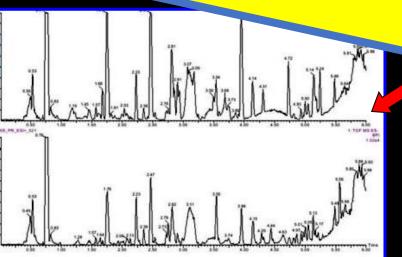


D'autres moyens basés sur le fractionnement isotopique

existent pour déterminer les climats anciens, mais c'est plus cher (et plus long à expliquer).

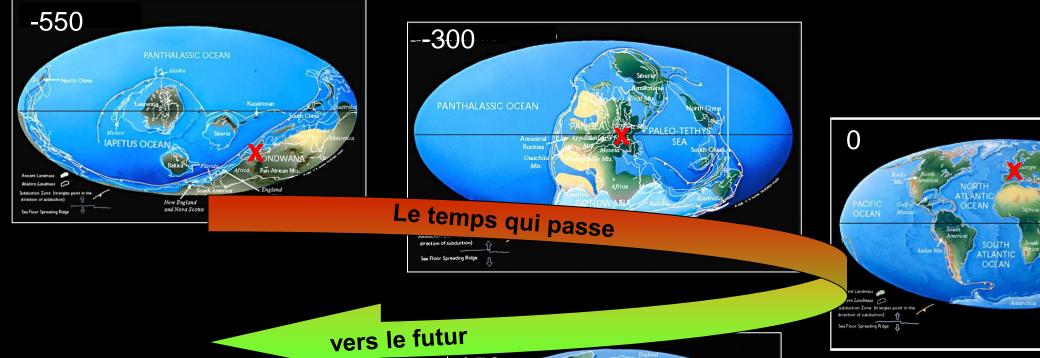




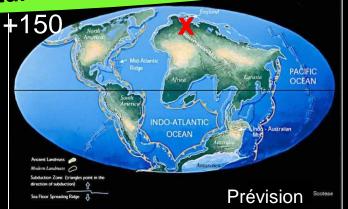




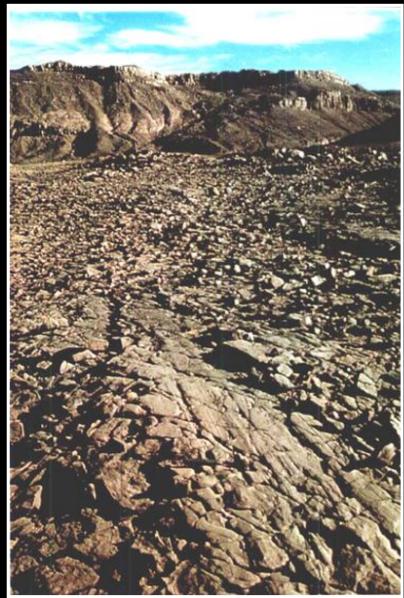
Mais ce changement du climat en France, est-il du au changement du climat mondial, ou au déplacement de la France pour cause de « dérive des continents » ?



Il faut donc étudier les climats anciens pour toutes les régions du monde!



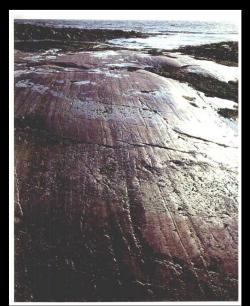
Un autre endroit où le climat a changé : la Namibie.



Stries glaciaire en Namibie (- 300 000 000 d'années)



Namibie aujourd'hui

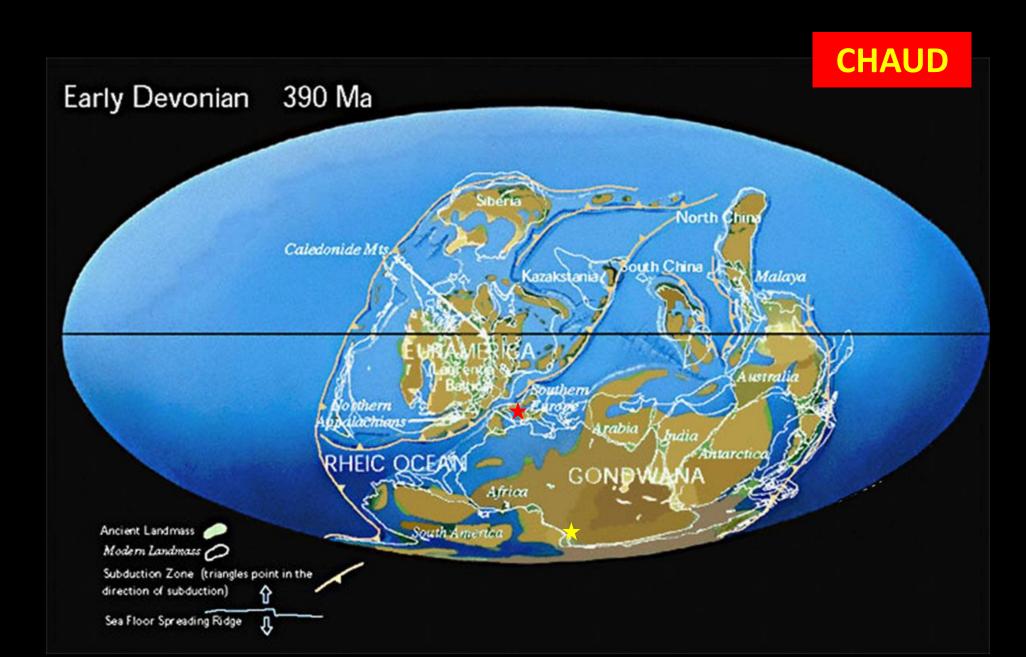


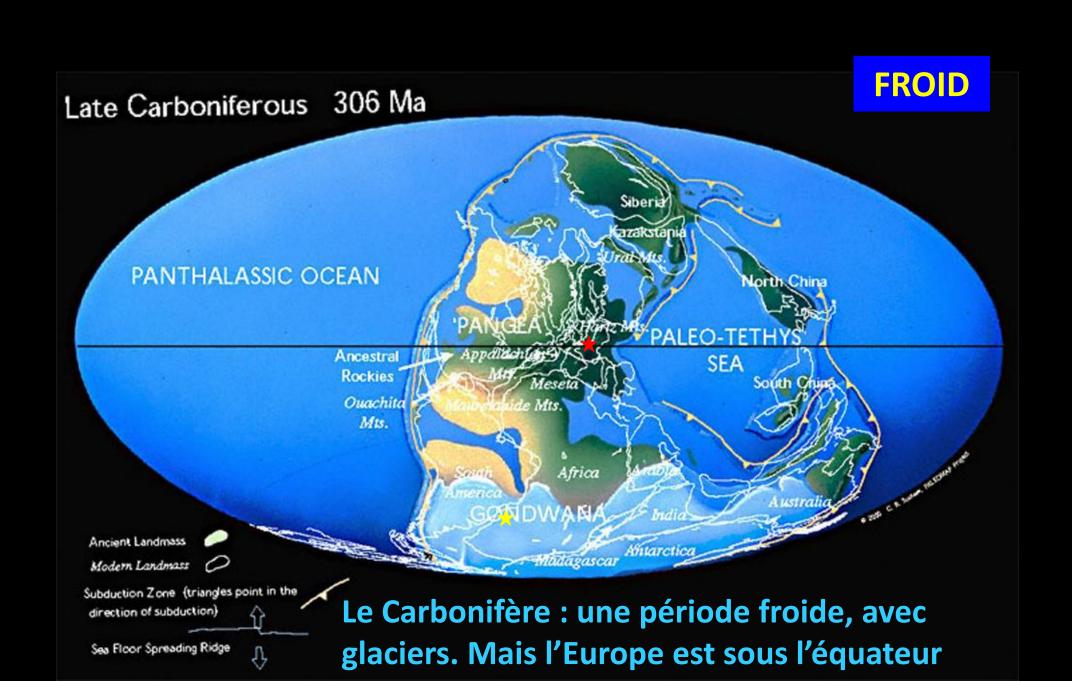
Stries glaciaires au Groenland (petit âge glaciaire, - 200 ans) = Namibie il y a - 300 000 000 ans

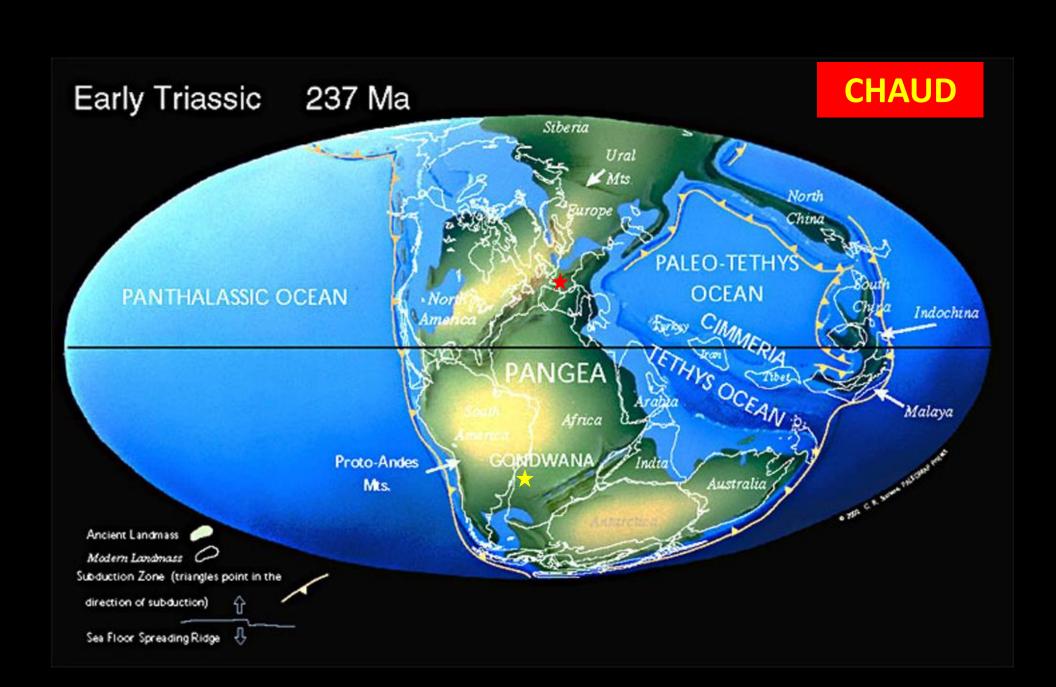


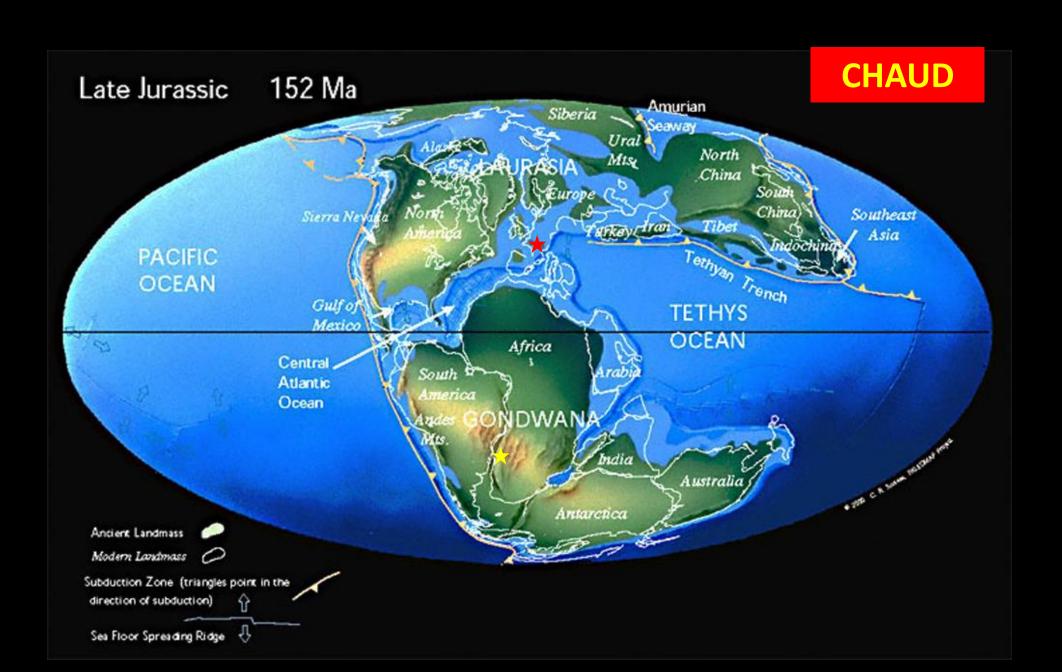
La France à - 300 000 000 d'années

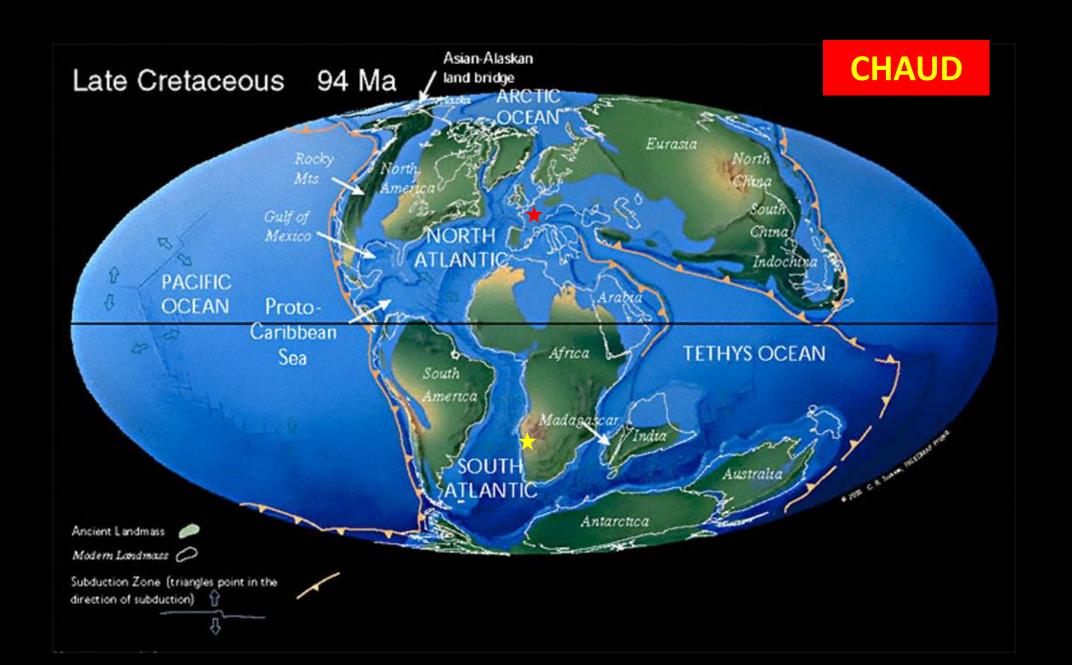
Résumons les variations post 400 Ma du climat mondial

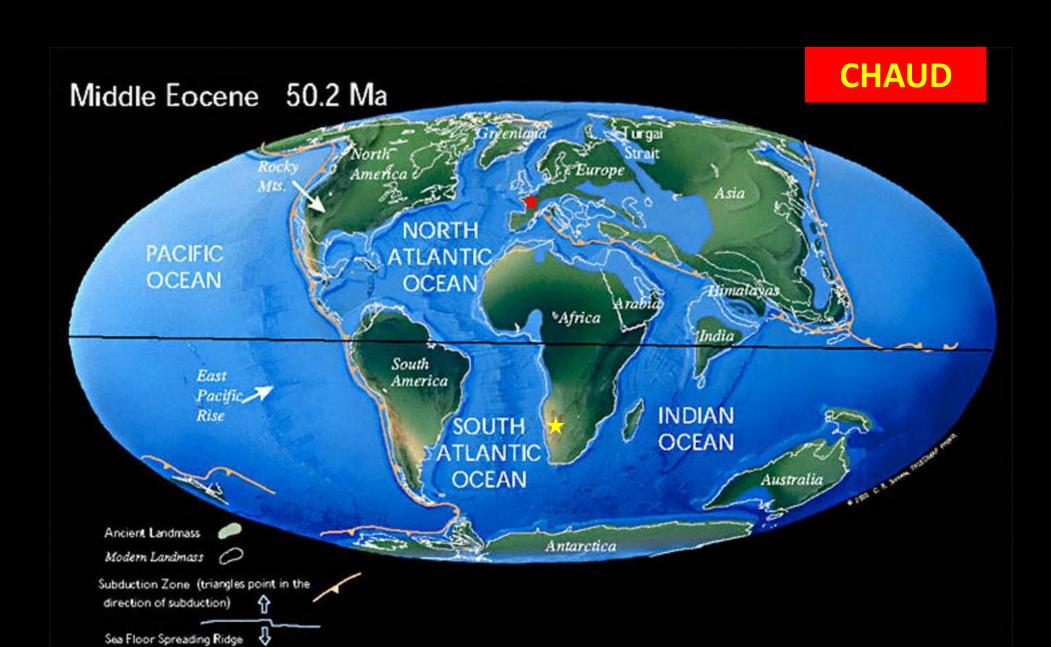




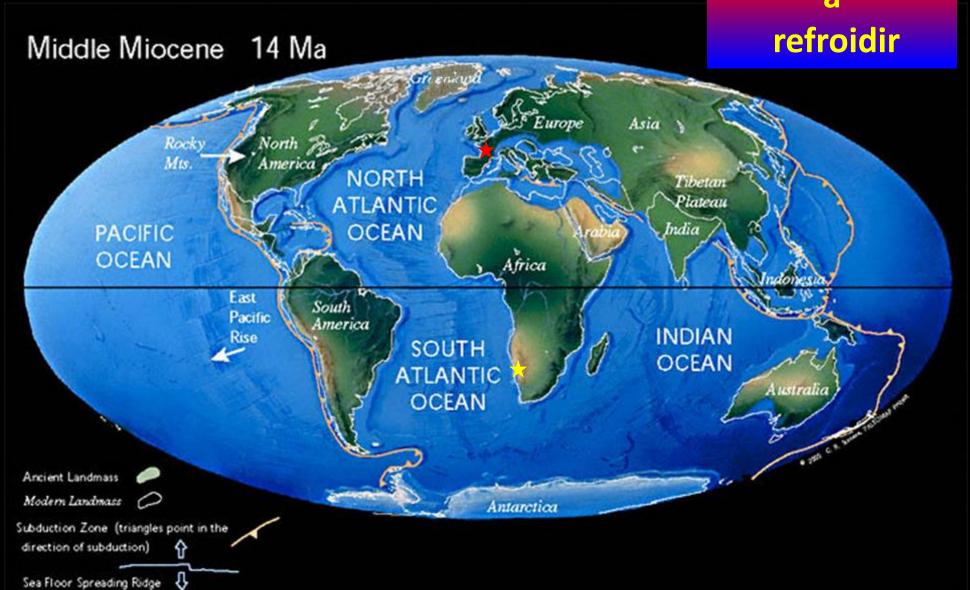




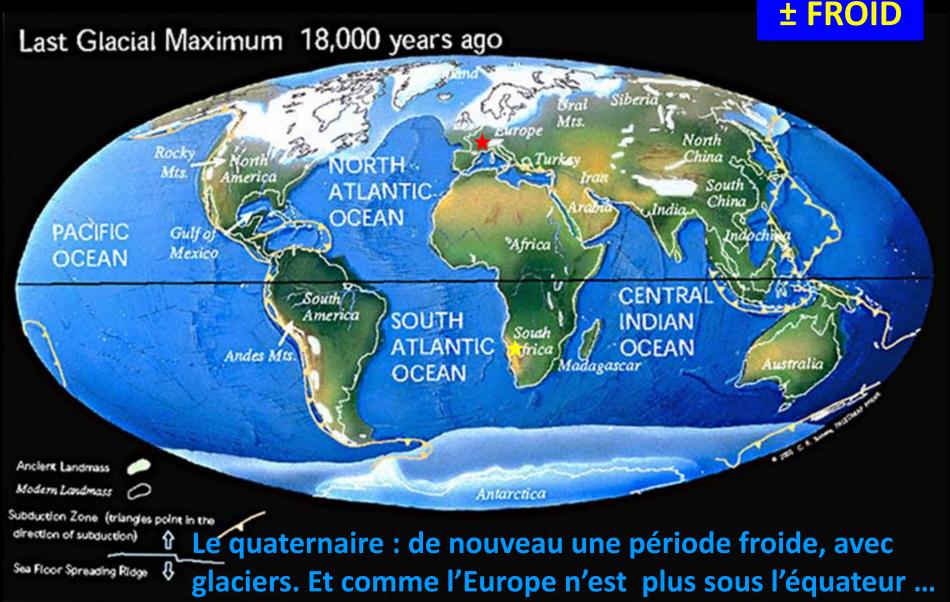




Ca commence à refroidir



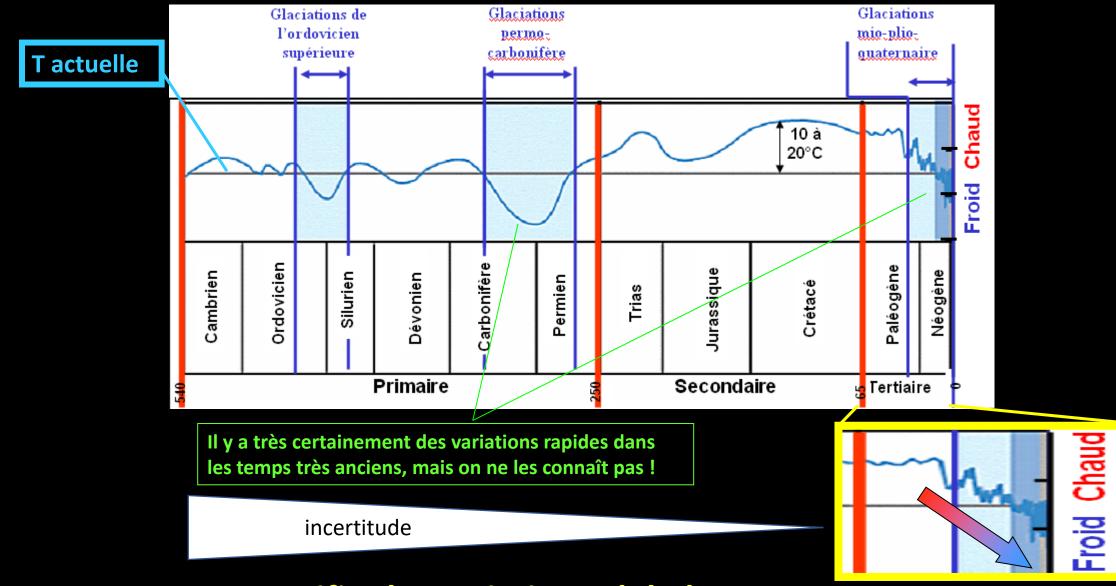


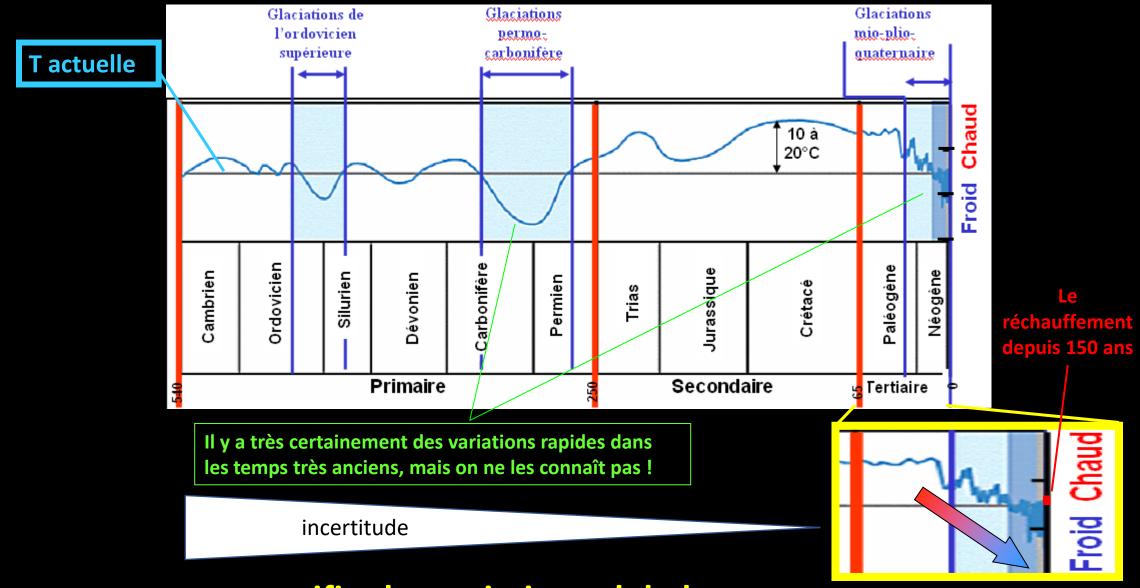


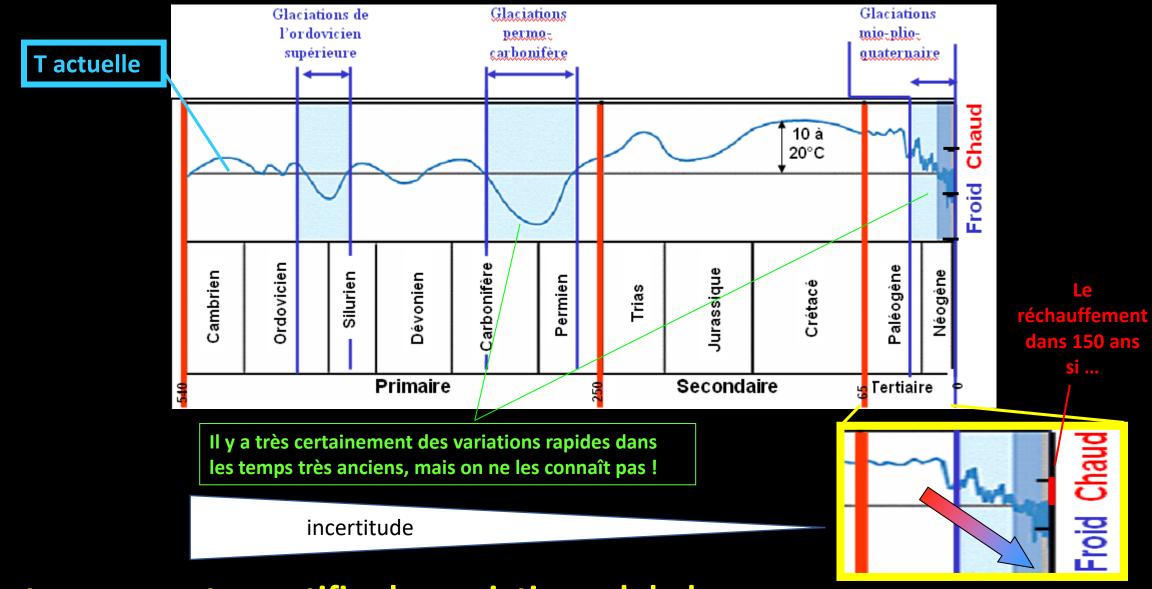


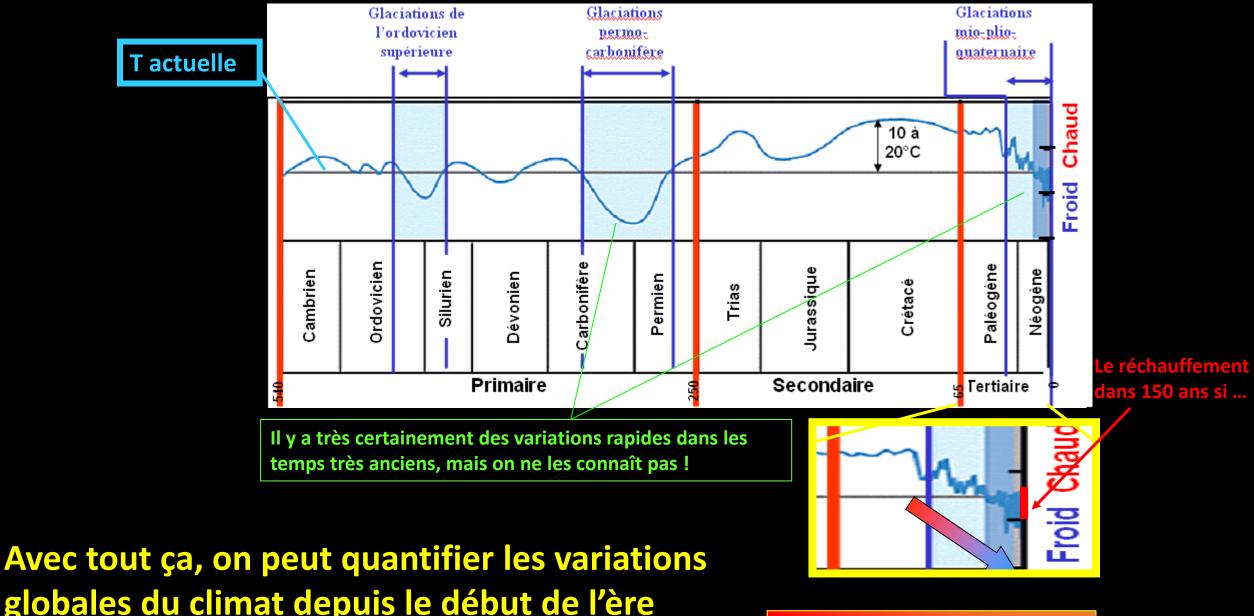


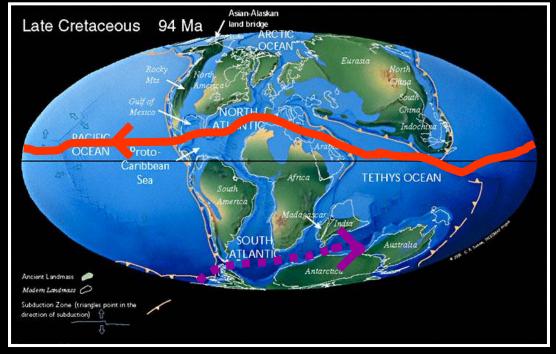
Le quaternaire : de nouveau une période froide, avec glaciers. Et comme l'Europe n'est plus sous l'équateur ...

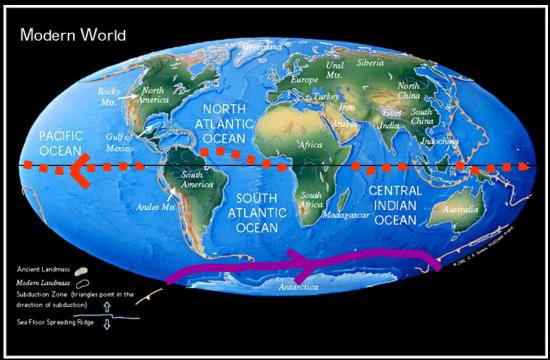












Quelles peuvent être les causes de ces variations globales, importantes mais lentes, très lentes, du climats? Beaucoup de causes possibles. Par exemple, la position des masses continentales influence les circulations océaniques (par exemple circum-équatoriale / circum-polaire) et atmosphériques.

Ces variations climatiques globales peuvent être dues à des variations du CO₂ atmosphérique.







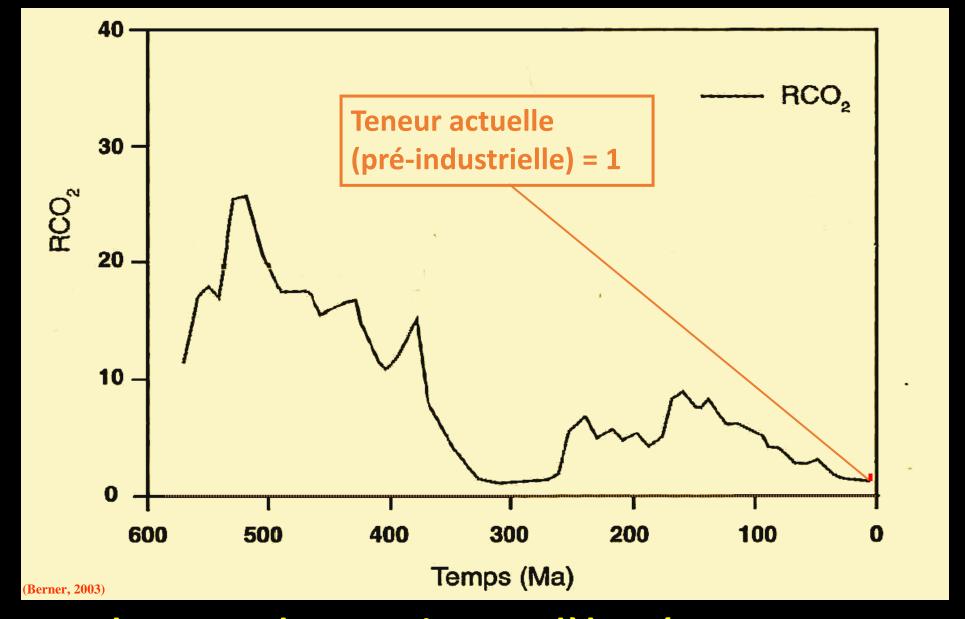
Comment mesure-t-on le CO2 ante-glaciaire?

Très difficilement!!

- A partir du jurassique : bulles d'air piégées dans de l'ambre.
- A partir du carbonifère : indice stomatique.
- Depuis 600 M.A. : bilans sédimentologiques et géochimiques





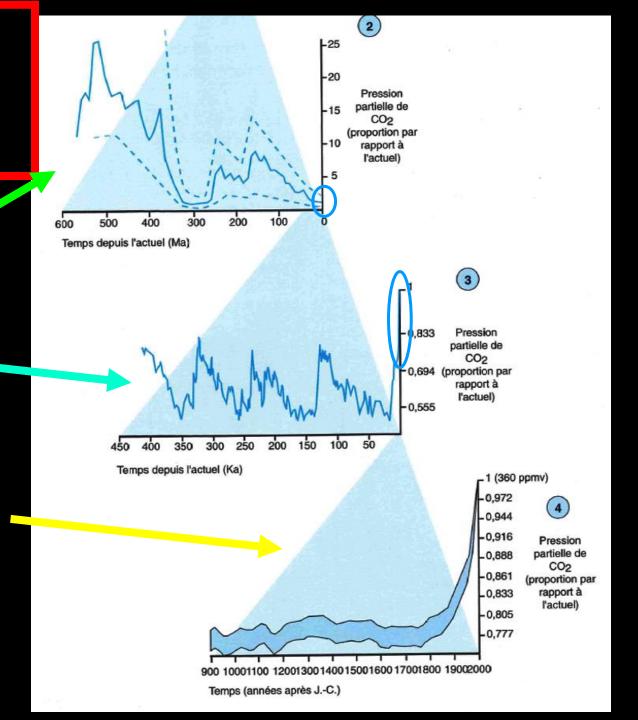


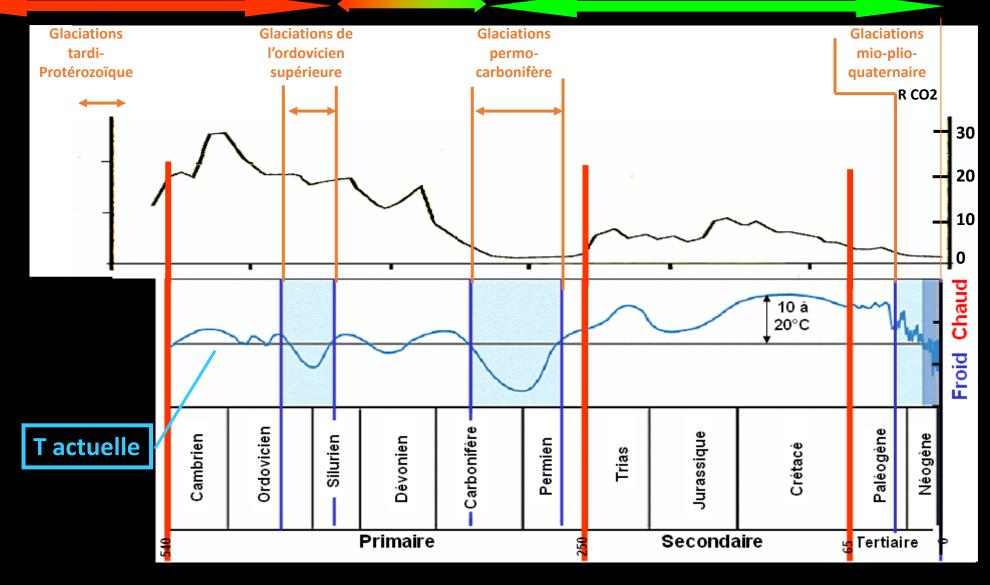
Et voici ce que donne un des premiers modèles récents. Comme vous voyez, le CO₂ n'a jamais été plus bas!

Et voici un résumé des variations de CO₂

- Depuis 600 000 000 ans
- Depuis 420 000 ans
- Depuis 300 ans (celles dont parle la presse).

Relatif, tout est relatif!

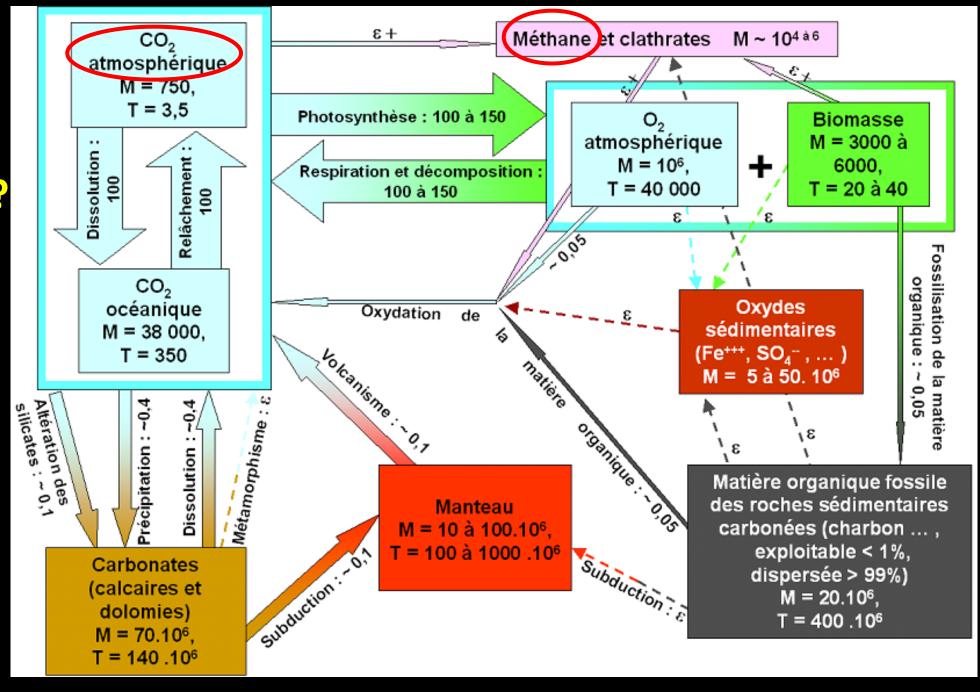




Les relations température globale et taux de CO₂. Ca « marche » à partir du Dévonien, pas avant! Il nous reste du travail pour tout comprendre!

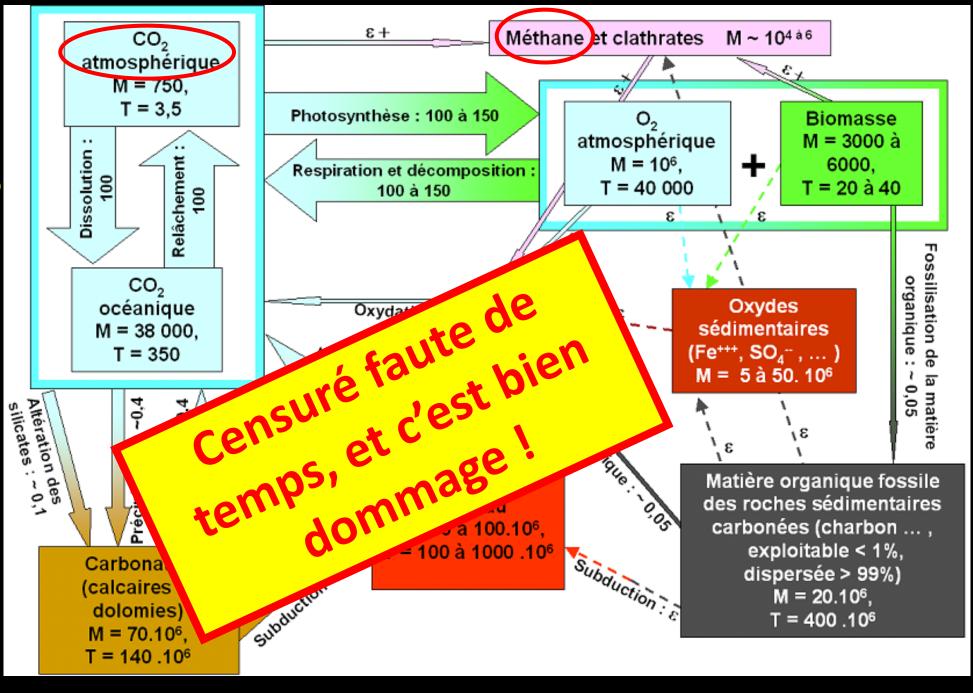
Qu'est ce qui peut faire varier le CO₂ (et le méthane) atmosphérique ?

L'« utilisation » variable du carbone par la nature!



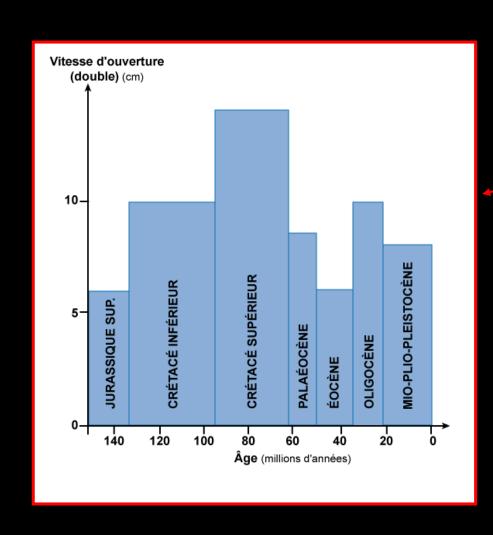
Qu'est ce qui peut faire varier le CO₂ (et le méthane) atmosphérique ?

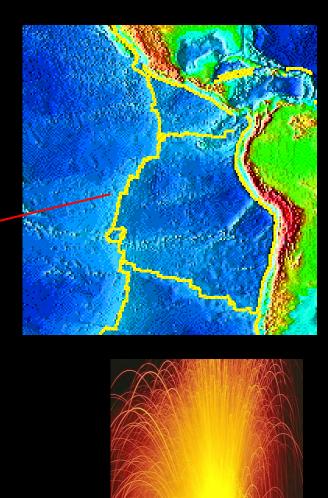
L'« utilisation » variable du carbone par la nature!



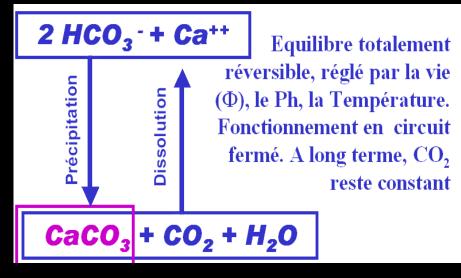
Il y a bien sûr les volcans qui rejette du CO2*











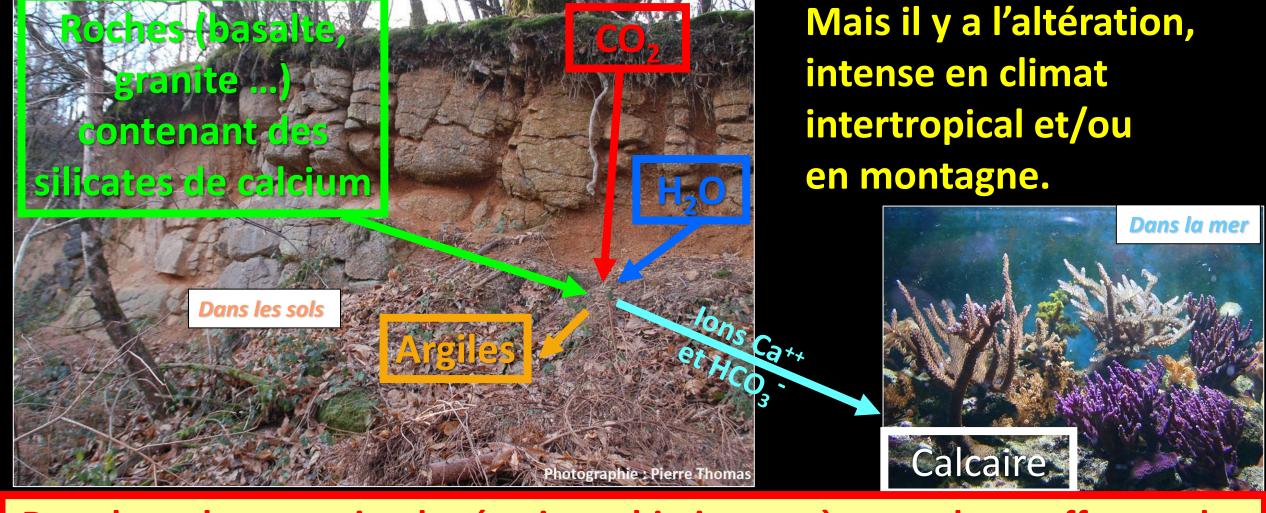
Fabrication et dissolution des calcaire (CaCO₃): bilan presque nul si on fonctionne « à calcium constant »!





Dissolution: absorbe du CO₂

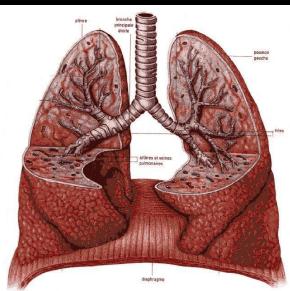
Précipitation : libère du CO₂



Dans les sols, une suite de réactions chimiques très complexes affectent les silicates calciques, captent du ${\rm CO_2}$, « fabriquent » de l'argile, libèrent des ions ${\rm Ca^{2+}}$ qui sont « exportés » et vont former du « nouveau » calcaire au loin dans la mer, ce qui « consomme » irréversiblement du ${\rm CO_2}$ (\approx 0,1 Gt/an)

Et la vie ! Photosynthèse et respiration ont un bilan nul dans les écosystèmes équilibrés, sauf si ...







PHOTOSYNTHÈSE

Equation tenant compte du mécanisme réactionnel

6CO2+12H2Q --->C6(H2O)6+6H2O+6Q2

Première simplification, ne tenant pas compte des mécanismes réactionnels, mais valable quand au bilan de masse

6CO2 + 6H2O --->C6(H2O)6 + 6O2

Deuxieme simplification, tenant encore moins compte des mécanismes réactionnels, mais toujours valable quand au bilan de masse

$$CO2 < ----> C + 02$$

Simplification, ne tenant pas compte du mécanisme réactionnel, mais valable quand au bilan de masse

6CO2 + 6H2O <--- C6(H2O)6 + 6O2

Equation tenant compte du mécanisme réactionnel

RESPIRATION





... sauf si de la matière organique est fossilisée, ou si au contraire de la matière organique fossile est oxydée.







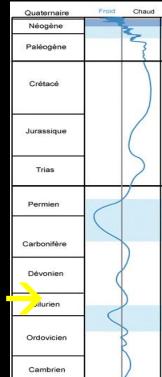


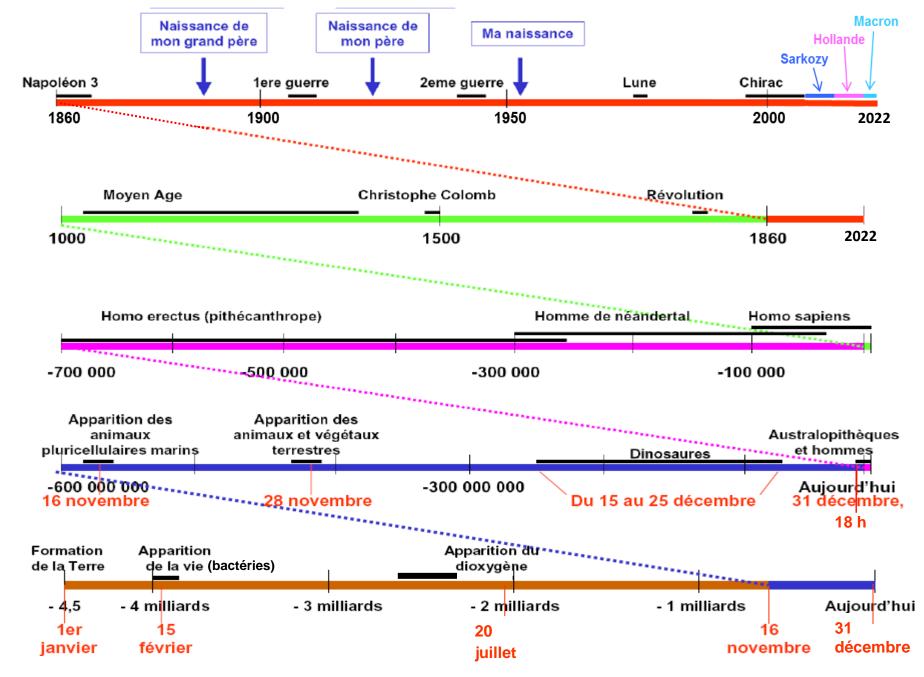






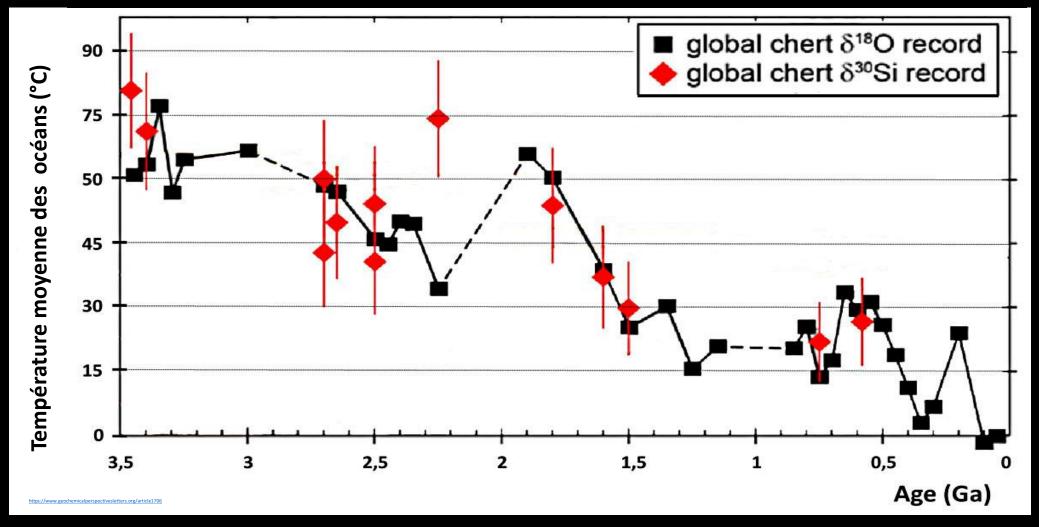
Calcaires et silicates calciques + altération + montagne + vie, charbon et pétrole + volcans + ..., tout ça varie avec le temps Le CO₂ varie → Le climat mondial varie!





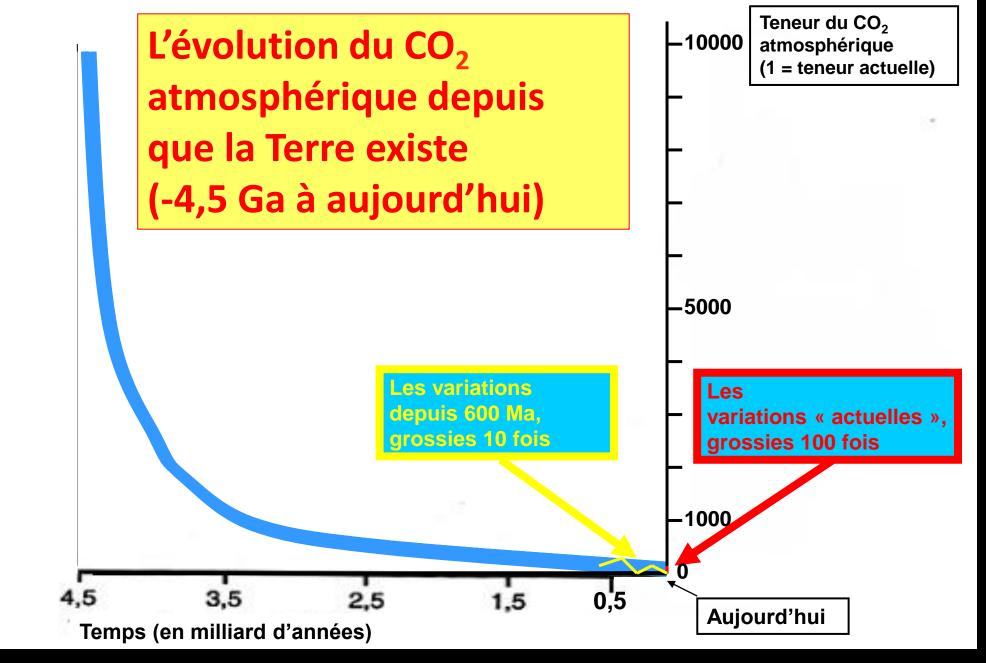
L'échelle de 4 500 000 000 ans, l'âge de la Terre

La température à l'échelle de l'histoire de la Terre.



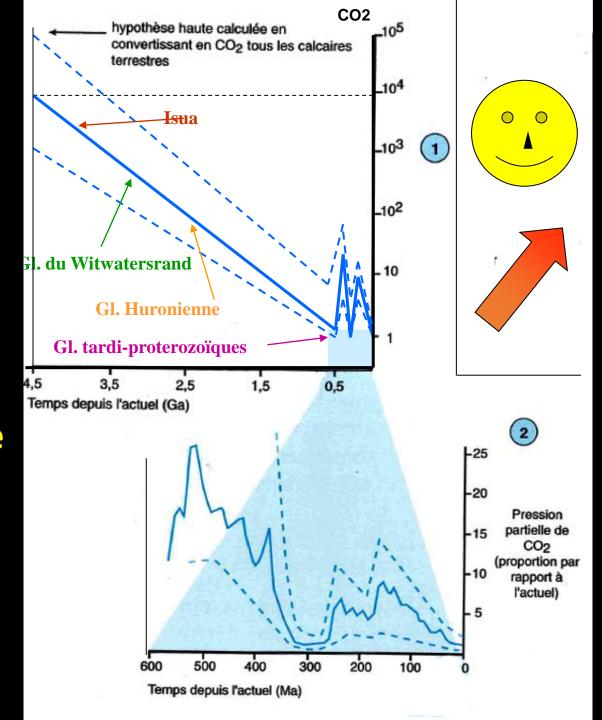
Que fait la température (courbes très approximatives)? Vers + 50 à 70° jusqu'à - 2 Ga. Presque comme « maintenant » (10 à 30°C) depuis 1 Ga! On n'a jamais été plus froid que maintenant, sauf ...

Et pendant ce temps là, le CO, hypothèse haute calculée en convertissant en CO2 tous les calcaires terrestres baisse: une diminution exponentielle (au irrégularités près). Le CO₂ est divisé par 10 tout les milliards d'années (10 000 à 100 000 Pression partielle de en tout). CO2 . du Witwatersrand (proportion par rapport à l'actuel) **Gl. Huronienne** Gl. tardi-proterozoïques rapport à 3,5 Temps depuis l'actuel (Ga) -25 0,833 **Echelle** -20 Pression linéaire partielle de CO₂ (proportion par Temps depuis l'actuel (Ka) rapport à l'actuel) proportion par rapport à -0,805 500 Temps depuis l'actuel (Ma) Temps (années après J.-C.)

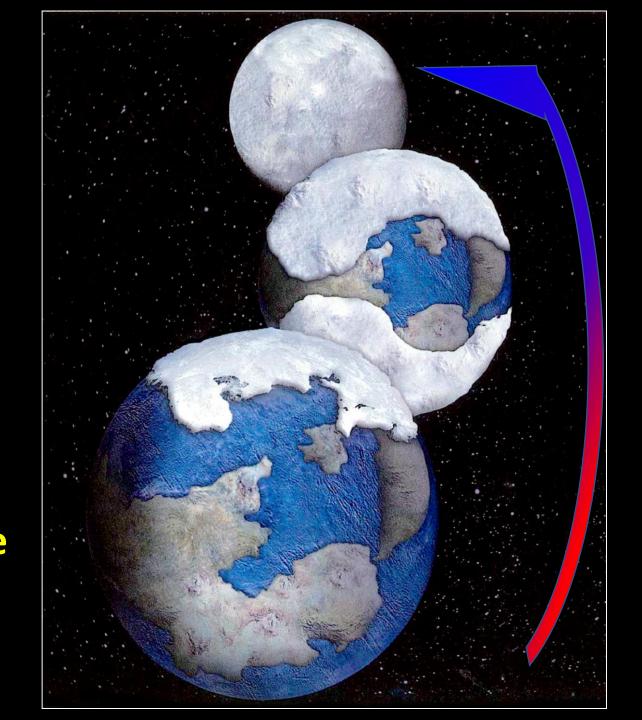


C'est encore plus « inattendu » en échelle linéaire

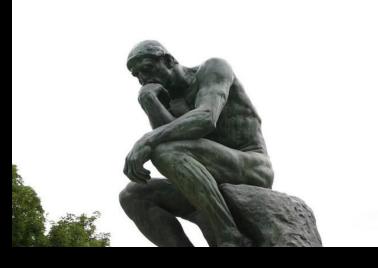
Le CO₂ n'a jamais été plus bas que « maintenant », record battu, ou du moins égalé! Heureusement, pendant ce temps là, le rayonnement solaire a augmenté de 50 % environ, et en gros, la température est toujours resté entre 0 et 100°C, sauf pendant les boules de neige ...



Il y a eu quelques « emballements », vers le froid. Il y a de nombreux indices géologiques montrant que vers - 750 à -650 Ma, il y aurait eu 3 sous-épisodes de giga-glaciations. Au moins pendant le premier de ces sous-épisodes, tous les continents étaient recouverts de calottes et tous les océans de banquise : les épisodes « boules de neige » (snowball earth)



En guise de conclusion



Est-on dans une période de hausse ou de baisse de la température et du CO₂ atmosphérique ?

(ou commentaire sur la relativité du temps)

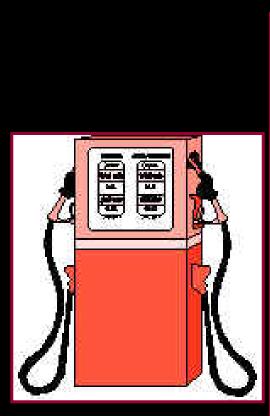
A l'échelle de 100 ans, le CO₂ a augmenté de 47% et la température moyenne de 1,1°C. Les perspectives indiquent un doublement du CO₂ et une augmentation de la température de 2 à 6°C d'ici la fin du siècle. C'est gravissime à cette échelle de temps!

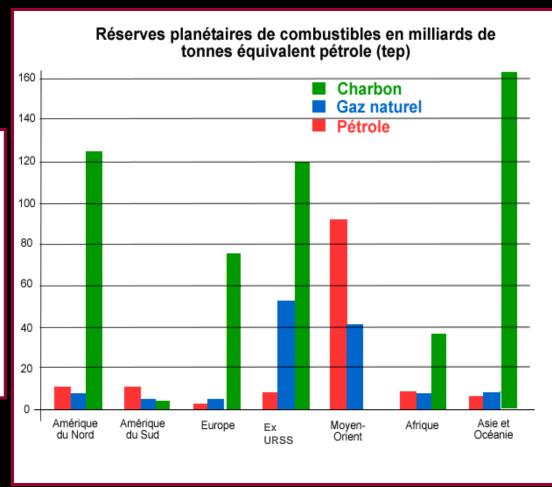
Prenons du « recul chronologique »

A l'échelle du dernier millier d'années, la température ne fait que monter et descendre de moins d' 1 °C, avec des petits âges glaciaires, des périodes chaudes... Ces variations seraient en partie (seulement) dues aux variations solaires.

Mais la hausse actuelle (réelle) du soleil ne serait responsable que de 10 à 20% de la hausse des températures constatée depuis 150 ans. Et comme de toutes façons on ne peut pas agir sur le soleil ...

A l'échelle du prochain millier d'années. Il y a de 30 à 60 ans de réserve de pétrole, le double de gaz, pour quelques siècles de charbon. D'ici 200 à 300 ans, le CO₂ et la température s'arrêteront d'augmenter par la force des choses (sauf si ...). CO₂ et températures redescendront en quelques millénaires. Mais d'ici là, de nombreux écosystèmes (dont l'Humanité) en « baveront ». Mais qu'est-ce que quelques millénaires pour la planète ?





Total : 800 milliards de tonnes de réserves.

Soyons « optimistes » : les géologues n'ont trouvé que la moitié des réserves → 1600 Gt

On consomme 8 Gt/an.
Soyons « optimistes », la consommation se stabilise.

Cela donne 1600 / 7 = 200 ans de réserve

Deux à trois siècles, avec 4 à x° de plus (et c'est grave dès +2°). C'est tout l'enjeu des COP 26 et suivantes! Une analogie du dilemme des COP 21... 26 et suivante

- Tout manger tant que le magasin de chocolat n'est pas vide. Mais on sait qu'on va tomber très malade avant!

- S'arrêter de se goinfrer avant d'être malade. Mais quel dommage de

laisser trainer de si bons chocolats

dans le magasin!





Lyon il y a et dans quelques dizaines de milliers d'années



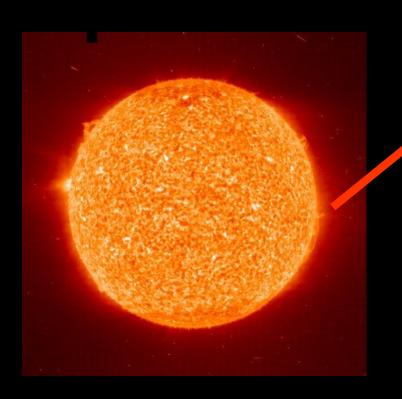
A l'échelle des derniers millions d'années. La hausse précédente, anthropique et gravissime à l'échelle du siècle ou du millénaire, s'inscrit dans des variations naturelles et périodiques de la température et du CO₂ qui durent depuis quelques millions d'années, mais qui sont beaucoup plus « lentes ». Ces variations naturelles sont dues aux interactions entre orbite de la Terre, calottes glaciaires, CO₂ ... La température moyenne de la Terre oscille entre +10 et +16°C; on en est actuellement à +15, mais on va peut-être atteindre +20°C dans un siècle, et sortir du domaine « habituel » des variations de température ; et on va en sortir plus vite que d'habitude. Puis ça redeviendra normal, faute de CO₂ à relâcher. L'astronomie nous dit que la prochaine glaciation aura sans doute lieu dans 64 000 ans.



A l'échelle de plusieurs centaines de millions d'années.

Depuis 60 000 000 d'années, la tendance globale est à la baisse de CO2 et de la température, malgré toutes les oscillations déjà vues. Pendant ces 60 000 000 d'années, le CO2 a été divisé par 10 et la température moyenne a baissé de 10 à 20°C. Entre -300 000 000 et - 60 000 000 au contraire, la tendance était à la hausse du CO₂ (x 10) et de la température (+ 10 à 20°C). La planète Terre a très bien résisté à ces variations (mais pas tous ses habitants, malgré la lenteur de ces variations). Ces variations de CO₂ et de Température sont dues aux variations d'importances relatives entre volcanisme, formation des montagnes, formation des charbons, des calcaires ... On peut supposer que le froid actuel durera tant que durera l'Himalaya (qui est une gigantesque pompe à CO₂), c'est à dire pour encore pas mal de millions d'années. Quand l'Himalaya sera aplani, le CO₂ remontra, et la température aussi, à moins que d'autres montagnes se forment en pays intertropical humide.





A l'échelle de 4,5 milliards d'années. Ces hauts et ces bas s'inscrivent dans deux

Ces hauts et ces bas s'inscrivent dans deux tendances générales :

(1) Le CO₂ baisse, baisse ... Il a été divisé par 10 000 à 100 000 depuis l'origine de la Terre. Cette diminution est due à l'accroissement lent et progressif de la quantité de calcaires sur Terre (2) pendant la même période, la puissance du soleil a augmenté d'environ 50%

→ La baisse du CO₂ a « presque » été compensée par la hausse du soleil. A quelques brèves périodes près (boules de neige), la température de la Terre est toujours restée entre 100 et 0°C. Mais une tendance globale à la baisse de température existe (de +70 à +15 à 20°C).





* La photosynthèse en C4 et les bactéries hyperthermophiles montrent qu'il ne faut pas désespérer

En guise de conclusion finale: LA FIN DE LA VIE SUR TERRE

La puissance rayonnée par le soleil a augmenté de 50% depuis 4,5 Ga, et ça va continuer. Le CO₂ baisse, baisse inexorablement (il en est à 0,04%!). Les deux phénomènes ne se compensent pas tout à fait, et la baisse du CO₂ semble l'emporter, avec baisse globale de la température depuis 4 Ga. Deux futurs (très lointains) sont envisageables :

- (1) Cela continue comme ça ; la Terre se refroidira légèrement, mais surtout le CO_2 va venir à manquer (c'est le facteur limitant de la photosynthèse) \rightarrow « On » mourra » de faim, en pays froid.
- (2) La baisse du CO₂ s'arrête, alors l'augmentation du soleil l'emportera (renforcé par « l'effet océan »).
- → « On mourra » de chaud, le ventre plein.

Dans les deux cas, se sera la fin de la vie (dans 1 à 2 milliards d'années), en attendant la fin de la Terre dans 4 à 5 milliards d'années



En guise de conclusion finale: LA FIN DE LA VIE SUR TERRE

issance rayonnée par le soleil a augmenté de 50% depuis va continuer. Le CO2 baisse, baisse

ul en est à 0,04%!). Les deux phénomènes ne ut à fait, et la baisse du CO2 semble ele de la température depuis 4 Ga.

ovisageables:

refroidira légèrement, est le facteur

plein.*

mourra » de faim, en

ugmentation du soleil céan ») .

de la vie (dans 1 à 2 milliards d'années), en attendant la finde la Terre dans 4 à 5 milliards

l'emporte

d'années

« on mourra »

Dans les deux cas, se se.

* La photosynthèse en C4 et les bactéries hyperthermophiles montrent qu'il ne faut pas désespérer

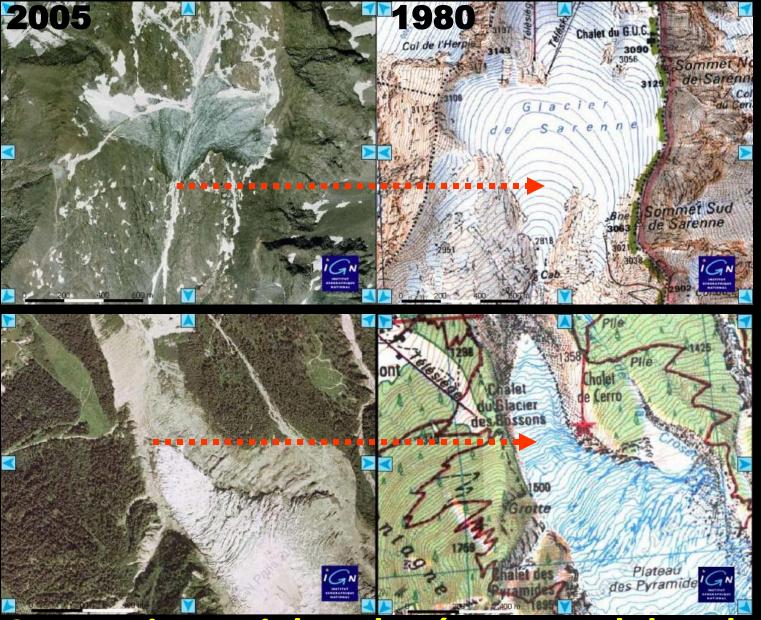
Y avait-il des variations climatiques avant la révolution industrielle ? Le réponse est oui, et les climato-négationistes se servent de ces variations « naturelles » pour nier les variations « anthropiques ». Comme si l'existence des morts naturelles permettait de nier les

meurtres!





ttps://www.implications-philosophiques.org/la-mort-de-marat-de-jacques-louis-david



Ca se voit aussi dans le récent recul des glaciers alpins, qui lissent les irrégularités annuelles.

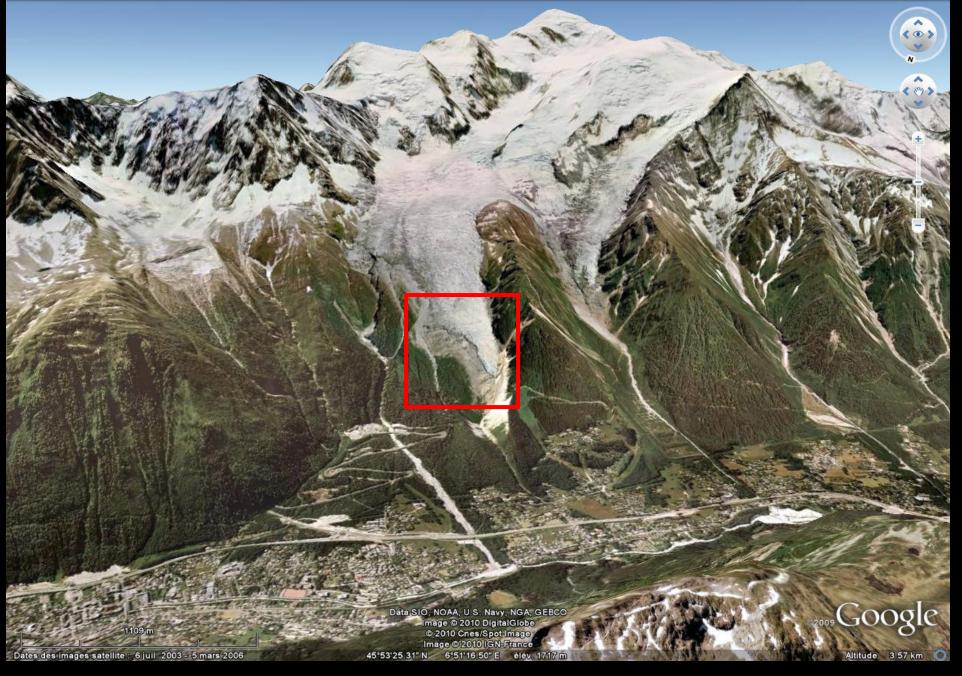
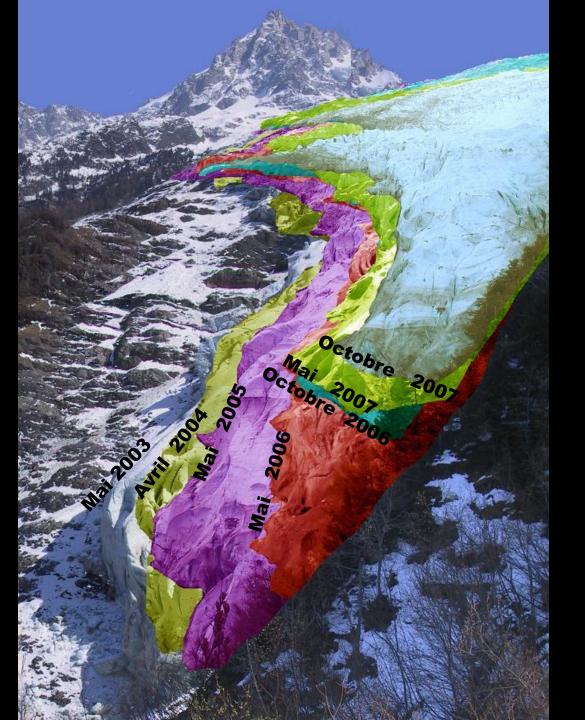


Image Google Earth du Mont-Blanc et du glacier des Bossons



Voici un
« coloriage »
montrant son
recul entre mai
2003 et octobre
2007.

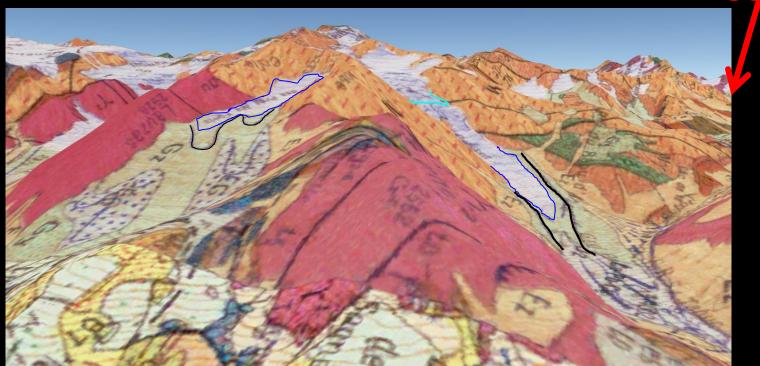


Au dessus du Mônetier-les bains, le 11 décembre 2011, 9h



2016: pas de glacier des Près les Fonts. Petit glacier du Casset. Moraines de 1900 bien visibles

ans



1966 : petit glacier des Près les Fonts. Grand glacier du Casset. Moraines de 1900 bien cartées



La Mer de glace sur une photo de 2004

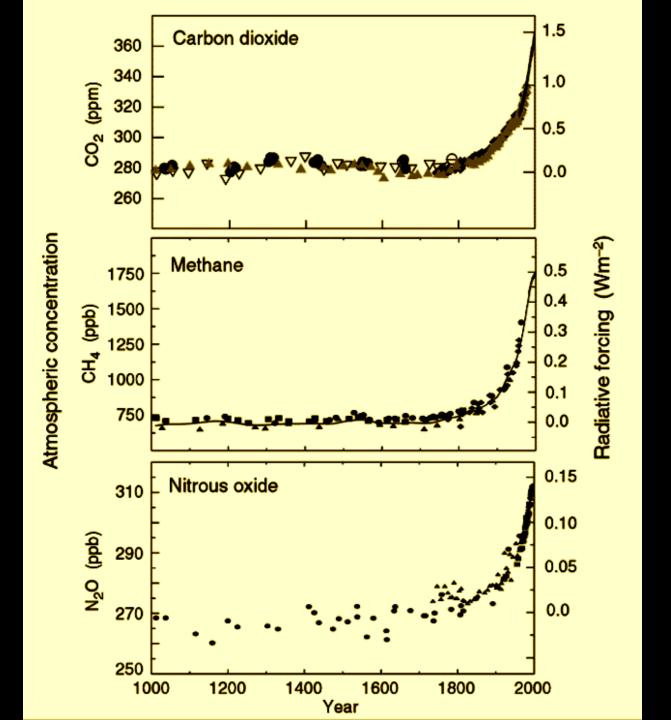
La Mer de glace en 1823



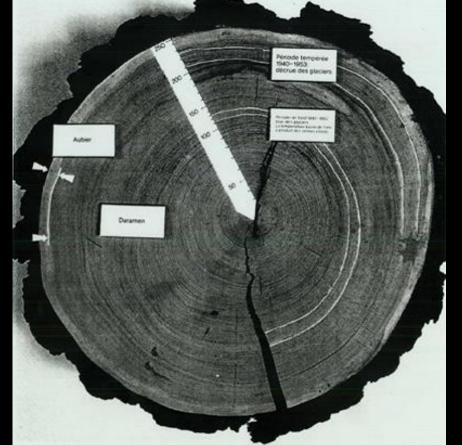


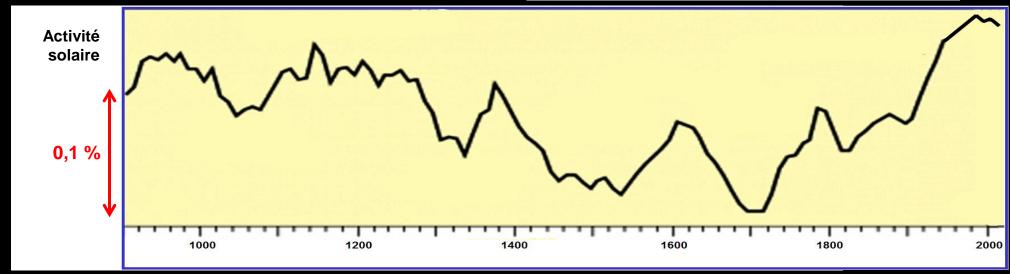
Ces glaciers qui descendaient dans les vallées étaient considérés comme des dragons, des objets diaboliques, des punitions divines ... Voici une représentation imagée de la Mer de Glace du début du 19ème siècle.

Pour l'anecdote, au milieu du XVIIème siècle, une « crue glaciaire » importante menace les terres de la vallée, et menace même d'obstruer le cours de l'Arve! À Chamonix, les gens s'inquiétaient car la glace avait « gasté des maisons et plusieurs possessions rière ladicte paroisse ». Ni une, ni Dieu, le 29 mai 1644, Charles de Sales, coadjuteur de Genève, est prévenu et mène au mois de juin une procession d'environ 300 personnes « au lieu-dit les Bois sur le village duquel est imminent et menassant de ruyne totale un grand et spovantable glacier poussé du hault de la montagne » qu'il bénit « solennellement, a forme du rituel ». Puis il va bénir « un long glacier tout près du village dit Largentière », encore « ung aultre horrible glacier, sur le village dit La Tour » et enfin, deux jours plus tard « ung quatrième glacier au lieu les Bossons ». La bénédiction épiscopale semble efficace car les décennies qui suivent semblent être surtout caractérisées par une décrue. « Depuis vingt cinq ans les glaciers sont descendus, et font un notable ravage et jusques cela que cellui appelé des Boys a de si pres approché la rivière d'Arve que dans l'appréhension qu'ont eu qu'il ne bouchat son cours et par ce moyen inondât par forme de lac ou destang le dessus ont heu recours a Monseigneur de Genève, l'hors evesque d'Ebron, afin d'exorciser les diets glaciers, lesquelz de despuis il sont retirés de peu à peu : mais, ont laissé la terre qu'ils occupaient si stérile et bruslé que despuis il ny est creu ny herbe ny aulire chose ».



Et pendant ce temps, que font les GES ? Ce ne sont pas eux les responsables de ces variations! L'activité solaire est connue par les travaux astronomiques depuis 1610. On la retrouve « piégée » dans les arbres (isotopes cosmogéniques) pour les époques antérieures.

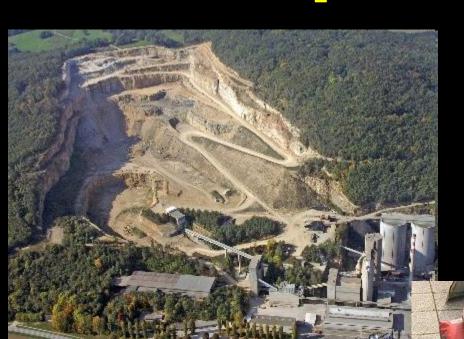




Quelles sont les 4 principales activités humaines qui relâchent des GES ?

1: La fabrication (parce que l'utilisation) du ciment,

de l'acier, de l'hydrogène ... qui relâche du CO₂







2 : Les ruminants (vaches, moutons, chèvres ...) et les rizières qui relâchent du méthane (CH₄)



3 : La déforestation, les labours profonds, l'utilisation des nitrates, « nos » pratiques agricoles ... qui détruisent la matière organique, en particulier celles des sols, ce qui relâche du CO₂.











(3eme édition)
Jacques LOYAT
Yves PETIT

Et surtout 4: l'utilisation des combustibles fossiles









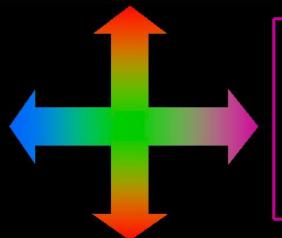




Ceux qui considère l'homme comme trop faible et insignifiant pour perturber « Dame Nature »



Ceux qui ont toujours un avis inverse de celui de la majorité, et/ou qui veulent faire parler d'eux



Ceux qui sont plus ou moins liés avec des compagnies ou des pays pétroliers ou charbonniers



Ceux de droite (souvent la droite religieuse) pour qui la croissance est supérieure à tout (croissez et multipliez ...)





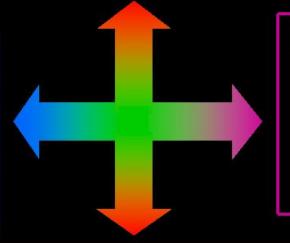
Qui sont les climato-négationnistes? Leur opinion est d'origine philosophique, caractérielle, économique.



Ceux qui considère l'homme comme trop faible et insignifiant pour perturber « Dame Nature »



Ceux qui ont toujours un avis inverse de celui de la majorité, et/ou qui veulent faire parler d'eux



Ceux qui sont plus ou moins liés avec des compagnies ou des pays pétroliers ou charbonniers

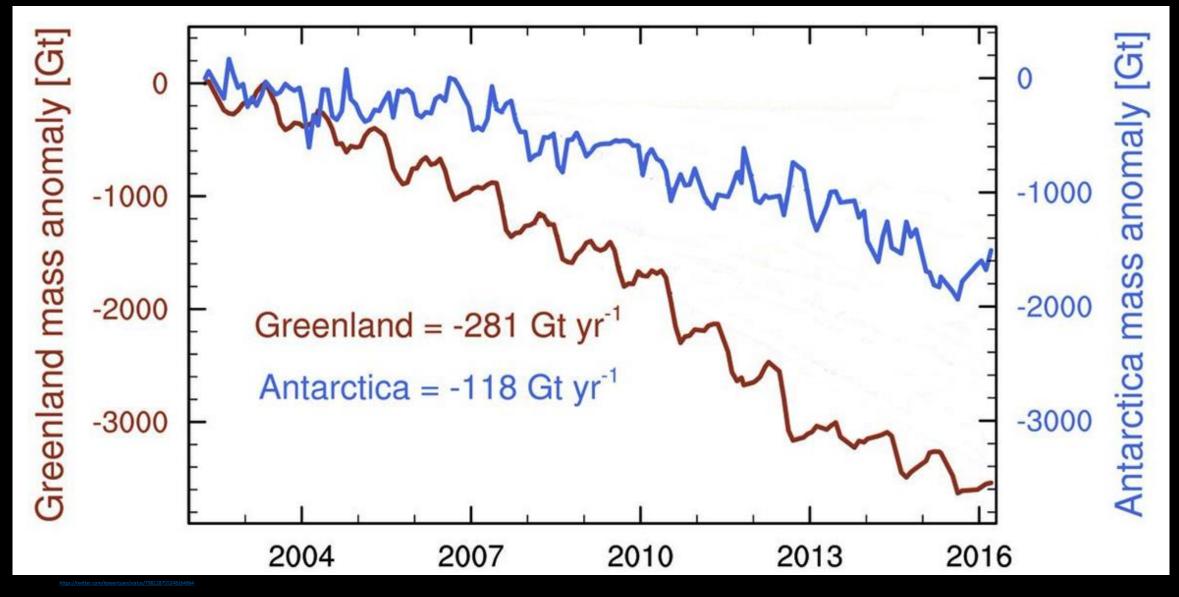


Ceux de droite (souvent la droite religieuse) pour qui la croissance est supérieure à tout (croissez et multipliez ...)

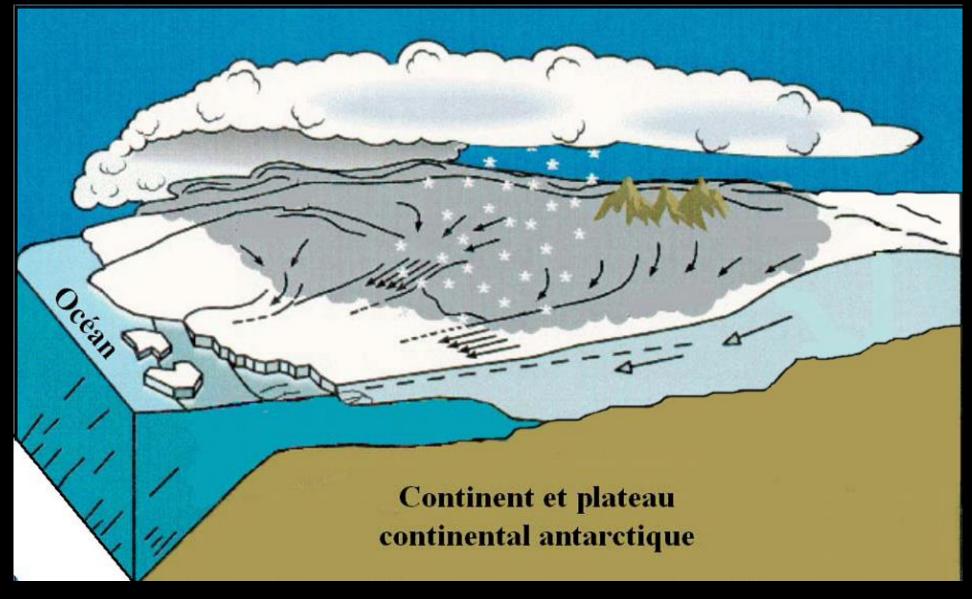




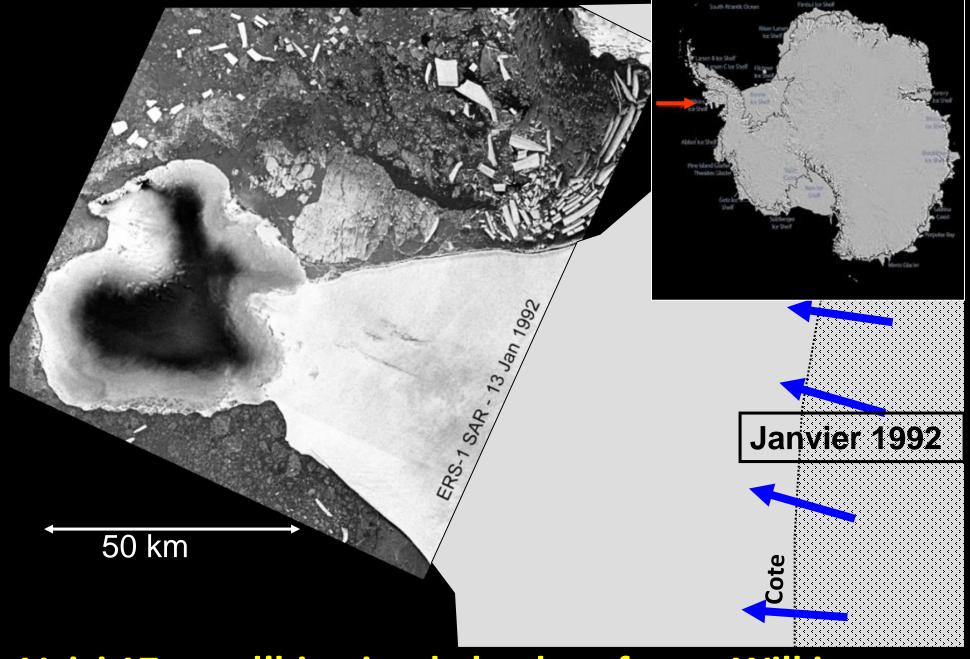
Qui sont les climato-négationnistes? Leur opinion est d'origine philosophique, caractérielle, économique.



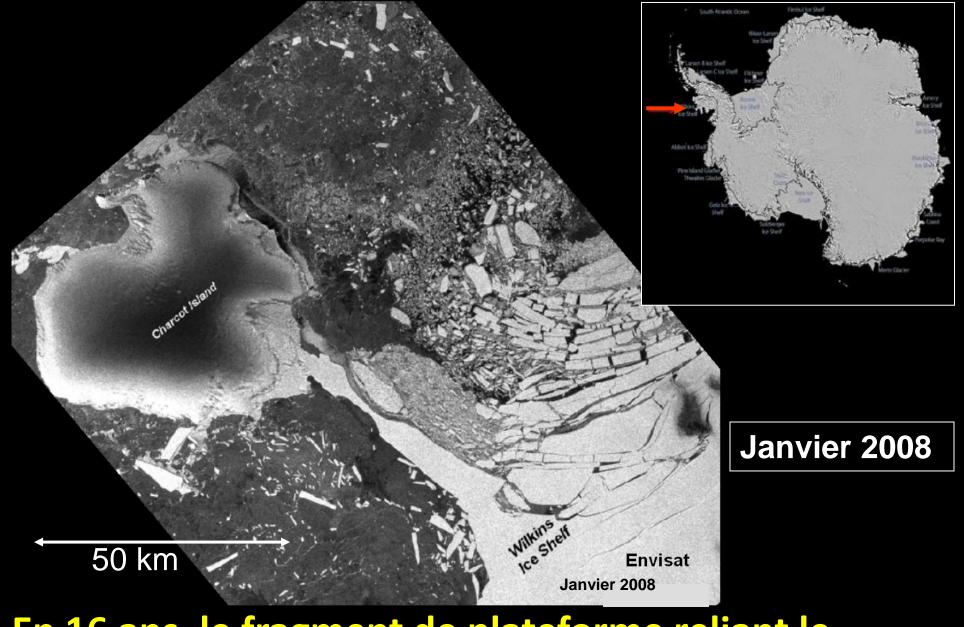
Pour l'instant, le Groenland perd 2,4 fois plus de glace que l'Antarctique.



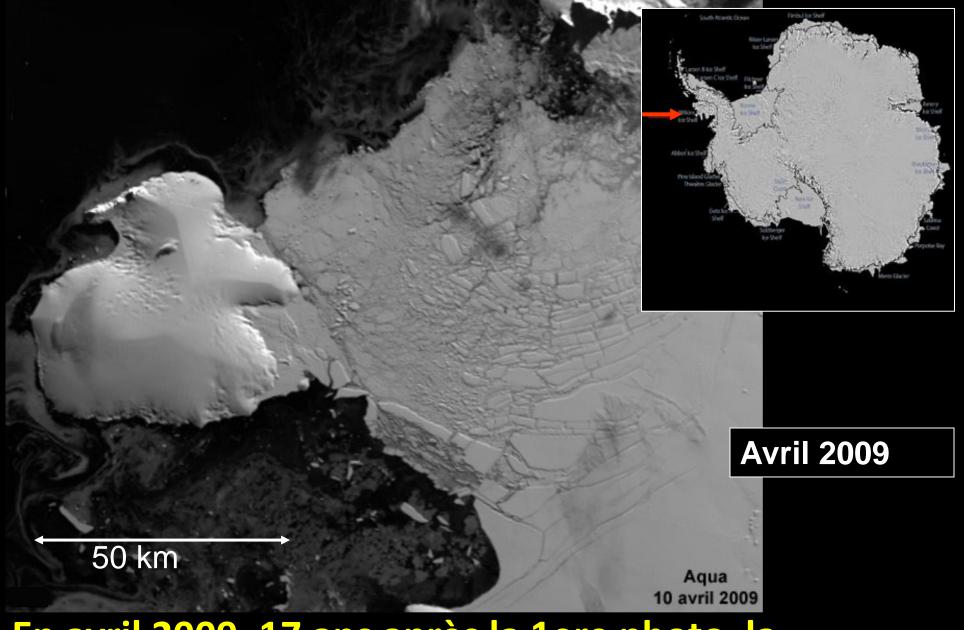
Parfois, un glacier continental « déborde » sur la mer, et forme une plate-forme de glace (ice shelf).



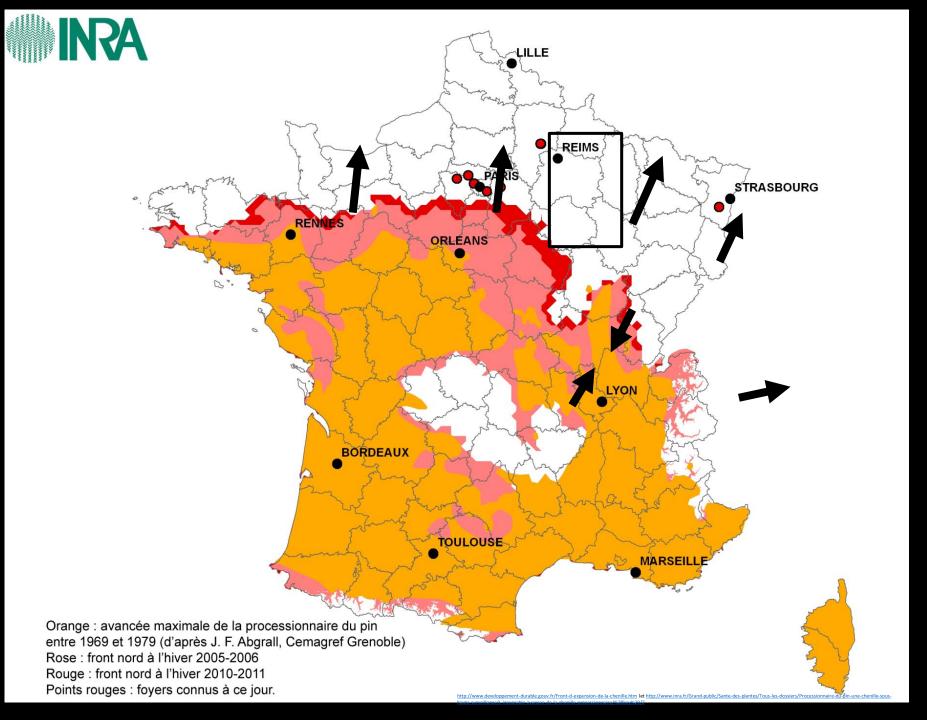
Voici 17 ans d'histoire de la plate-forme Wilkins.



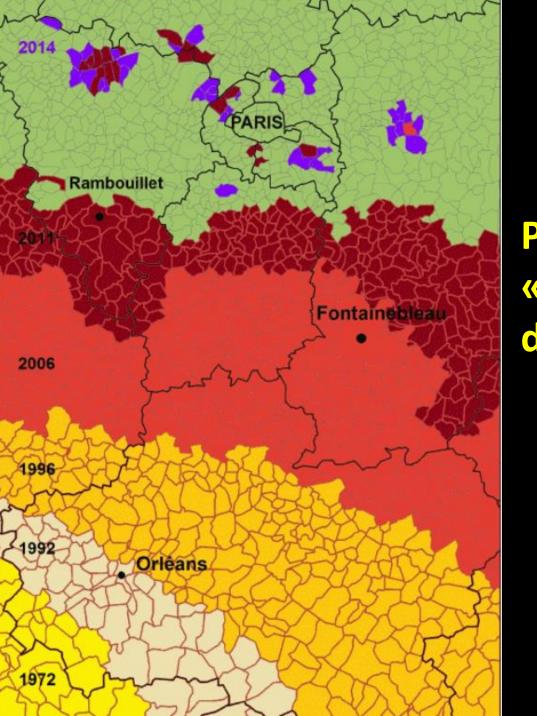
En 16 ans, le fragment de plateforme reliant le continent à l'île Charcot a presque disparu.



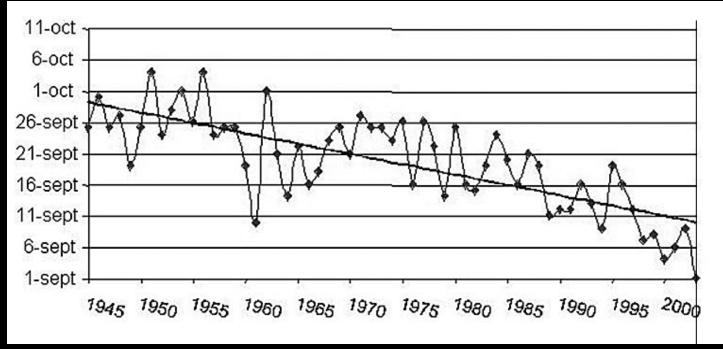
En avril 2009, 17 ans après la 1ere photo, la plateforme ne rejoint plus l'île Charcot.



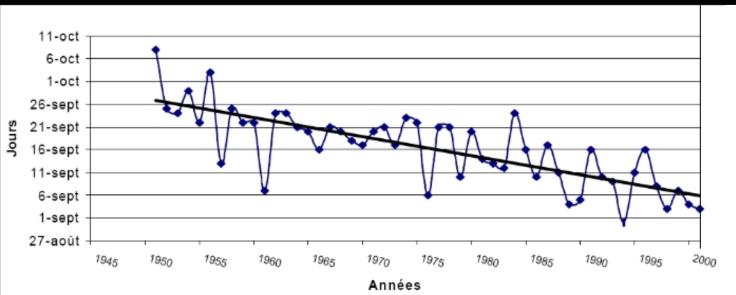
Cartes de cette migration vers le nord et vers les montagnes. Paris est atteint en 2015!



Pour parodier Serge Regiani : « Les chenilles sont entrées dans Paris ».

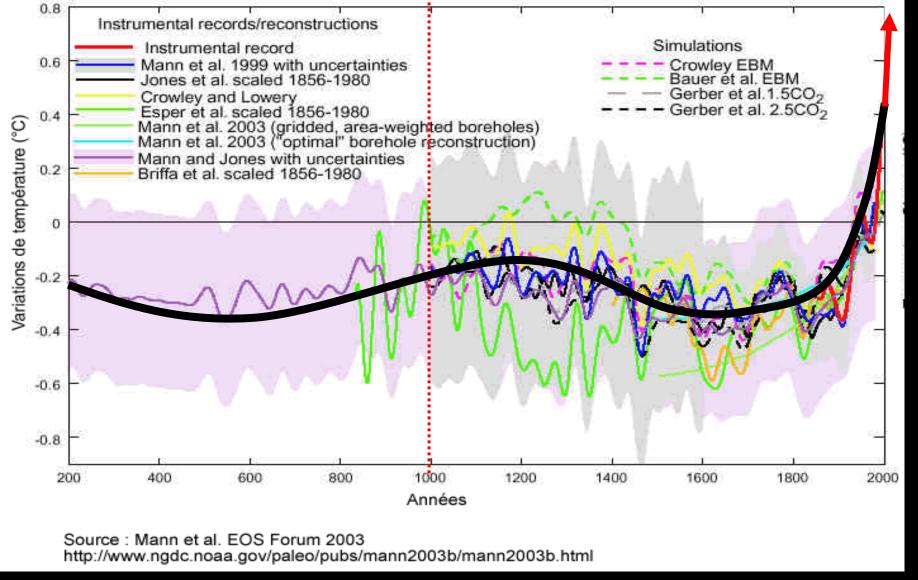


Date du début des vendanges à Chateauneuf du Pape

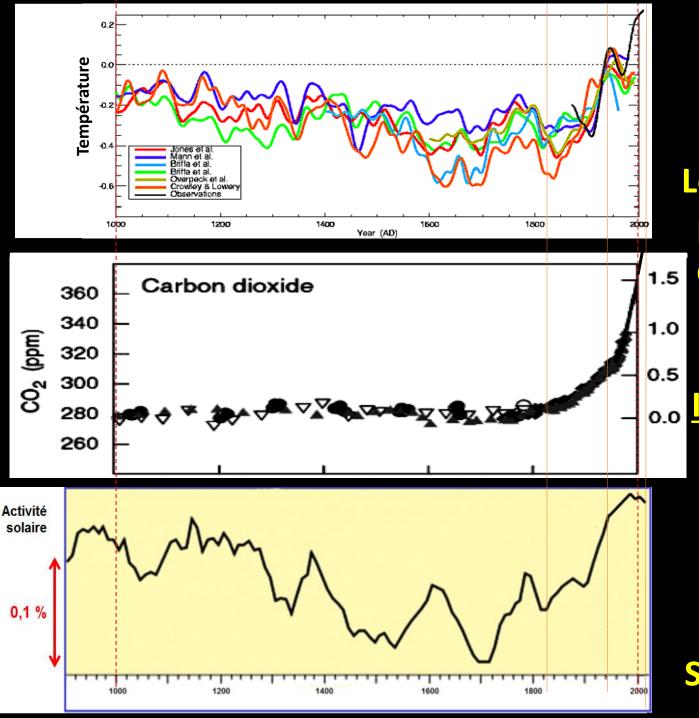


Date du début des vendanges dans la région de Tavel

Ca se voit avec la dates des récoltes et des vendanges



On peut essayer de synthétiser tout ça. Il y a des variations naturelles, faibles et lentes (0,3° en 400 ans). C'est maintenant 10 fois plus fort et rapide (1° en 150 ans).



Comparaison température / CO₂ / soleil.

Le moins que l'on puisse dire, c'est 1.5 que les relations ne sont pas claires. o.o II reste du travail à faire pour comprendre! Un possible coupable:, l'éruption du Samalas au 13^{ème}