

LA GRANDE ACCÉLÉRATION

QUE NOUS DISENT LES CAROTTES DE GLACE ?

Vous avez appris il y a quelques temps que le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) affirme depuis une trentaine d'années que le consensus scientifique au sujet de l'origine humaine du réchauffement global de notre planète est sans équivoque. Cette leçon se propose de décrire dans les grandes lignes cette activité sans précédent sur Terre.

On peut saisir sur cette photographie d'un soir d'été au-dessus de l'Océanie que la zone



de l'espace qui accueille la vie telle que nous la connaissons est très fine : une vingtaine de kilomètres d'altitude, pas plus. C'est d'ailleurs pour le moment la seule région de l'Univers dont nous savons avec certitude qu'elle favorise la vie ¹.

Depuis le début de la révolution industrielle (autour de 1850), le rythme d'exploitation par les êtres humains des ressources du sous-sol et de la biosphère ne cesse de croître. Un rythme, c'est une vitesse. Donc un rythme qui croît, c'est une accélération. Et en ce qui nous concerne dans cette leçon, il s'agit d'une *grande accélération*.

Mais avant d'observer le présent, revenons rapidement en arrière pour mieux apprécier les échelles temporelles. Notre système solaire a 4,6 milliards d'années. Ramenons cette durée qu'il est difficile d'appréhender à une année terrestre. C'est-à-dire que le 1er janvier correspond à la naissance de notre Soleil et de ses planètes (dont notre Terre, bien entendu), et que le 31 décembre à minuit correspond à aujourd'hui. Alors le genre homo apparaît le 31 décembre à 20 heures (soit il y a 2 millions d'années), homo sapiens se manifeste à 23h30 (ce qui correspond à 300 000 années), la période de l'holocène dont les anthropologues vous ont parlé au début de ce cours, c'est-à-dire les 12 000 dernières années, dure 1 minute 20 secondes, et la révolution industrielle vient de commencer il y a seulement une seconde.

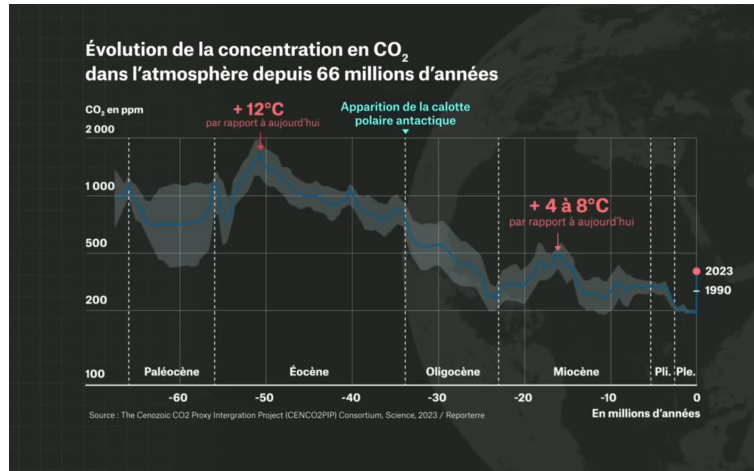
Observons sur le graphique plus bas, l'évolution de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère depuis 66 millions d'années. On constate que depuis la fin de l'oligocène, il y a un peu plus de 20 millions d'années, cette concentration n'excède pas 500 ppm ². Et

Date: Novembre 2024.

1. Il est vraisemblable que la vie ait trouvé son chemin sur des exoplanètes. Dans ce cas, il est fort probable que ces élues, si elles existent, ne sont ni trop froides, pour permettre suffisamment de mobilité et d'échanges de matière et d'énergie, ni trop chaudes, pour que les macromolécules de la vie puissent être stables. La température est un paramètre essentiel de la vie.

2. ppm = particules par million.

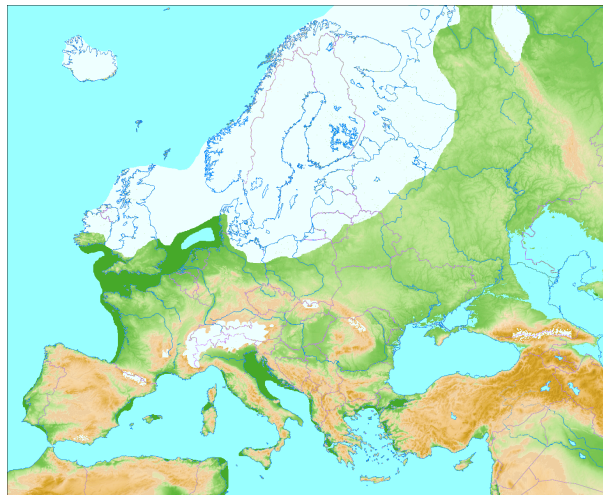
que depuis le pléistocène, il y a environ 2,5 millions d'années, cette concentration est de l'ordre de 200 ppm³. Portons maintenant notre attention sur ce qui apparaît comme une anomalie à la dernière fraction de millimètre à droite, où l'on passe d'environ 200 ppm à 400 ppm en 150 ans, dont un bond lors des 30 dernières années, sans précédent à l'échelle



Source : [CENCO2PIP](#). Infographie : Médiapart.

des temps géologiques. Il faut remonter à 15 millions d'années dans le passé pour trouver une concentration de CO₂ aussi élevée que celle d'aujourd'hui. Et dans dix ans, si l'humanité⁴ ne freine pas drastiquement sa consommation d'énergie fossile, nous retrouverons la concentration de CO₂ d'il y a 30 millions d'années.

L'image ci-dessous représente l'Europe à la fin de la dernière glaciation, il y a environ 20 000 ans. La température globale du continent était inférieure de 5 degrés à la température de référence de 1850. Pour se donner une idée de ce que représente un écart

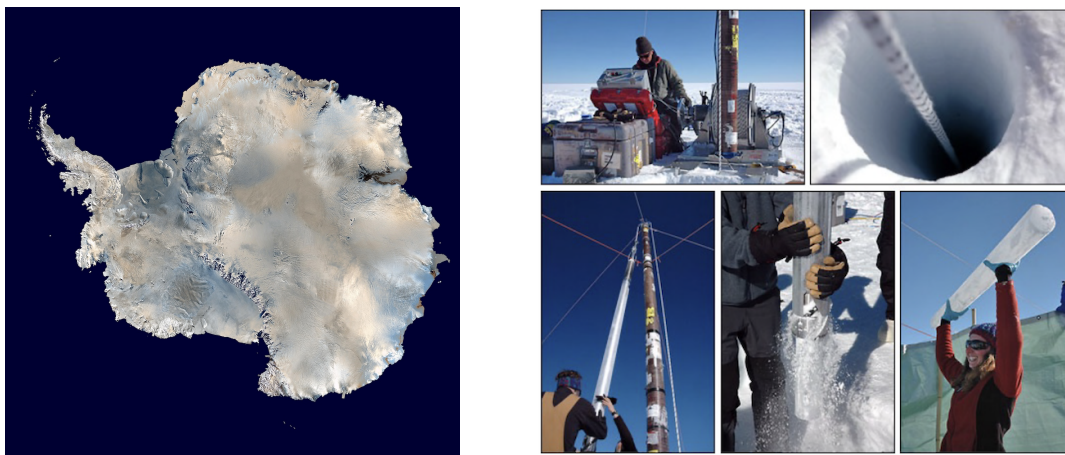


de quelques degrés de température globale, à cette époque l'altitude de la surface des océans était inférieure d'environ 120 mètres à leur altitude actuelle, et ce pour pouvoir alimenter les nombreuses calottes glacières et glaciers à la surface du globe. L'Angleterre et la Scandinavie étaient recouvertes par un glacier culminant à 3000 mètres d'altitude. Les bords du bassin méditerranéen étaient une steppe, et le territoire actuel de la France ne pouvait subvenir aux besoins que d'une centaine de milliers d'êtres humains.

3. À droite sur le graphique, puisque le présent correspond au zéro sur l'axe horizontal.

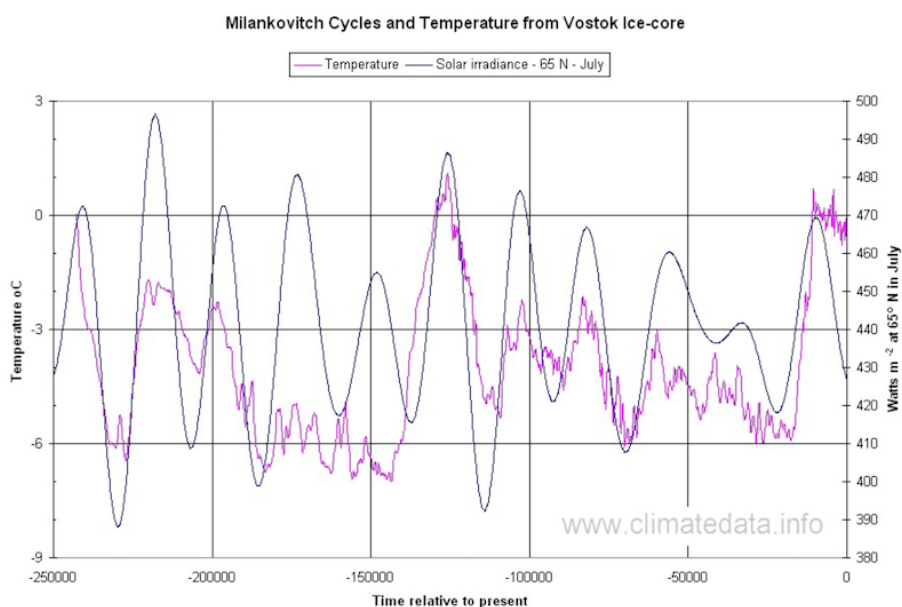
4. En fait, seuls les pays riches sont concernés, comme nous le verrons plus tard.

Pour en savoir plus sur la température de la Terre dans le passé, faisons un petit détour par le pôle sud. C'est en analysant des prélèvements de glace obtenus en forant à plusieurs centaines de mètres de profondeur dans l'Antarctique que des glaciologues ont pu reconstituer l'évolution de la température moyenne du lieu de forage et de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère, durant presque un million d'années. En effet, la glace se constitue par l'accumulation successive de précipitations de neige, laquelle emprisonne des micro-bulles d'air contenant bien sûr un peu de CO_2 . Par ailleurs, la structure des molécules d'eau varie en fonction de la température ⁵. Les cristaux de glace



portent donc la signature de la température ambiante.

Et voilà ce que les équipes de recherche sur le terrain et dans les laboratoires de chimie physique ont obtenu. Sur ce premier graphique, l'axe horizontal représente le temps : 0 à droite est le présent et -250 000 à gauche signifie "il y a 250 000 ans". La courbe lisse en noir représente l'évolution dans le temps de la quantité moyenne d'énergie solaire – appelée irradiance solaire – que reçoit la Terre : ce sont les cycles de Milankovitch que vous avez déjà rencontrés. Leur calcul est la conséquence de considérations astronomiques,

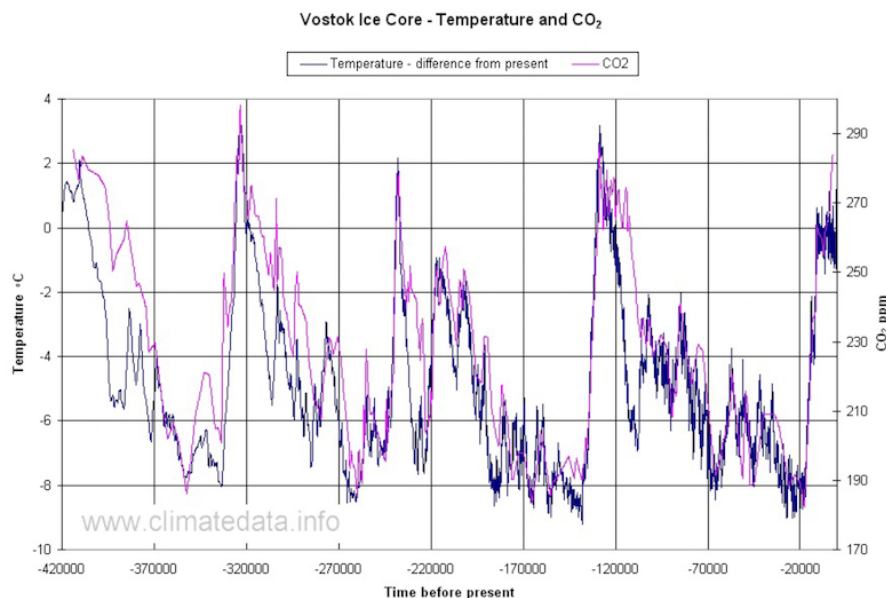


5. Ceci n'est pas tout à fait exact. C'est en fait la proportion des isotopes de l'hydrogène qui est fonction de la température.

ce qui explique que la courbe soit lisse et oscillante. L'axe vertical qui correspond à cette courbe est à droite. Il est gradué en watt par mètre carré (W/m^2) car il représente une "puissance de chauffage par unité de surface". Quant à l'axe de gauche, qui est gradué en degrés celsius, il correspond à la courbe violette et erratique. Celle-ci collecte les températures obtenues en analysant la composition des carottes de glace extraites à la station de Vostok. La température 0 sur l'axe vertical correspond à une température de référence (de l'ordre de -54 degrés celsius), de sorte qu'on lit directement les variations par rapport à cette référence. On constate une certaine similitude entre les deux courbes. Ceci signifie que les cycles astronomiques influencent fortement la température, mais qu'ils ne sont toutefois pas les seuls facteurs. On sait par exemple que les interactions de l'atmosphère avec l'ensemble de la biosphère sont loin d'être des facteurs négligeables pour le climat.

Attardons-nous un instant sur ce qu'il se passe durant les 12 000 dernières années (à droite sur le graphique). On peut y voir qu'alors que l'irradiance solaire diminue rapidement, la température reste stationnaire⁶. Cette période récente s'appelle l'holocène, comme vous le savez déjà. Du fait de la stabilité d'un climat clément, les humains ont pu se sédentariser et développer l'agriculture.

Le graphique suivant nous propose la juxtaposition des courbes d'évolution de la température (en noir) et de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère (en violet), à nouveau



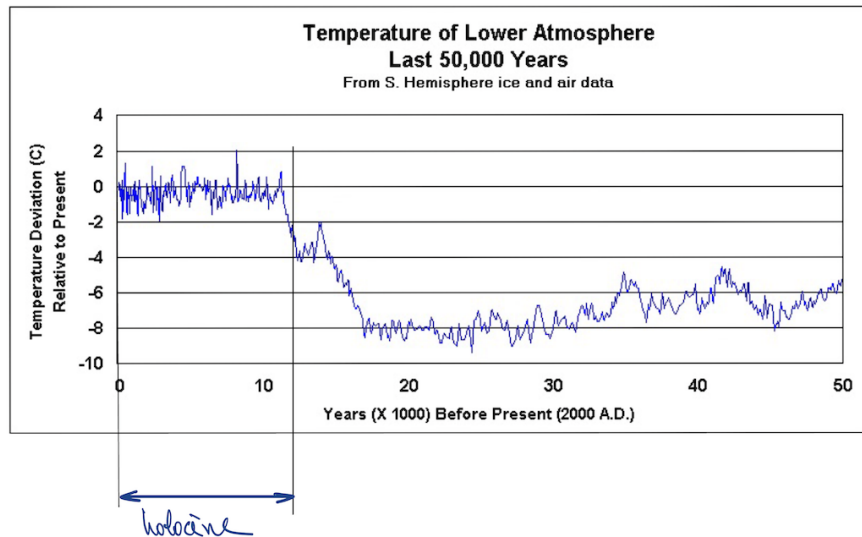
à la station de Vostok, mais cette fois-ci sur une période remontant à 420 000 ans dans le passé. On constate une très forte corrélation. Rien d'étonnant puisqu'on sait depuis longtemps, grâce à des expériences en laboratoire, que le CO_2 est un gaz à effet de serre⁷.

Faisons maintenant un zoom sur les 50 000 dernières années. Attention, dans le graphique qui en résulte, le temps qui est à nouveau représenté sur l'axe horizontal est inversé

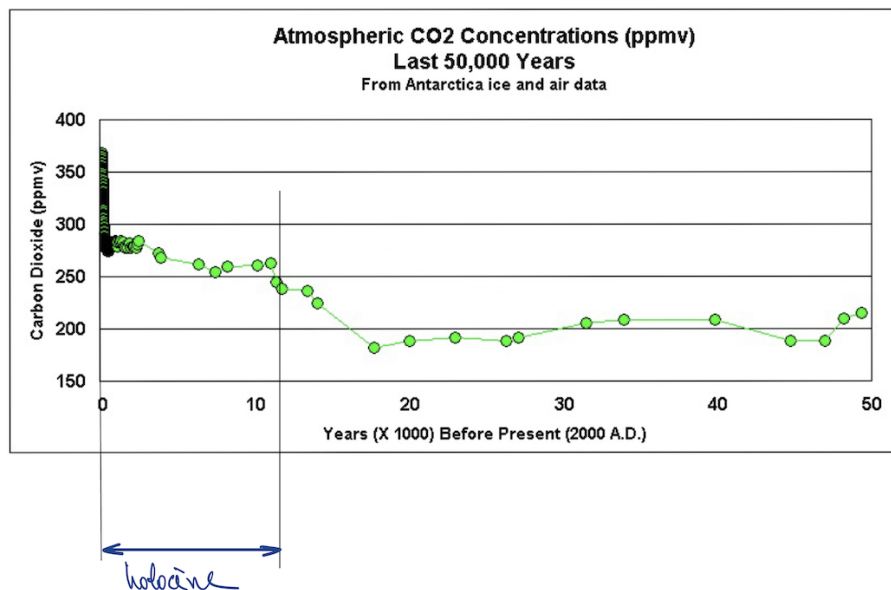
6. C'est d'ailleurs la seule occurrence de ce phénomène sur le graphique, puisque vous pouvez constater que partout ailleurs, lorsque l'irradiance solaire diminue, la température moyenne chute rapidement. Il se pourrait que cela soit la conséquence du démarrage d'un forçage radiatif dû à l'agriculture (brûlis, bois de chauffage et émissions de méthane dues à l'élevage de ruminants et à la riziculture). Cette hypothèse est sérieusement étudiée par la communauté scientifique.

7. Svante Arrhenius (1859-1927), un scientifique suédois, fut le premier à proposer en 1896 l'hypothèse que l'usage des combustibles fossiles pouvait avoir comme conséquence un réchauffement global (ce dont il se réjouissait à l'époque, d'autant qu'il était suédois, en espérant de meilleurs rendements agricoles). Il proposa une relation entre la concentration en CO_2 dans l'atmosphère et la température.

par rapport aux graphiques précédents : le présent, c'est-à-dire 0, est cette fois-ci placé à gauche : en lisant de gauche à droite, on recule dans le passé. La borne 50 la plus à droite correspond à 50 000 années en arrière. L'axe vertical est gradué en degrés celcius. Le zéro sur cet axe correspond à la température de référence qui est celle du présent. On constate en parcourant le graphique de droite à gauche qu'après une période de plusieurs dizaines



de milliers d'années où il fait franchement froid, la température commence à augmenter il y a 17 000 ans, pour se stabiliser 6000 ans plus tard après une augmentation régulière de 8 degrés environ ⁸ (en Antarctique), et rester stable durant toute la période de l'holocène, jusqu'à présent ... mais pas tout à fait, comme nous allons le voir. La courbe jumelle qui suit représente l'évolution de la concentration en CO₂ dans la basse atmosphère. On observe une augmentation de la concentration en CO₂ pendant la même période : de -17000 à -11000 ans, qui passe d'environ 200 ppm à 280 ppm, avec une augmentation

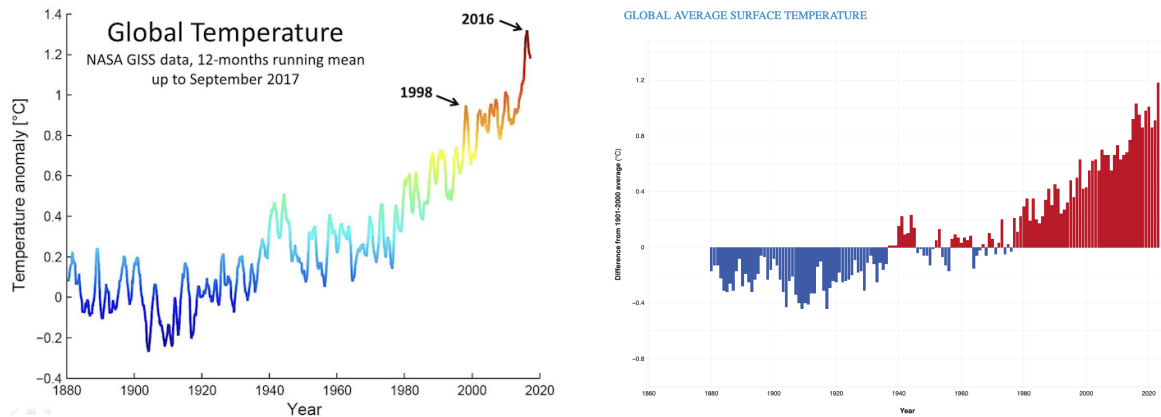


lente et continue (de 250 à 280 ppm) pendant l'holocène. Puis survient l'anomalie spectaculaire, que nous avons remarquée un peu plus haut, de l'augmentation brutale de la

8. Nous avons vu au début de cette leçon que la température globale en Europe a augmenté pendant la même période de 5 degrés, au lieu de 8. Ce n'est pas une contradiction, car les zones polaires sont sujettes à de plus grandes variations de température que les régions plus proches de l'équateur.

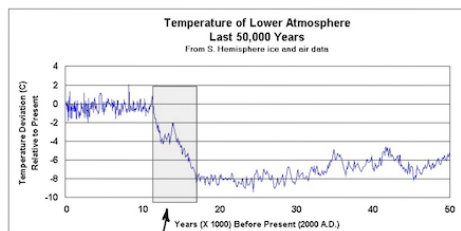
concentration durant les dernières décennies, où l'on passe de 280 ppm à environ 420 ppm aujourd'hui.

Zoomons sur les 140 dernières années en observant l'évolution des températures annuelles globales. Le 0 sur l'axe vertical du graphique de gauche correspond à la température de référence de la période pré-industrielle. Lorsqu'on parle d'un réchauffement à 1.5 degré, ou à 2 degrés, c'est par rapport à cette température de référence. Le graphique de gauche indique qu'en 2016 la température annuelle globale était de 1,3 degré supérieure à celle de la période pré-industrielle. Le graphique de droite représente le même phénomène,

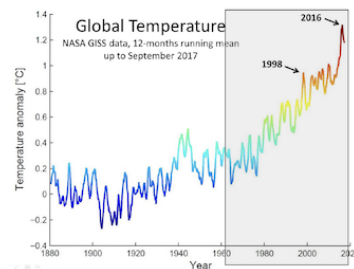


mais cette fois on a pris pour référence la moyenne de température globale sur tout le 20e siècle. Les barres bleues indiquent les années plus froides que la moyenne de référence, alors que les barres rouges indiquent celles qui sont plus chaudes. Le graphique de gauche est produit par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) et celui de droite par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis.

Faisons maintenant le petit calcul de proportionnalité⁹ suivant :



$$\begin{aligned} 6000 \text{ ans} \\ \Delta T_{\text{global}} = 4^{\circ}\text{C} \\ 4^{\circ}\text{C} / 6000 \text{ ans} = 0,07^{\circ}\text{C} / \text{siècle} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} 60 \text{ ans} \\ \Delta T_{\text{global}} = 1^{\circ}\text{C} \\ 1^{\circ}\text{C} / 60 \text{ ans} = 1,67^{\circ}\text{C} / \text{siècle} \end{aligned}$$

$$\frac{1/60}{4/6000} = 25 \approx$$

vitesse d'un marcheur
vitesse d'une voiture sur autoroute

Dans le calcul à gauche, nous avons remplacé l'augmentation de température de $\Delta T_{\text{ant}} = 8$ degrés en Antarctique par $\Delta T_{\text{global}} = 4$ degrés qui est celle sur la totalité du globe terrestre, les pôles étant sujets à une plus grande variabilité thermique que les autres régions de la planète. On s'aperçoit que la vitesse d'augmentation de la température en

9. Ne vous inquiétez pas, je l'ai fait pour vous :-). Mais tenter de le vérifier par soi-même, si on est à l'aise avec les calculs élémentaires, permet de mieux apprivoiser la réalité impressionnante qu'il dévoile.

sortie de la dernière glaciation, sans forçage humain, est d'environ 0,07 degré par siècle, alors que l'augmentation depuis 1960 correspond à 1,7 degré par siècle. Et si on se restreint aux 20 dernières années on observe une augmentation de 2,25 degré par siècle, soit une augmentation 32 fois supérieure au rythme naturel. Un marcheur tranquille se déplace à 5 km/h ; 32 fois plus vite cela fait 160 km/h. Si nous ne freinons pas de toute urgence, il sera difficile d'amortir le choc.

Puisqu'on a évoqué l'Antarctique¹⁰ ...



10. Un jeune phoque en Terre Adélie.