

Les risques périodiques de dérèglement climatique

Sommaire

Résumé : La périodicité n'explique que partiellement le dérèglement.....2

1 Les leçons du Pléistocène3

1.1. Les oscillations de température du Pléistocène3

1.2. Les informations découvertes dans les glaces.....4

2.... Les causes naturelles d'oscillation des températures moyennes6

3.... Le risque d'impact de gros astéroïdes7

3.1. Le risque permanent des météorites.....7

3.2. Le risque prochain de chutes de météorites.....9

4.... Les perturbations volcaniques du climat9

4.1. Corrélation entre le volcanisme et les crises climatiques.....9

4.2. L'influence climatique des crises volcaniques.....10

4.3. Contribution du volcanisme au réchauffement.....11

5.... Les variations astronomiques influençant la température terrestre.... 12

5.1. L'effet de l'excentricité de l'orbite terrestre12

5.2. Effet de l'obliquité de l'axe de rotation13

5.3. Effet de la précession des équinoxes13

6.... Les variations climatiques due à l'activité solaire..... 15

6.1. La raison des taches solaires.....15

6.2. Analyse des tâches solaires16

6.3. Prédiction des tâches solaires à court terme16

6.4. La modulation à long terme des taches solaires16

6.5. Prédiction de l'activité solaire.....16

7.... Les prédictions climatiques selon les lois de Milankovič. 16

8.... Les risques de la variation du magnétisme terrestre..... 17

8.1. Evolution actuelle du champ magnétique17

8.2. Les causes du magnétisme terrestre18

8.3. L'évolution du champ magnétique terrestre18

8.4. Les risques d'une disparition du magnétisme terrestre.....19

9.... L'effet des courants océaniques20

9.1. Influence des continents sur les courants.....20

9.2. Le principe de formation des courants.....20

9.3. Influence des courants sur le climat.....21

9.4. Influence du climat sur les courants (cycle de Dansgaard-Oeschger).....21

10.. Quelles prévisions pour l'avenir22

10.1. L'évolution due aux phénomènes naturels.....22

10.2. L'évolution due aux phénomènes anthropomorphiques23

Résumé : La périodicité n'explique que partiellement le dérèglement

Les mesures de température et les phénomènes observés indiquent **une nette élévation des températures moyennes**, de l'ordre de 1°C depuis le début de l'ère industrielle (1850).

D'importantes variations climatiques se sont succédées régulièrement depuis l'aire primaire (voire l'étude des [crises de la biodiversité](#) de Marie José Boccoz Borie) et ont provoqué des extinctions très importantes de la biodiversité. Même dans la période historique, il a été noté d'importantes variations climatiques comme le réchauffement médiéval, lorsque les Vikings ont découvert le Groenland (alors terre verte) et lors du petit âge glaciaire, qui a perturbé la production agricole à l'époque de la révolution française.

Les climato-sceptiques, dont des géologues, ont affirmé que le climat dépend essentiellement de phénomènes naturels plutôt que d'une origine anthropomorphe.

Nous nous proposons de montrer que la plupart des phénomènes qui perturbent le climat ont une occurrence en grande partie prévisible, en raison de **leur caractère périodique**. Par conséquent, l'étude de ces périodicités indique si, dans la période actuelle, le réchauffement actuel a une origine naturelle, au moins en partie, ou si, au contraire, il est dû à des activités d'origine humaine. Cette analyse de la périodicité de la plupart des phénomènes naturels qui perturbent le climat, montre que la planète est dans une ère où, **les variations des phénomènes naturels ne nous exposent significativement ni à un réchauffement prochain, ni à une glaciation, pendant plusieurs dizaines de milliers d'années**. Cependant des scientifiques ont découvert **deux phénomènes naturels probablement impliqués dans le réchauffement actuel**, mais qu'ils sont **insuffisants pour en expliquer l'amplitude et la rapidité**.

Un degré Celsius, cela paraît peu, mais les climatologues nous alertent, car il est montré que cette élévation de température est due à **une accumulation à terme de gaz à effet de serre** dans l'atmosphère et donc que **le réchauffement va inexorablement s'accélérer**. Ce réchauffement est en train de provoquer un dérèglement du climat important, l'assèchement des zones sèches et des inondations et des tempêtes dans les zones humides et il faut craindre d'énormes problèmes sociaux, qui vont en découler. Le GIEC a calculé qu'il ne faudrait pas dépasser une élévation complémentaire de 1,5°C d'ici à 2050, car, au-delà, le phénomène va s'auto-accélerer de façon irréversible. La civilisation saura-t-elle éviter cette catastrophe ? Ce sera l'objet de nos prochaines études.

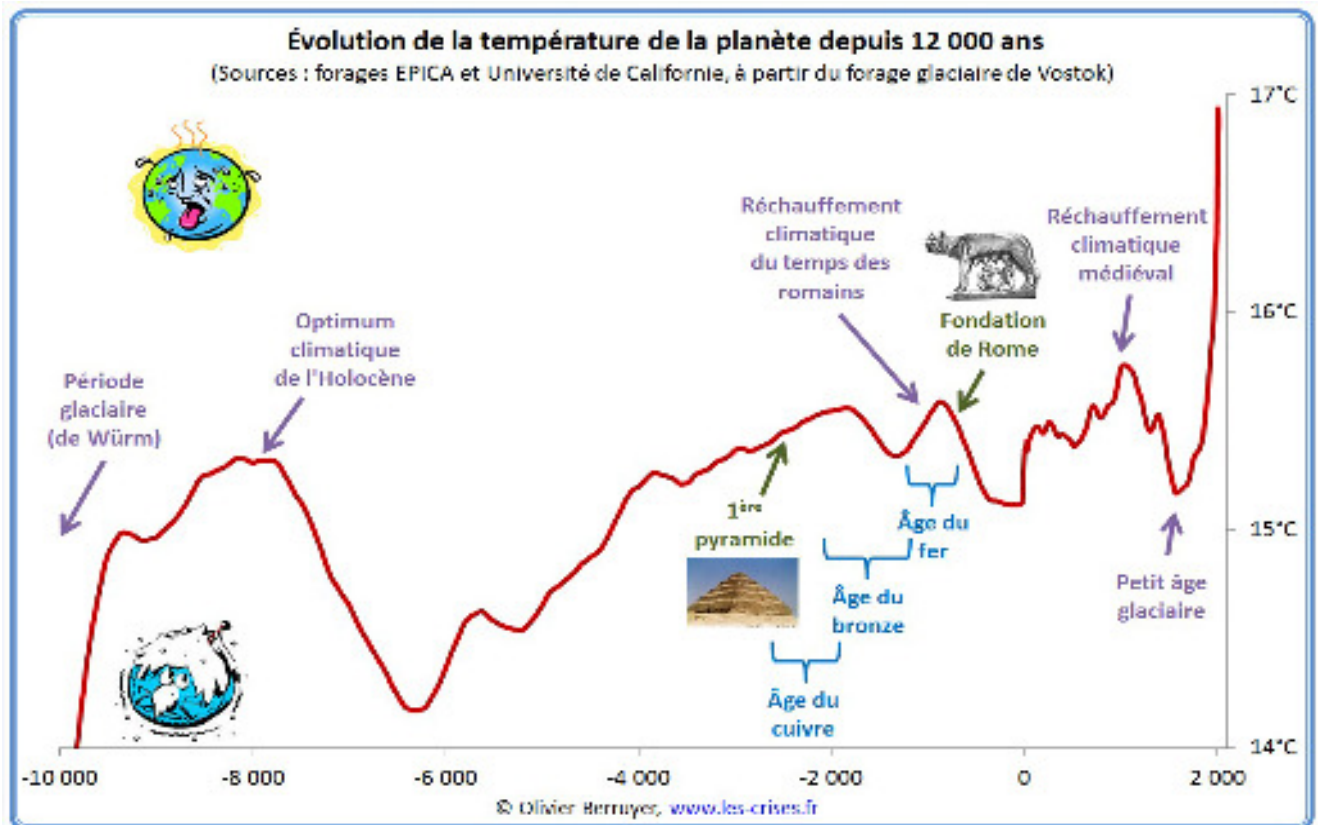


Figure 1 : Evolution historique des températures durant l'holocène

1 Les leçons du Pléistocène

Le pliocène est l'ère récente de la paléontologie, précédant l'ère interglaciaire actuelle qui se nomme holocène et qui débute peu avant la période historique.

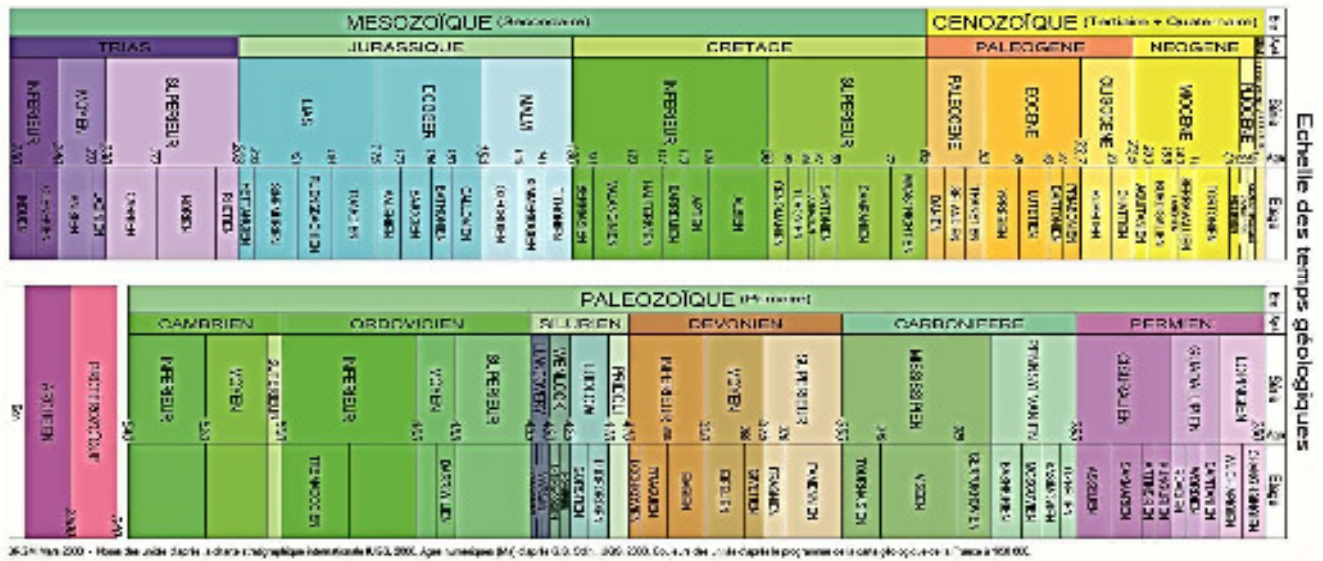


Figure 2 : Le pliocène avant dernière ère paléontologique

1.1. Les oscillations de température du Pléistocène

Comme on le voit sur le diagramme suivant (Figure 3) avec abscisse temps logarithmique, les températures moyennes ont :

- ⇒ baissé de 4° lors de la fin du néogène (ex-quaternaire) de 100Ma¹ à 1Ma et
- ⇒ dans le détail, beaucoup oscillé durant le pléistocène.

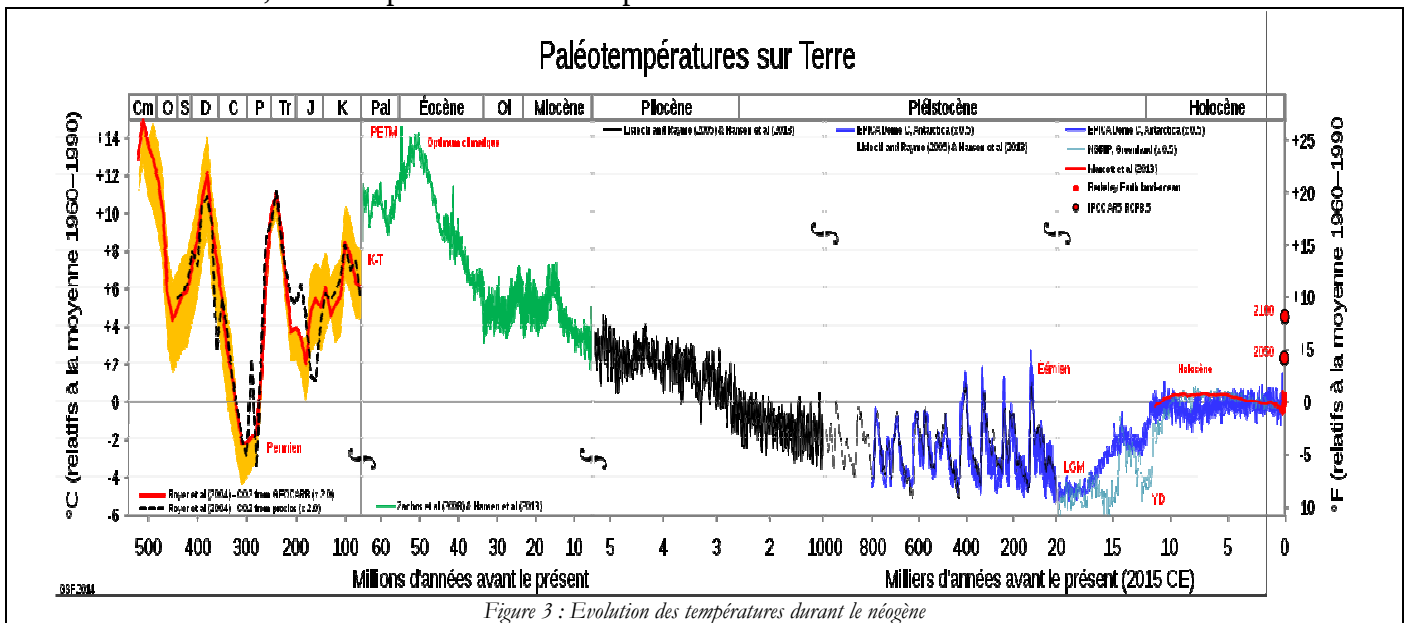


Figure 3 : Evolution des températures durant le néogène

Durant le Pléistocène², d'environ -2,6Ma à 11,2 ka, il y a eu **une succession régulière d'au moins 17 périodes glaciaires** dont le cycle d'oscillation des températures a été :

- ⇒ jusqu'à environ -700 000 ans, de 40 000 ans,
- ⇒ lors des derniers 600 000 à 800 000 ans, d'un peu plus de 100 000 ans,
- avec un épisode interglaciaire en moyenne de 15 000 ans.

¹ Ma = Million d'années. En Anglais My ou Myr, ka = 1 000 ans.

² (ex-ère quaternaire), dernière période du Cénozoïque

La période actuelle « holocène » dure depuis 11 600 ans est une interglaciaire de température confortable pour les humains.

1.2. Les informations découvertes dans les glaces

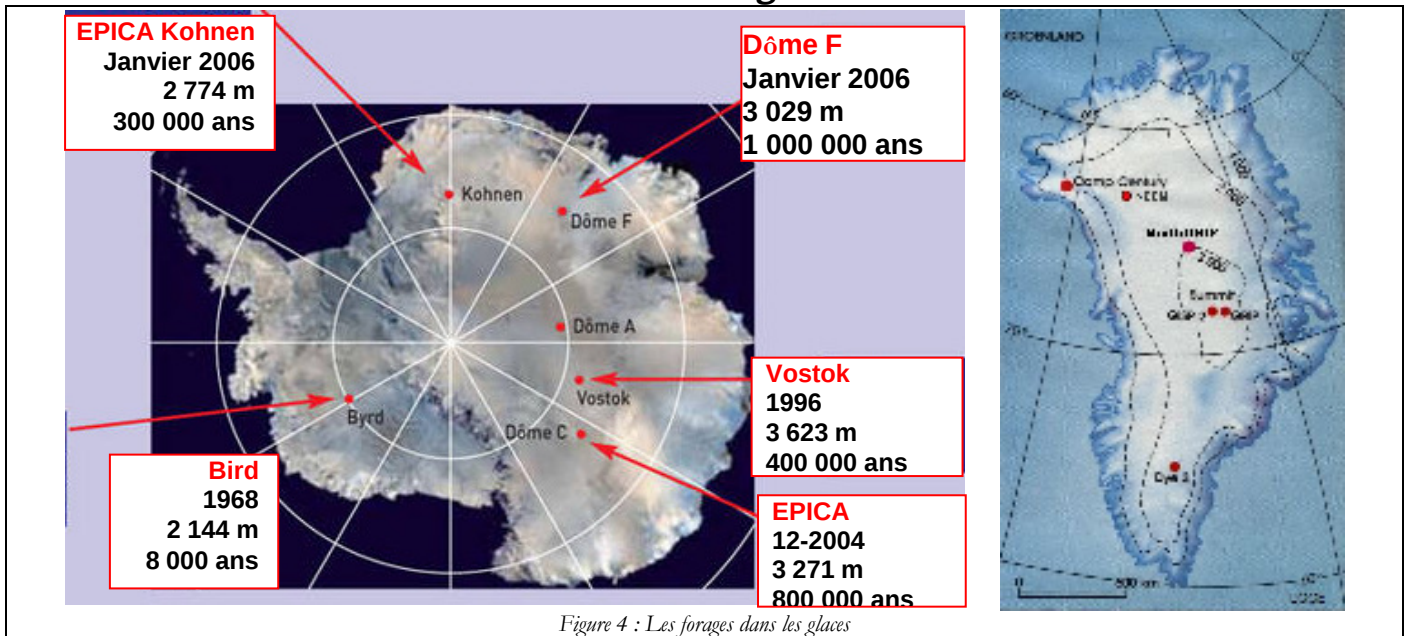


Figure 4 : Les forages dans les glaces

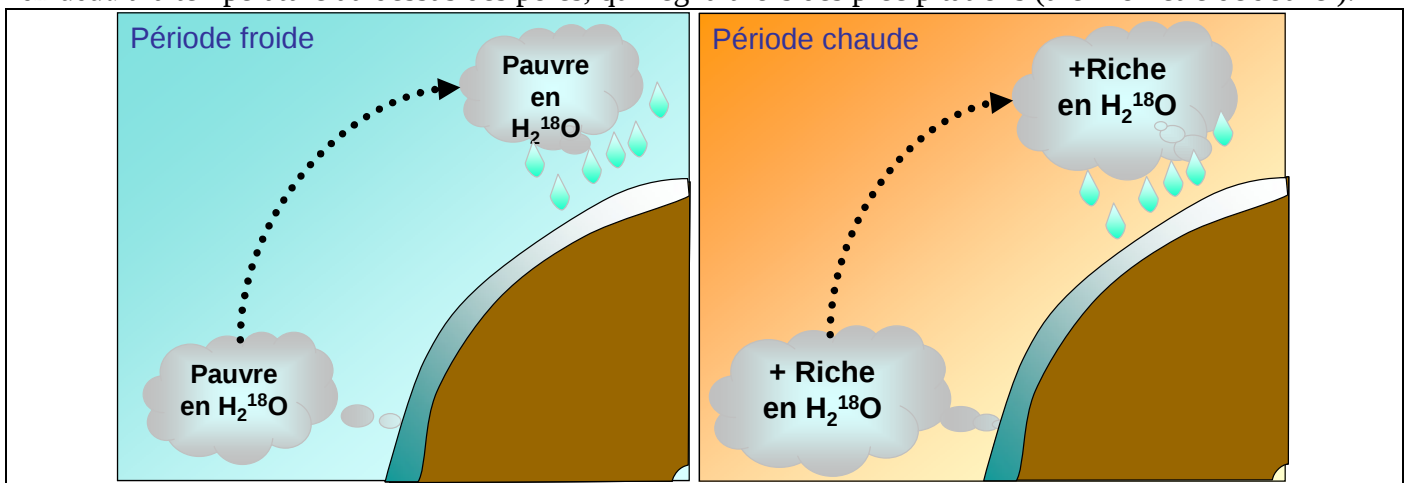
L'air piégé dans les profondeurs des glaces est analysé :

- ⇒ à Vostok en antarctique : projet EPICA=European Project for Ice Coring in Antarctica et
- ⇒ au Summit (sommet) du Groënland GRIP (EU) ou GISP (USA).

On y mesure :

- ⇒ le taux d'isotope $^{18}\text{O}_2$ d'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$), caractérisant la paléo-température T :
 - Mesuré par le Laboratoire de Modélisation du Climat à Saclay,
 - Mesuré par le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse ;
- ⇒ le taux de CO_2 et de CH_4 dans l'atmosphère qui fluctue parallèlement à T.
 - Mesuré par le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement à Grenoble qui analyse des gaz, des poussières et de la composition chimique de la glace.

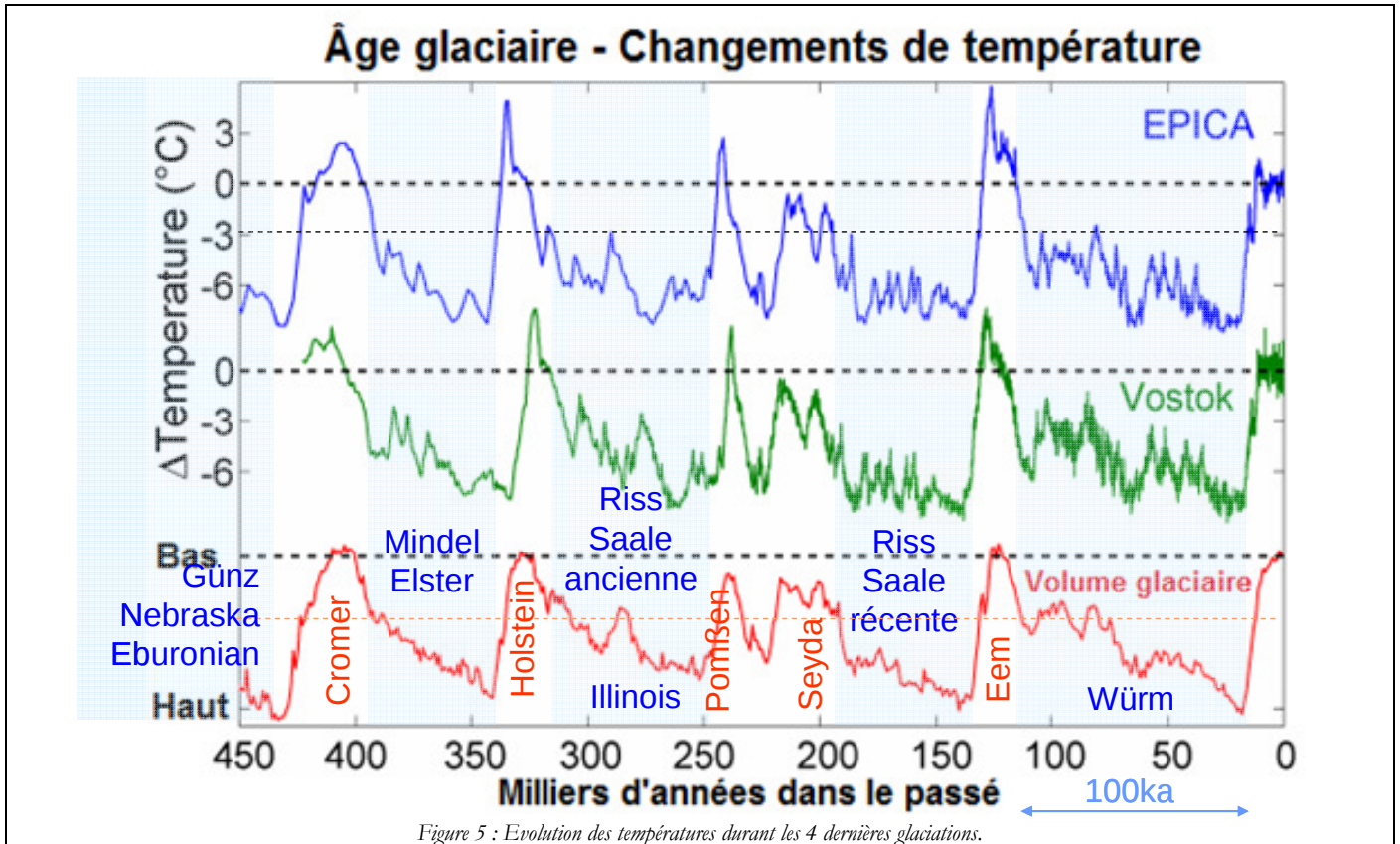
En période froide, il y a plus d'eau H_2^{16}O que d' H_2^{18}O qui s'évapore. Arrivé aux pôles, les précipitations contiennent quasiment que de l'eau H_2^{16}O . Le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces est donc plus faible qu'en période chaude. On en déduit la température au dessus des pôles, qui régnait lors des précipitations (thermomètre de Jouzel).



Nous nous proposons d'analyser les leçons à tirer des études de ces températures.

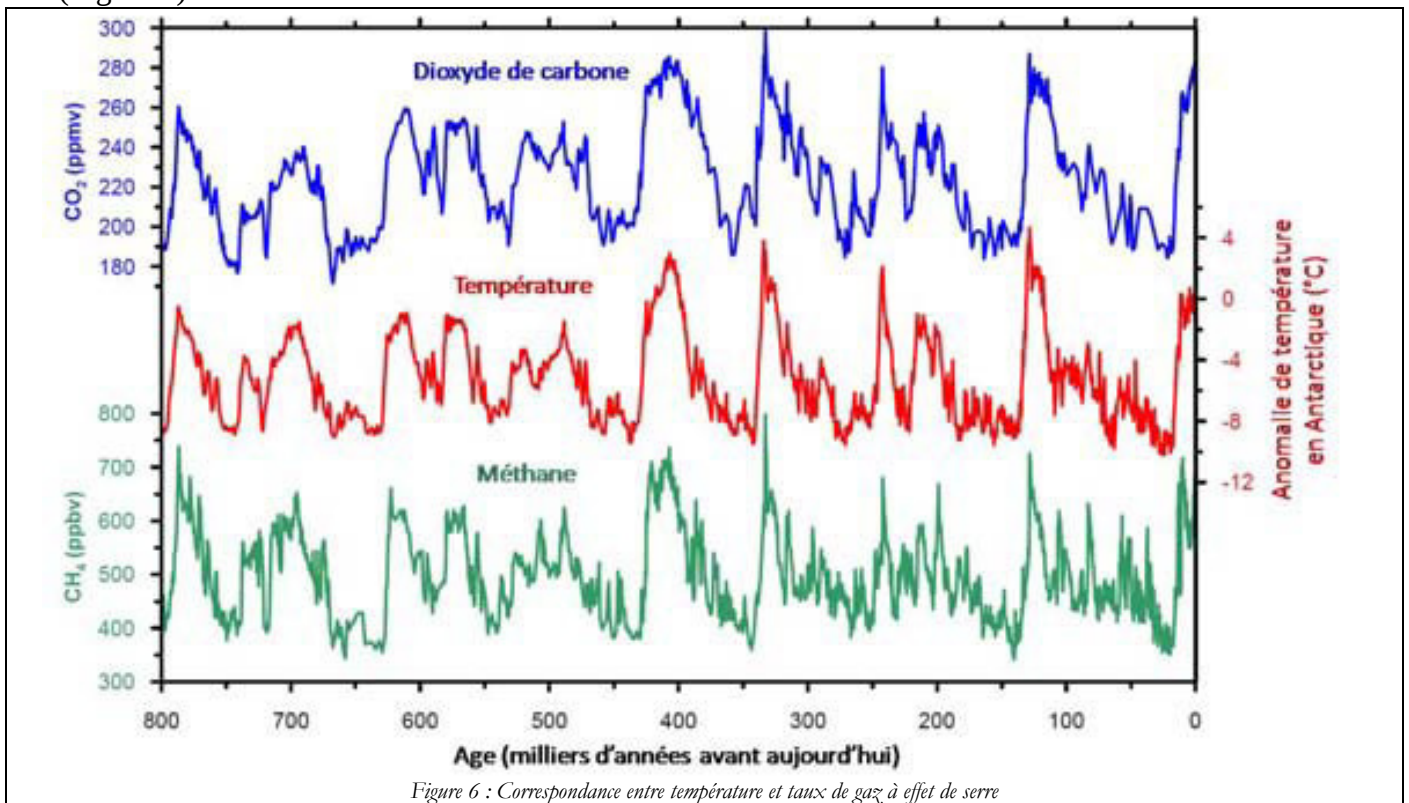
Les forages permettent de remonter :

- ⇒ en Antarctique sur 4 glaciations (car ils sont plus profonds),
- ⇒ au Groenland sur la dernière glaciation.

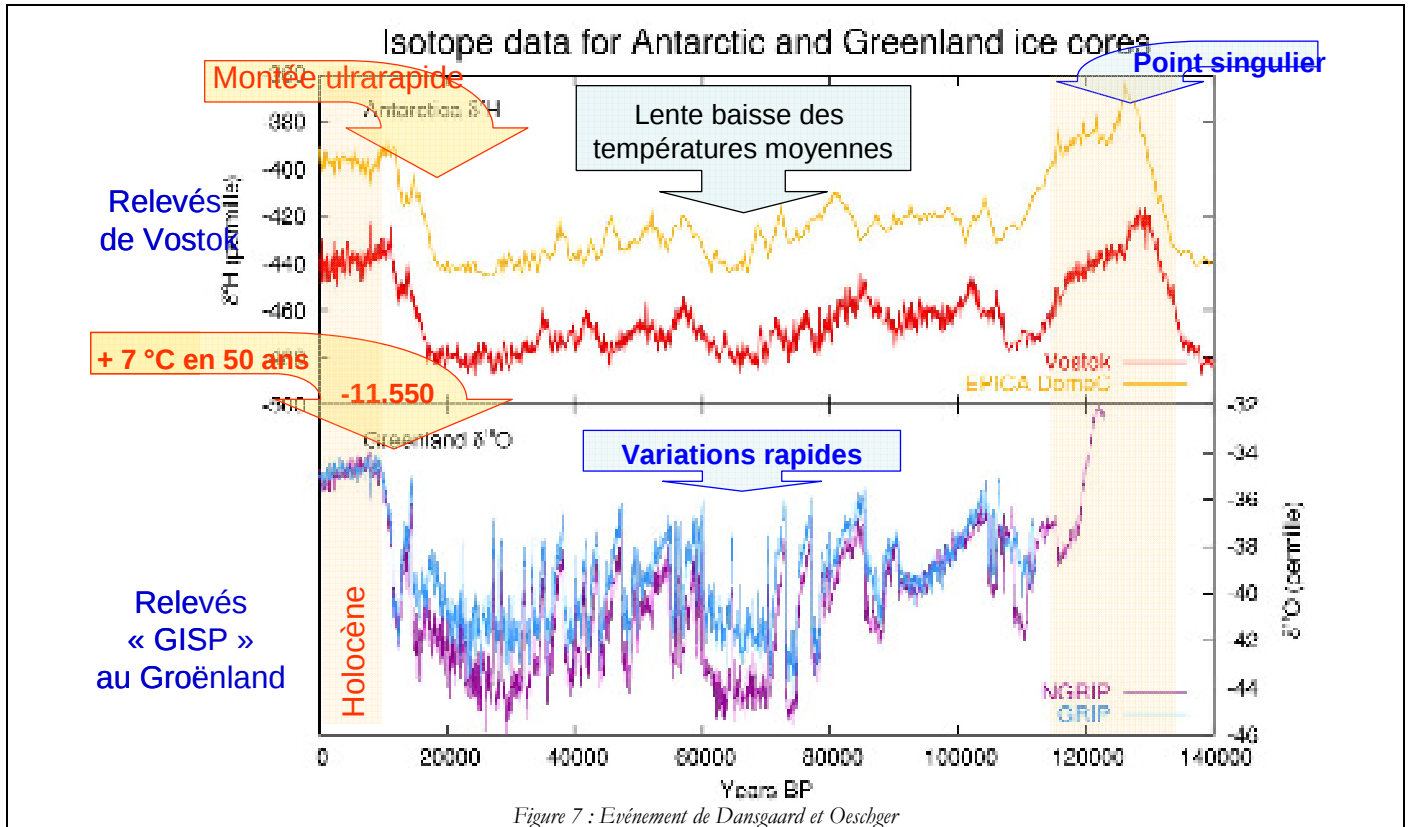


On a noté entre les résultats :

- ⇒ une grande similitude entre les forages de Vostok et EPICA (Figure 5),
- ⇒ une analogie en les forages antarctiques et au Summit du Groenland (Figure 7),
- ⇒ un parallélisme remarquable entre les fluctuations de température et les teneurs en CO_2 et CH_4 (Figure 6).



Mais les chercheurs ont découvert au Groenland des variations rapides du climat, de forte amplitude inexistantes en Antarctique (Figure 7), dits événements et Dansgaard-Oeschger (D/O).



Nous montrerons qu'un nouvel événement D-O pourrait bien être déclenché par le réchauffement actuel.

2 Les causes naturelles d'oscillation des températures moyennes

Citons les causes diverses de variation de température :

- ⇒ L'impact de gros astéroïdes,
- ⇒ Le volcanisme massif,
- ⇒ L'excentricité de l'orbite terrestre, (période 100 000 ans),
- ⇒ L'obliquité de l'écliptique, (période 41 000 ans),
- ⇒ La précession des équinoxes, (période 27 000 ans),
- ⇒ Les cycles d'activité du soleil, (période courte de 11,2 ans, + modulation plus longue de 400 ans),
- ⇒ L'évolution des courants est déclenchée par celle des températures, selon la position des continents,
- ⇒ Des amplifications :
 - la modifications de l'Albedo,
 - Le taux de gaz à effet de serre : CO₂ et CH₄ (anthropocène),
 - Indirectement, les cycles bio-géochimiques de la biosphère.

Des variations du niveau des mers en résultent.

Nous allons montrer que la plupart de ces phénomènes sont périodiques.

3 Le risque d'impact de gros astéroïdes

3.1. Le risque permanent des météorites

L'impact des météorites a été le facteur le plus fréquent des précédentes extinctions de la biodiversité.



Dessin d'animation (Sciences) et Meteor Crater aux U.S.A.

La planète reçoit continuellement des météorites. Il faut une météorite importante (quelques 100m) pour influencer le climat. La probabilité d'occurrence est **d'une tous les Ma**. On a noté la corrélation entre chaque extinction et un cratère avec traces d'impact et d'iridium (présent dans les météorites). Exemple: à la fin du **Crétacé**, la chute de la météorite du Chicxulub au Mexique cause initiale de l'effondrement de la biodiversité. La dernière a eu lieu il y a 2,5Ma. **La fréquence des météorites dépend de leur taille.**

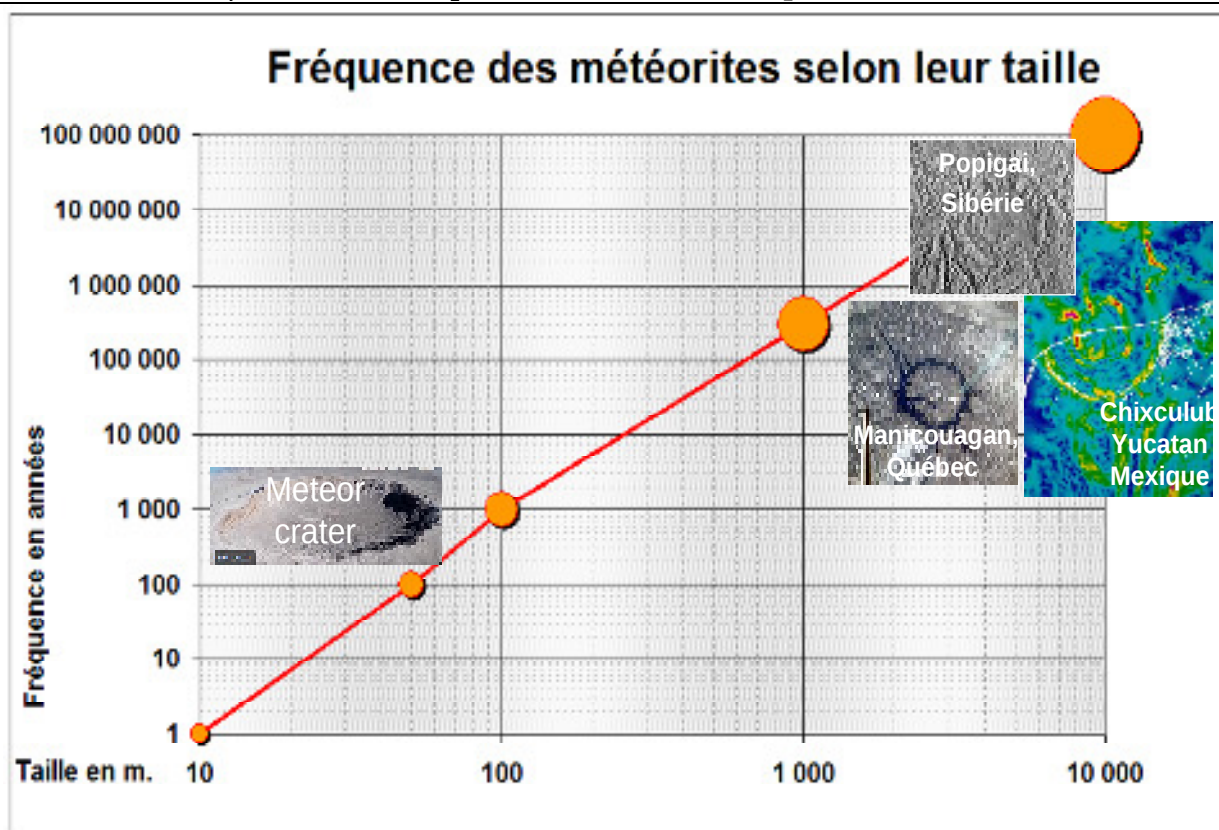


Figure 8 : Relation entre la taille des météorites et leur fréquence

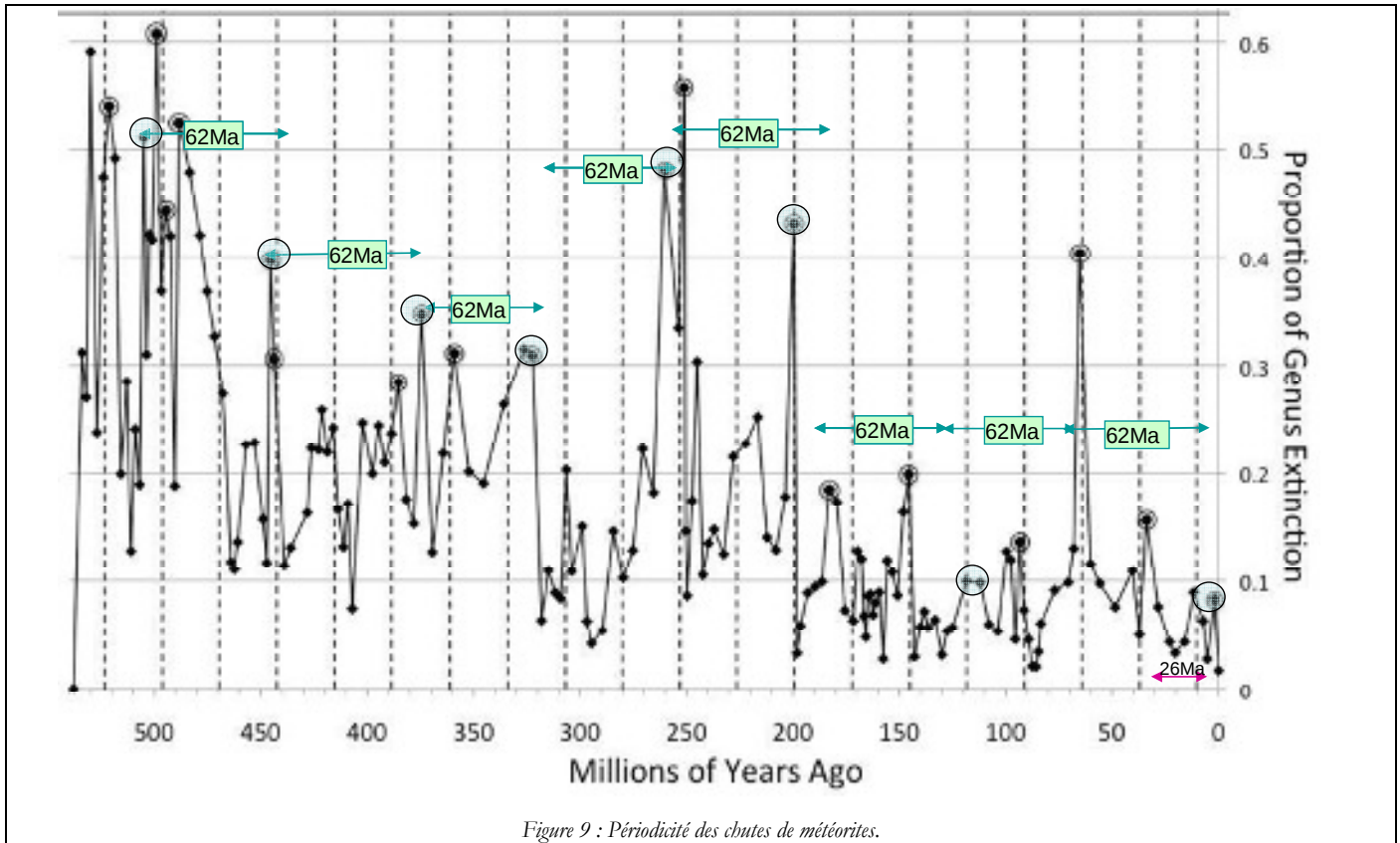


Figure 9 : Périodicité des chutes de météorites.

Une double périodicité des chutes de météorites a été détectée (Figure 9) :

- ⇒ de 62Ma (par Richard Muller et Robert Rohde de Berkeley),
- ⇒ de 27Ma (par Adrian Mellot et Richard Bambach, en 2010),
- ⇒ et a été démontée, par l'analyse de Fourier des harmoniques des extinctions (Figure 10), sur 500 Ma (avec une probabilité de 99%).

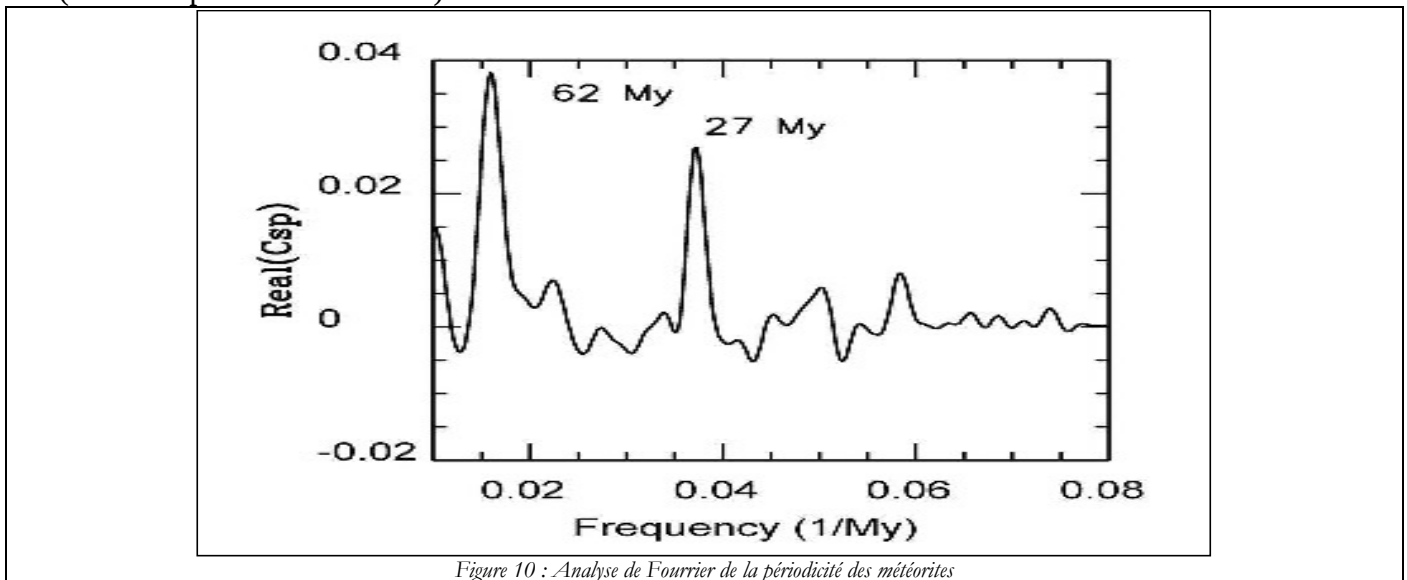


Figure 10 : Analyse de Fourier de la périodicité des météorites

La cause n'est pas déterminée, mais ces périodicités pourraient s'expliquer par des traversées cosmiques :

- ⇒ de branches galactiques par le système solaire ou
- ⇒ de corps célestes en orbite très elliptiques autour du soleil.

La NASA surveille néanmoins actuellement 1.884 astéroïdes potentiellement dangereux,

- ⇒ dont le diamètre dépasse les 130 m et
- ⇒ dont **l'orbite les mène (trop) près de la Terre (à moins de 7,5 Gm).**

En cas de danger, la NASA a prévu :

- ⇒ soit de dévier la trajectoire du géo-croiseur avec une fusée mise en orbite autour,
- ⇒ soit de faire exploser le géo-croiseur à l'aide d'une bombe H.

3.2. Le risque prochain de chutes de météorites

Les chutes de météorites ont été, par le passé, la cause essentielle des extinctions de la biodiversité.

Les 2 derniers gros impacts datent :

- ⇒ de 12 Ma pour les astéroïdes à période de 27 Ma,
- ⇒ de 2,5 Ma (2,5Ma) pour les astéroïdes à période 62 Ma.

La périodicité des gros géo-croiseurs indique qu'il y a peu de risque dans les prochaines années que la terre soit frappée par un gros géo-croiseur.

De plus, la NASA a prévu de nous protéger contre les météorites suffisamment dangereux pour créer un cratère.

4 Les perturbations volcaniques du climat



4.1. Corrélation entre le volcanisme et les crises climatiques

La plupart des crises biologiques connues coïncident avec un volcanisme continental intense, explosif, de point chaud dont les conséquences dépassent en rapidité l'adaptation des espèces.

Citons en quelques unes, parmi les plus notables :

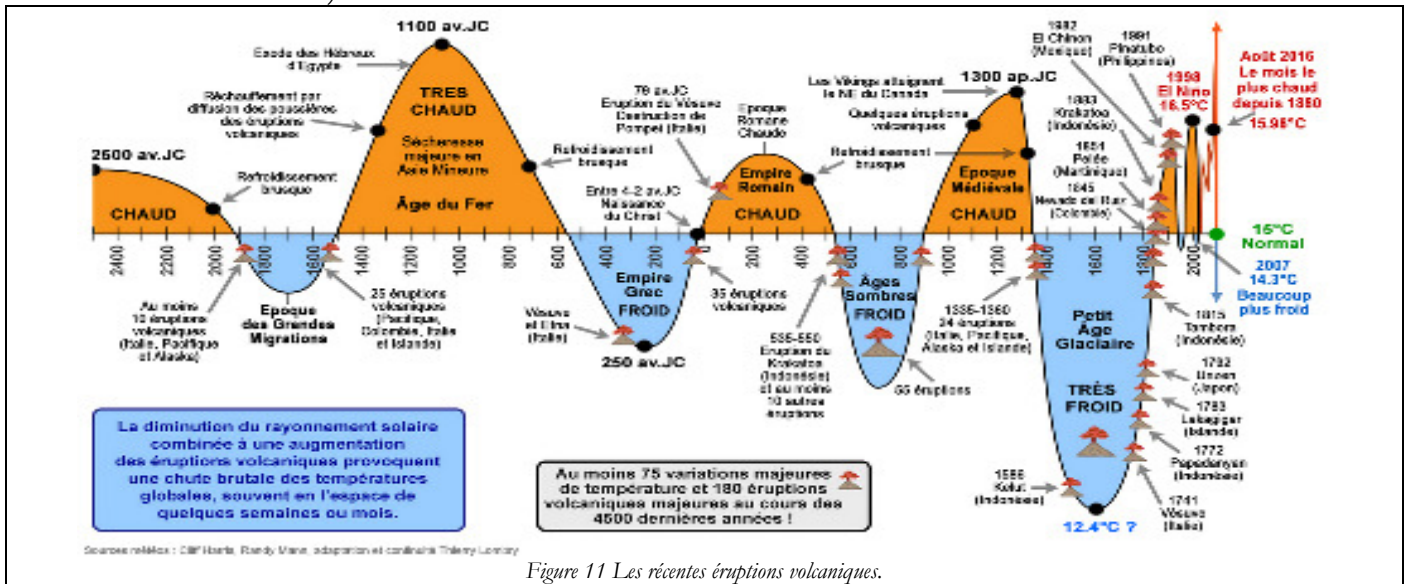
- ⇒ La crise de la fin du Permien (Cisuralian) due aux trapps de Sibérie ;
- ⇒ Les trapps de la limite Frasnien-Famennien (360 Ma) ;
- ⇒ La fin du Guadalupien (258 Ma), les trapps d'Emeishan ;
- ⇒ La Crise de la fin du Crétacé-tertiaire (65Ma), due aux trapps du Deccan en Inde durant des centaines d'années seraient responsables de l'hécatombe des dynosaures ;
- ⇒ Le Maximum Thermique de 220 ka du Paléocène-Eocène, ou PETM (55Ma) ;
- ⇒ La crise fin-triassique (200ka) dues aux trapps d'Amérique du Nord-est ;
- ⇒ La crise fin-jurassique due aux trapps du Paran,
- ⇒ La crise cénomaniennne (90 à 120 ka) due au plateau sous-marin d'Otong (Java) ;
- ⇒ La crise Eocène-Oligocène due au trapp d'Ethiopie.

On peut se demander si le volcanisme n'a pas été réveillé par l'ébranlement des plaques telluriques du aux chutes de météorites. Par ailleurs, les réchauffements, qui font fondre la calotte glaciaire, provoquent un soulèvement de la croûte terrestre et l'ouverture de failles favorables à l'éruption volcanique, comme constaté en Irlande.

Citons les principales éruptions récentes :

- ⇒ Akan (Japon) : 1000 ;
- ⇒ Quiloutouf : 1200 ;
- ⇒ Montagne Pelée (Martinique) : 1540 ;
- ⇒ Kuwae (Nouvelle-Calédonie) : 1452 ;
- ⇒ Huaynaputina (Pérou) : 1600 ;
- ⇒ Tongkoko (Indonésie) : 1680 ;
- ⇒ l'Eldeyjar et du Jökull d'Islande): 1783-84 ;
- ⇒ Tambora (Indonésie) : 1815 ([1816](#) : « l'[année sans été](#) ») ;
- ⇒ Krakatoa (Inde) : 1883 ;
- ⇒ Agung (Indonésie) : 1963 ;
- ⇒ El Chichòn (Mexique) : 1982 ;
- ⇒ Pinatubo (Philipinnes) : 1991.

Il y a eu environ une éruption importante par siècle, refroidissant notablement le climat : $0,3^{\circ}$ à 2° (Selon Courtilot en 2004 et 2005).



4.2. L'influence climatique des crises volcaniques

Ces éruptions projettent dans l'atmosphère pendant des centaines de milliers d'années d'énormes quantités de gaz (CO_2 et SO_2) de poussières volcaniques.

Les émissions gazeuses des volcans ont 4 effets :

- ⇒ le réchauffement des océans par les volcans immergés,
- ⇒ le refroidissement du climat par les aérosols (SO_2 et poussières) qui obscurcissent l'atmosphère et augmentent la pluviométrie,
- ⇒ l'acidification des océans absorbant le CO_2 ,
- ⇒ le réchauffement différé, par effet de serre, dû aux quantités excessives de CO_2 non absorbées.

On compte actuellement 10 000 volcans dont 1 500 actifs sur les continents et beaucoup plus dans les océans.



De plus, il semble que **le volcanisme soit relativement important et en train de s'accélérer**. (Figure 12). Les zones chaudes sont importantes sur la planète (Figure 13). Certains volcans risquent de se réveiller, car leurs éruptions sont répétitives, avec une période inférieure à l'ancienneté de leur précédente érection.

Quatre d'entre eux sont suffisamment dangereux pour provoquer à nouveau un petit âge glaciaire :

- ⇒ Le Yellowstone explose en moyenne tous les 600 000 ans et n'a pas explosé depuis 640 000 ans ;
- ⇒ La « Long Valley Caldera » ;
- ⇒ Le Toba (Indonésie) ;
- ⇒ Les Champs Phlégréens (au large de Naples), qui font se soulever les fonds marins.

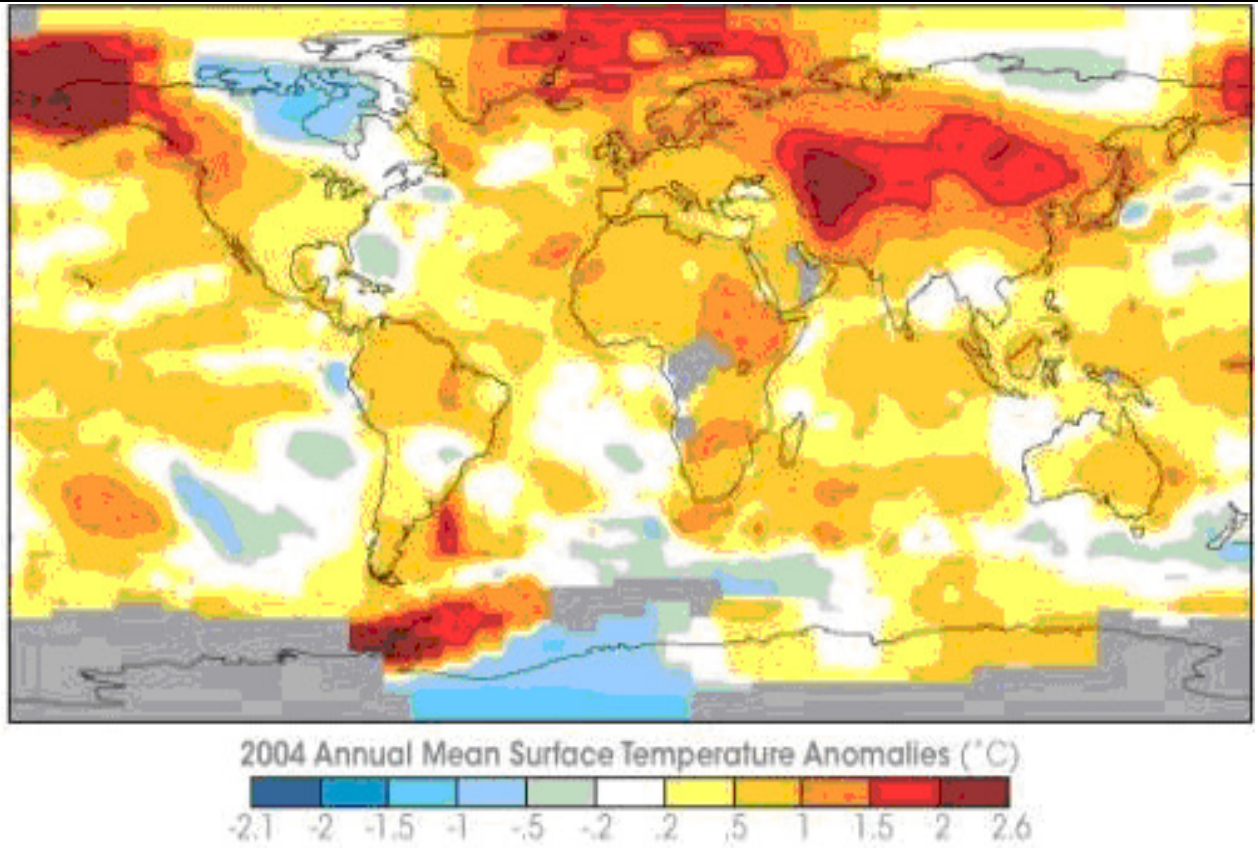


Figure 13 Les points chauds de la croûte terrestre

L'analyse des isotopes carbonés indique que **96% du CO₂ atmosphérique viendrait de sources non fossiles**. Les dégazages marin et volcanique seraient plus importants que prévu, donc la combustion de combustibles fossiles ou organiques est moins importante (*Étude des chercheurs de l'Université d'Oslo (1992) : climatologue Segalstad (1994) et d'autres comme Dave Keeling, Scripps et Mauna Loa*). Par exemple, en Antarctique, aux monts Hudson, la chaleur du volcan expliquerait la réduction d'épaisseur de la calotte glaciaire et l'écoulement accéléré vers la côte du glacier de l'île de Pine (132 milliards de tonnes en 2006, contre 83 en 1996, soit une hausse de 75 % en 10 ans, selon l'interférométrie radar obtenues par satellite).

L'influence volcanique sur le climat était donc sous-estimée pour expliquer le réchauffement, dont celui des océans, 80% des volcans étant sous l'eau (*revue « New Glaciers climat » en 2007*).

4.3. Contribution du volcanisme au réchauffement

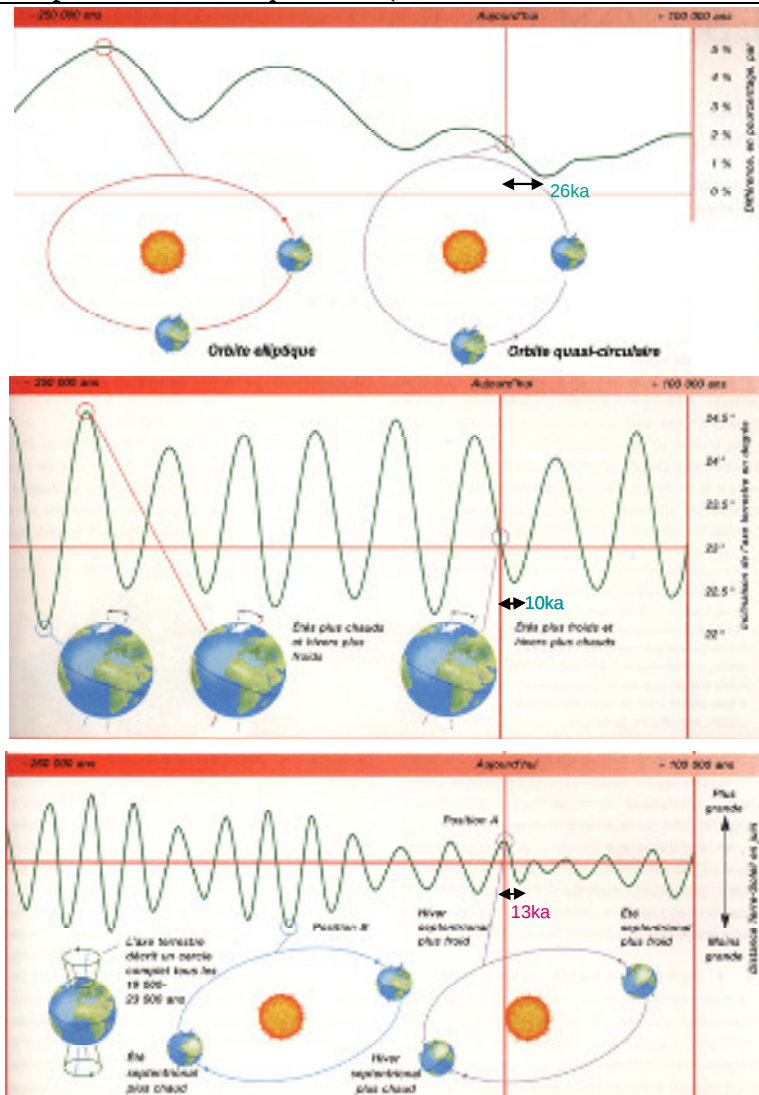
Le volcanisme a été une cause majeure des bouleversements du climat et des extinctions de la biodiversité. Il contribue vraisemblablement pour une part plus importante qu'on ne le pensait au réchauffement actuel de la planète. Mais rien ne prouve qu'il en soit la cause principale.

Cependant nous ne sommes pas à l'abri d'un réveil catastrophique de quelques volcans en sommeil.

5 Les variations astronomiques influençant la température terrestre

3 variations astronomiques combinées modifient l'exposition de la terre aux rayons du soleil (Figure 14) :

- ⇒ L'excentricité de l'orbite elliptique (rapport entre la grande et la petite dimension),
- ⇒ l'obliquité de l'axe de la terre (inclinaison de son axe par rapport au plan orbital), $\sim 23^\circ 26'$ en 2019,
- ⇒ la précession des équinoxes (variation de l'orientation du plan de l'axe, perpendiculaire à l'orbite).



L'excentricité de l'orbite

Période :
95ka à 125ka
Amplitude modulée
en 416ka

L'inclinaison de l'axe (obliquité)

Période 41ka

La précession des équinoxes

Période 19 à 23ka

Figure 14 Les phénomènes astronomiques influençant le climat

Joseph-Alphonse Adhémar, et James Croll ont suggéré qu'il y avait correspondance avec les premiers cycles glaciaires. Milutin Milanković a démontré mathématiquement que la combinaison des 3 facteurs expliquait la périodicité et l'intensité des glaciations.

5.1. L'effet de l'excentricité de l'orbite terrestre

La forme de l'orbite terrestre varie en 95 ka à 125 ka (comme les glaciations) avec une modulation de 413 ka, entre une forme quasi-circulaire : excentricité faible de 0,5% et une forme plus elliptique : excentricité élevée de 5,8%. Cette variation est due aux attractions avec les planètes solaires plus une interaction avec la planète **Mars** en 9 000 ka, selon une étude de 2015.

L'excentricité actuelle de l'orbite de la Terre est de 1,7%. En conséquence, La distance Terre-Soleil varie actuellement de 3,4% (2 fois l'excentricité) et **l'énergie solaire reçue par la Terre varie de 6,8%** (4 fois l'excentricité), de 1408 W/m² (au périhélie) à 1326 W/m² (à l'aphélie), soit 1367 w/m² en moyenne.

L'excentricité était de $\sim 4\%$, lors de la précédente période interglaciaire, donc l'énergie reçue par la Terre variait alors de $\sim 16\%$

5.2. Effet de l'obliquité de l'axe de rotation

Elle oscille avec une période de 41 000 ans, période des 1ères glaciations, entre $22^{\circ} 2' 33''$ et $24^{\circ} 30' 16''$ avec une moyenne = $23^{\circ} 26' 13,022''$. Elle vaut $23^{\circ} 26' 5,661''$ en 2018.

Une obliquité faible homogénéise les saisons : chaque hémisphère reçoit moins de radiation du soleil en été et plus en hiver. Une obliquité élevée, renforce l'effet des saisons : les étés chauds font fondre la surface glacière.

En phase descendante elle diminue de $\sim 0,468''$ par an. (quelques 15 m) des tropiques vers l'équateur. Elle atteindra son minimum dans $\sim 10\ 000$ ans.

En toute rigueur l'obliquité est à corriger de la « nutation » en obliquité due à l'action de la Lune, oscillant entre $+9,2''$ et $-9,2'' = \pm 291$ m en 18,6 ans et qui vaut $-7,362''$ en 2018. Le rayon de l'orbite de la Lune croît en permanence à cause des effets de marées. Dans environ **1,5 Ga**, il aura cru de 60,3 à 66,5 fois le [rayon de la Terre](#). D'après W.R. Ward, une résonance planétaire induira alors des oscillations de l'inclinaison entre 22° et 38° . Dans approximativement **2 Ga**, la lune atteindra la distance de 68 fois le rayon de la Terre, une autre résonance provoquera de plus grandes oscillations, entre 27° et 60° , ce qui aura des effets extrêmes sur le climat.

5.3. Effet de la précession des équinoxes

L'axe de rotation de la terre change d'orientation et parcourt un cône en complet **en 25 760 ans** (Figure 15). Son orientation change de $50,26''$ par an, en s'éloignant de l'étoile polaire vers l'Ouest. Ceci est dû à l'absence d'uniformité des attractions solaires et lunaires sur Terre, à cause du **bourellet équatorial** de la Terre.

En plus, l'attraction lunaire provoque légère **oscillation** en 18,6 ans de l'axe de rotation terrestre, la « nutation ».

Actuellement : L'axe passe grosso modo dans le plan du grand axe de l'ellipse de l'orbite terrestre, avec le périhélie (proximité du soleil) en hiver. En été, l'hémisphère Nord reçoit moins d'énergie solaire que le Sud.

Dans un quart de tour, il y a égalité entre hémisphères.

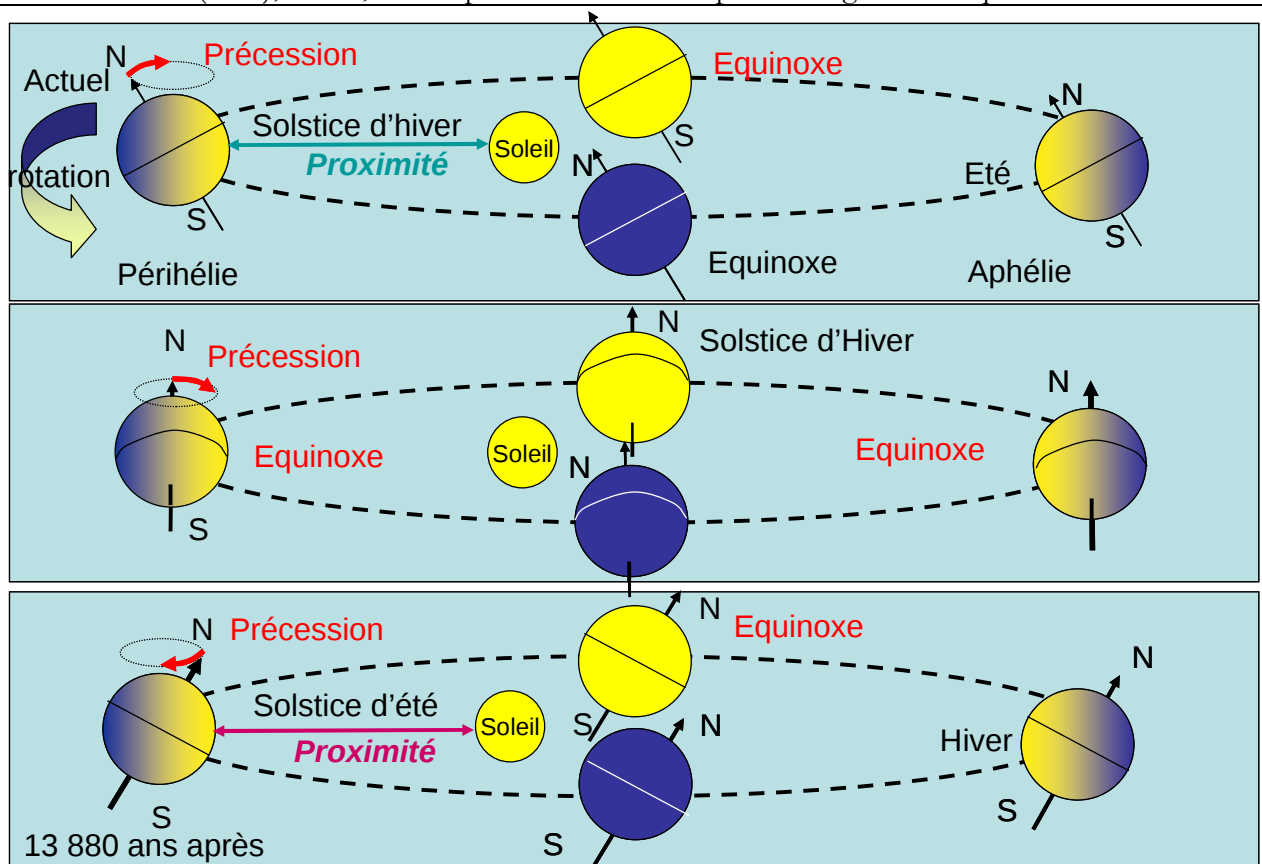


Figure 15 La précession des équinoxes

L'effet de chaque phénomène est explicité par la Figure 16.

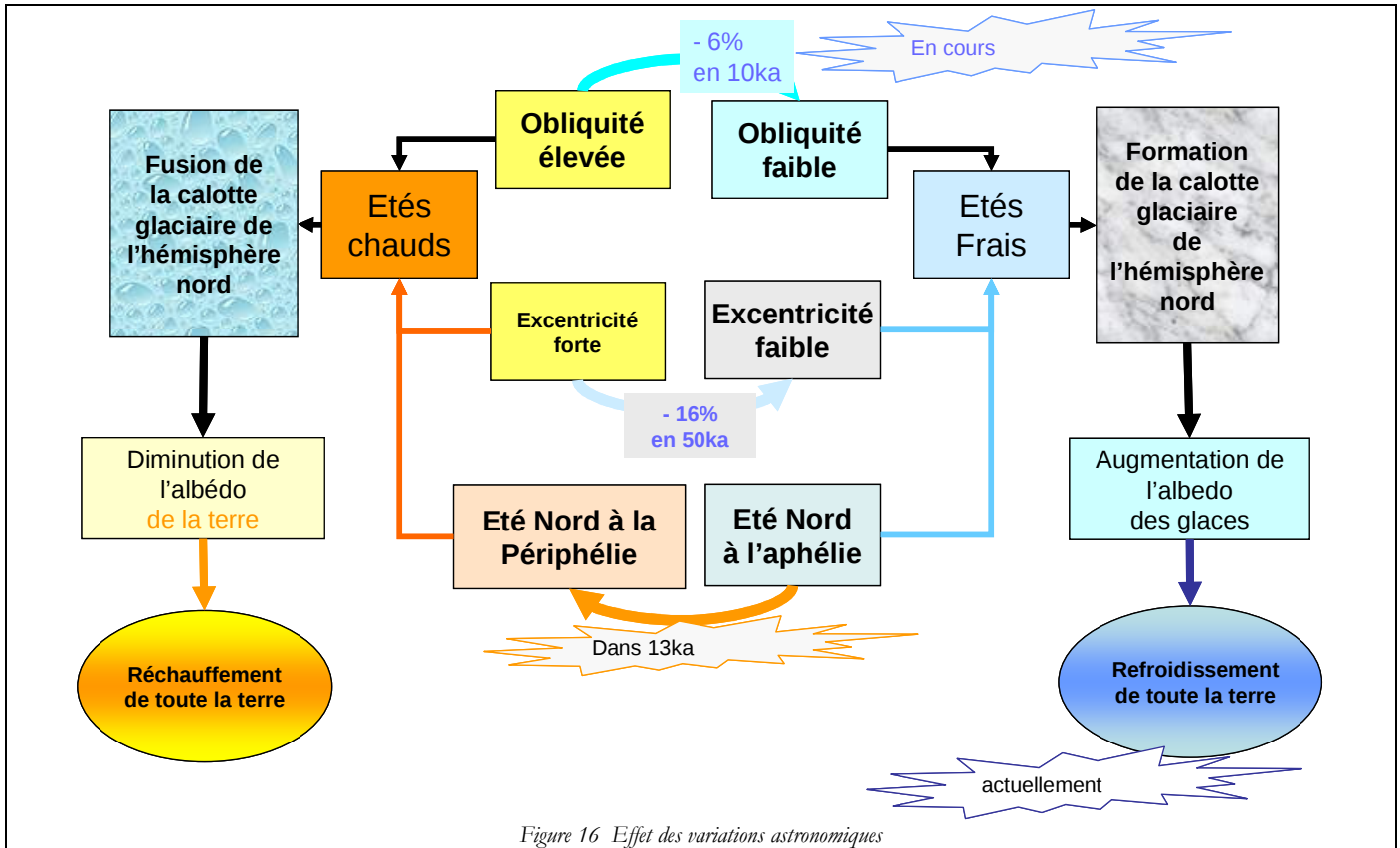


Figure 16 Effet des variations astronomiques

L'effet conjugué des effets astronomiques est résumé par la Figure 17.

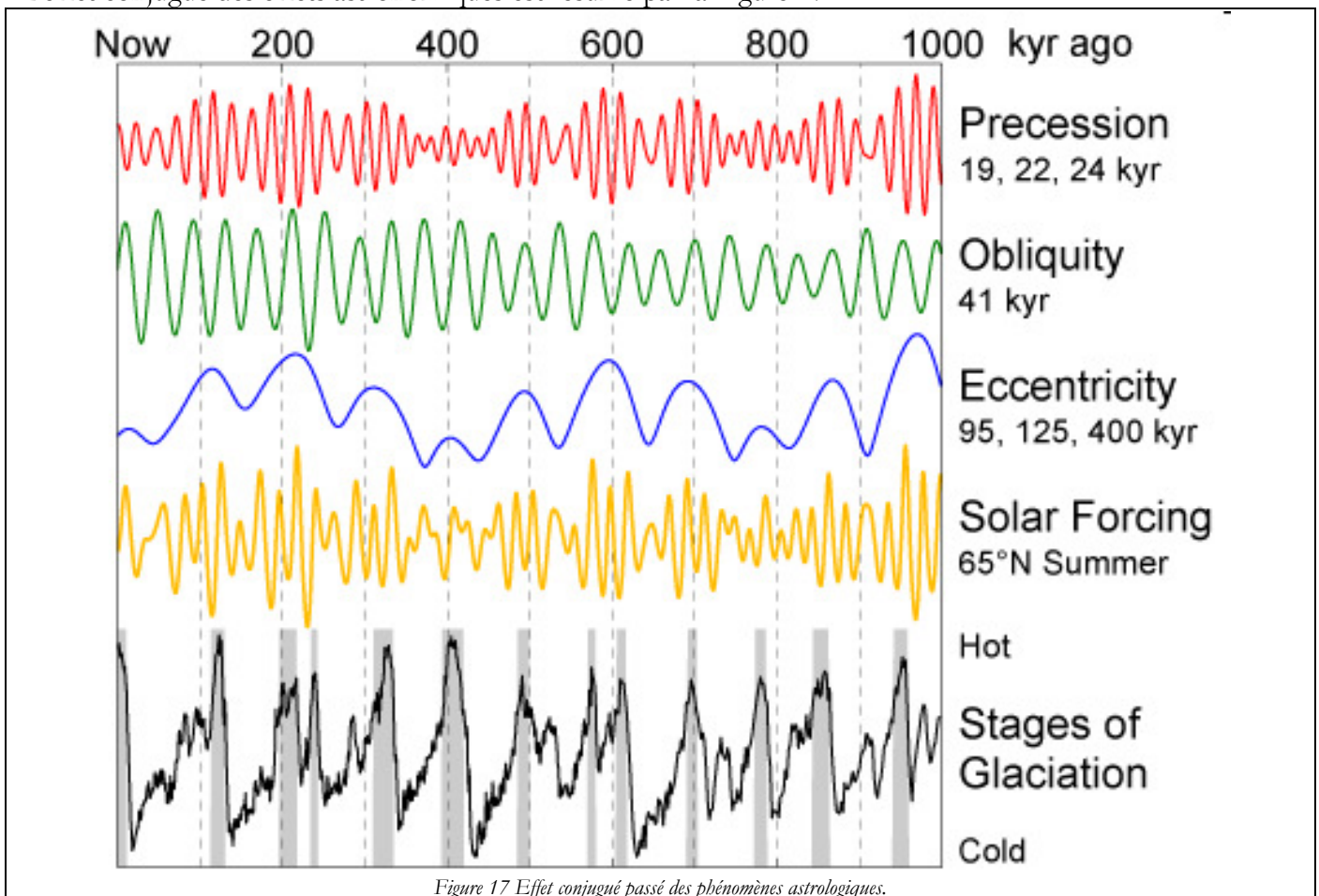
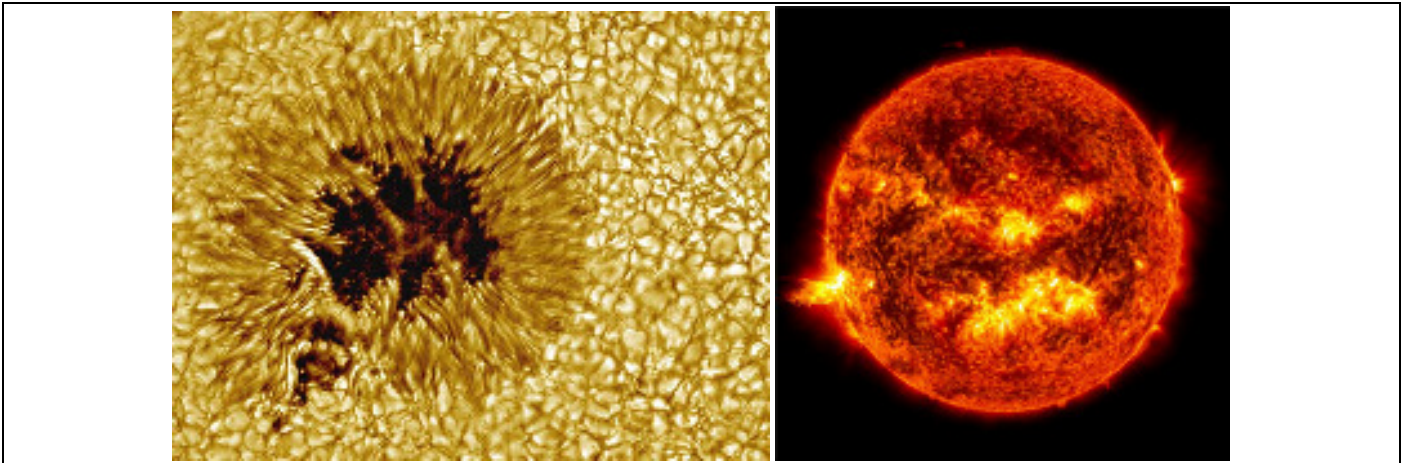


Figure 17 Effet conjugué passé des phénomènes astrologiques.

6 Les variations climatiques due à l'activité solaire



6.1. La raison des taches solaires

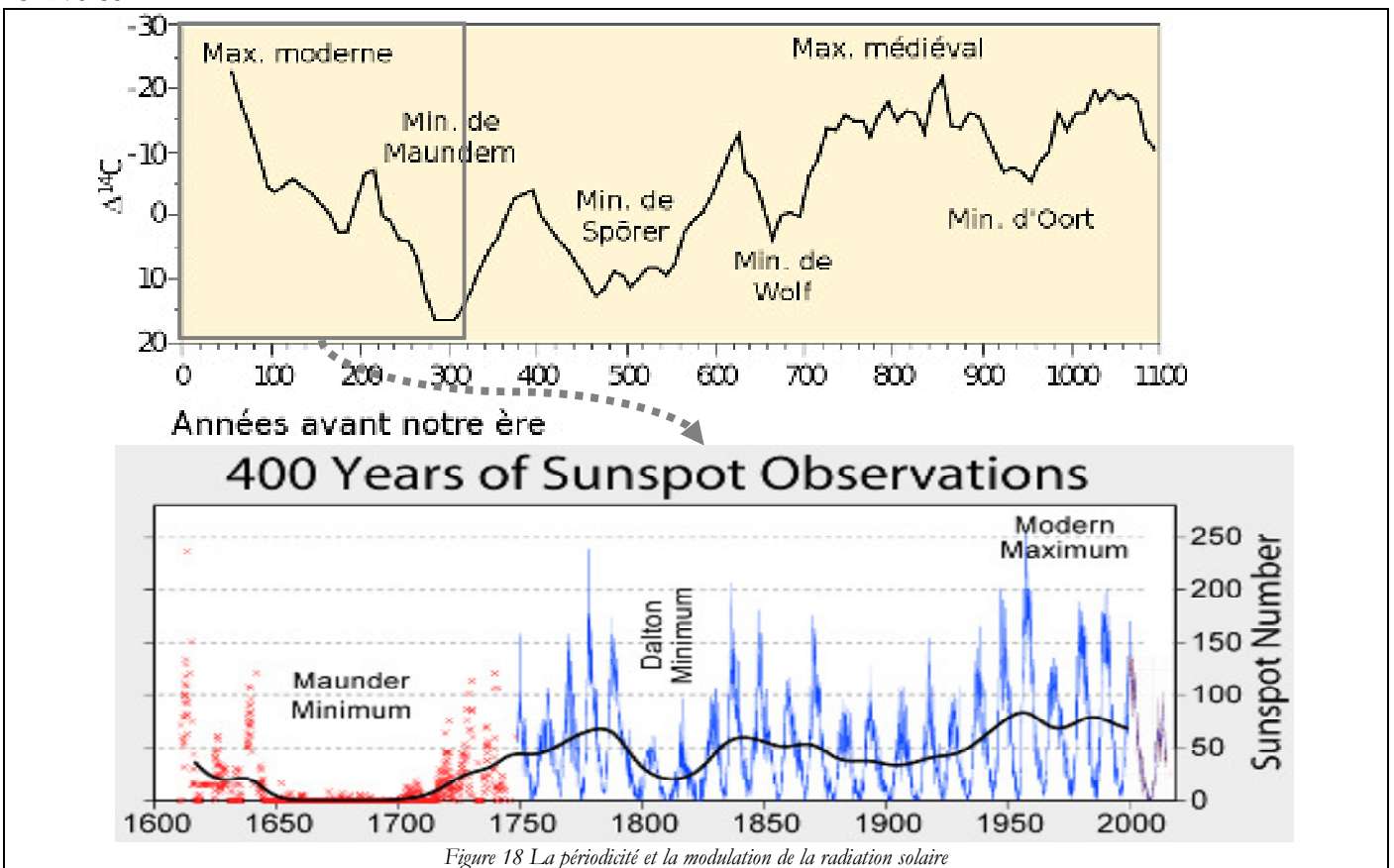
Les taches solaires sont dues à l'augmentation locale du champ magnétique inhibant la convection de surface. Leur dimension peut atteindre plusieurs dizaines de milliers de km. Elles se présentent dans la photosphère comme une zone sombre entourée d'une région plus claire, plus froide (4 500°K) que la photosphère ambiante (5 800 °K) accompagnée de points lumineux qui augmentent l'intensité de la radiation solaire.

La radiation solaire est plus élevée lors des périodes de forte activité solaire (d'un facteur de 0,1 % environ).

Au début du cycle solaire, elles apparaissent souvent en groupe :

- ⇒ de préférence à haute latitude dans les deux hémisphères (vers 40°) ;
- ⇒ les premières d'un groupe sont en général de même polarité, puis s'accompagnent d'autres taches de polarité magnétique opposée.

Au long du cycle, elles se rapprochent de l'équateur jusqu'au cycle suivant. Alors la polarité des taches s'inverse



6.2. Analyse des tâches solaires

L'activité solaire est variée selon un cycle magnétique rapide, de période moyenne = 22,4 ans correspondant au cycle décrit par le groupe Vénus-Terre-Jupiter (*Selon Hung*).

Les polarités s'inversent tous les 11,2 ans en moyenne, selon l'[astronome](#) amateur [Heinrich Schwabe](#) vers [1843](#), induisant des cycles thermiques de 11,2 ans, variant entre 8 et 15 ans. Ils ont été numérotés à partir du maximum de [1761](#). Le dernier cycle a commencé le 24 en janvier 2008.

6.3. Prédiction des tâches solaires à court terme

Une [étude menée par la Royal Astronomical Society](#), a établi un nouveau modèle des cycles solaires permettant des prédictions d'une précision sans précédent : Les 2 vagues magnétiques ont pour origine 2 différentes couches de matière qui circulent à l'intérieur du Soleil, entre les hémisphères nord et sud du Soleil avec une fréquence d'environ 11 années.

6.4. La modulation à long terme des taches solaires

Il a été noté une modulation de 1 à 3 de l'amplitude maximale des variations d'une période de 90 ans. en [1849](#), (Figure 18), par l'astronome suisse Johann Rudolf Wolf, période qui correspond à un cycle de 179 ans de l'activité solaire ayant manifesté 25 **tempêtes solaires**, parmi les 38 plus importantes.

Lors de la dernière période, entre 1600 et 1715, les plus grands cours d'eau au nord de l'Europe ont gelé.

Cette période est liée à la position des planètes « productrices de marées » (*tide-producing planets*) : Mercure, Vénus, Terre et Jupiter³.

Le P^r Valentina Zharkova revendique une exactitude de 97% de ses simulations⁴. Les recherches sont confirmées par le **National Solar Observatory (NSO)** et l'**Air Force Research Laboratory**.

Pendant les années d'activité maximale, on constate une augmentation :

- ⇒ du nombre de taches solaires et des sursauts solaires,
- ⇒ du rayonnement corpusculaire,
- ⇒ du rayonnement électromagnétique.

6.5. Prédiction de l'activité solaire

La baisse sensible du champ magnétique du Soleil (50 Gauss/an) depuis le cycle 23, présage une descente sous la barre des 1 500 Gauss pour les années à venir. Lors de la décennie 2030-2040, les 2 vagues magnétiques seront désynchronisées provoquant une réduction de 60% de l'activité solaire.

La baisse d'activité solaire, lors des prochaines décennies, devrait provoquer une baisse de la température moyenne terrestre, de 0,3°C, mais bien moindre que la hausse prévue de température d'origine humaine.

7 Les prédictions climatiques selon les lois de Milankovič.

A cause de la précession des équinoxes, en hémisphère Nord, progressivement (en 10 000 ans), les hivers deviendront plus longs et les étés plus courts. La distance Terre-Soleil diminuant en Juin établira progressivement des étés (HN) de plus en plus chauds. Cependant, ce phénomène ne sera pas très marqué, car, dans le même temps, l'obliquité décroîtra vers un minimum et l'excentricité de l'orbite déjà faible sera réduite de moitié, réduisant un peu le rayon moyen de l'orbite.

En conséquence, l'effet de la précession des équinoxes sera peu sensible. L'écart de température entre été et hiver diminuera. Les vagues de froid seront compensées par l'augmentation des températures dans les deux hémisphères.

Ces conditions sont peu favorables au déclenchement d'une nouvelle ère glaciaire dans 10 000 ans. En effet, selon les simulations sur 100 000 ans, il faudrait que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère soit inférieure à 220 ppmv. Or, de 280 avant 1850 et elle est montée à 403 ppm en 2016.

En revanche, à court terme, l'intensité solaire en baisse va décroître significativement de 2030, à 2040.

³ Théorie développée par Nelson (1951), Takahashi (1967), Bigg (1967), Wood (1968), Blizard (1969), Ambroz (1971), Grandpierre (1996) et Hung (2007), Ching-Cheh Hung, de la [NASA](#) avec une probabilité de 99,961%.

⁴ Devant l'Assemblée nationale de l'astronomie à Llandudno (Pays de Galles)

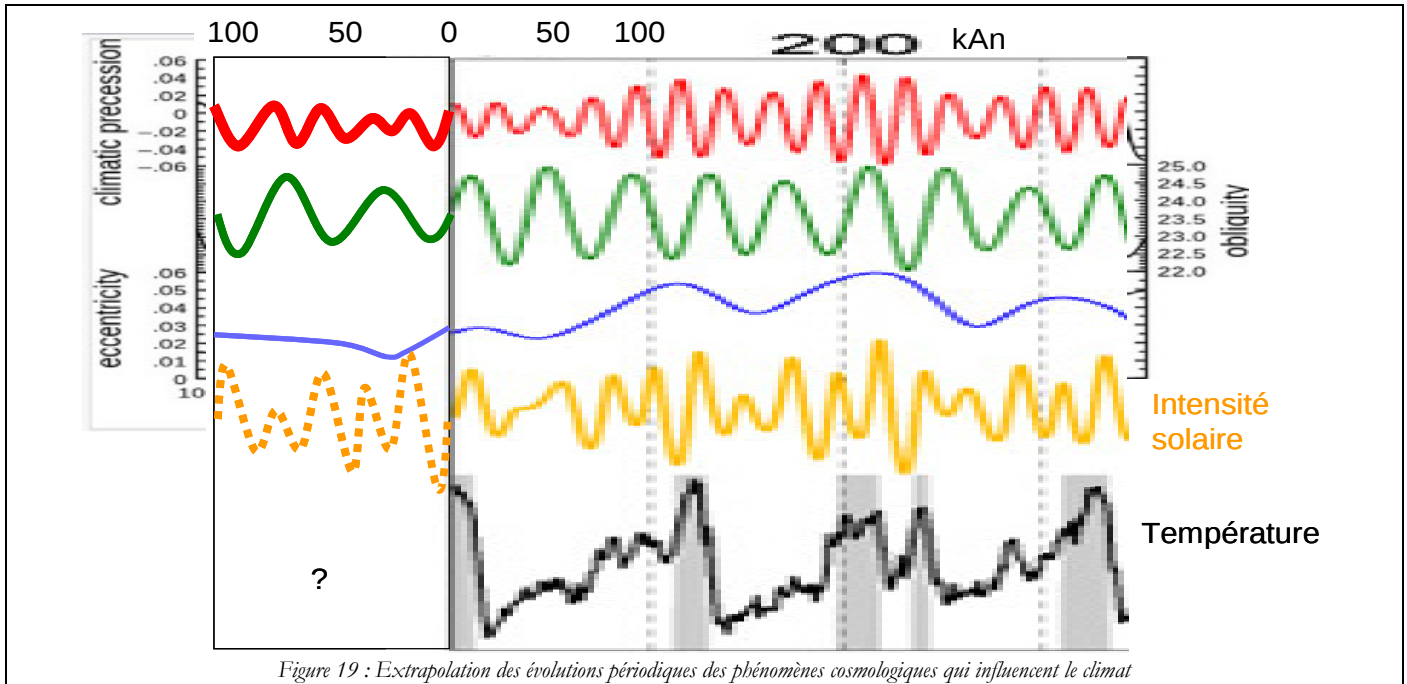


Figure 19 : Extrapolation des évolutions périodiques des phénomènes cosmologiques qui influencent le climat

La précédente période interglaciaire a duré environ 20 000 ans. Actuellement, nous sommes dans une situation similaire à l'interglaciaire de Riss de durée 30 ka (ou Yarmouth en Amérique, précédent celui de Wurm et l'actuel).

L'extrapolation des phénomènes astrologiques montre que, dans les 10 000 à 20 000 prochaines années, la situation est peu favorable au retour d'une nouvelle glaciation.

A court terme, la température de la planète restera sensible au cycle des tâches solaires, avec de 2030 à 2040, une diminution prévue, ayant un effet de $-0,3^{\circ}$.

8 Les risques de la variation du magnétisme terrestre

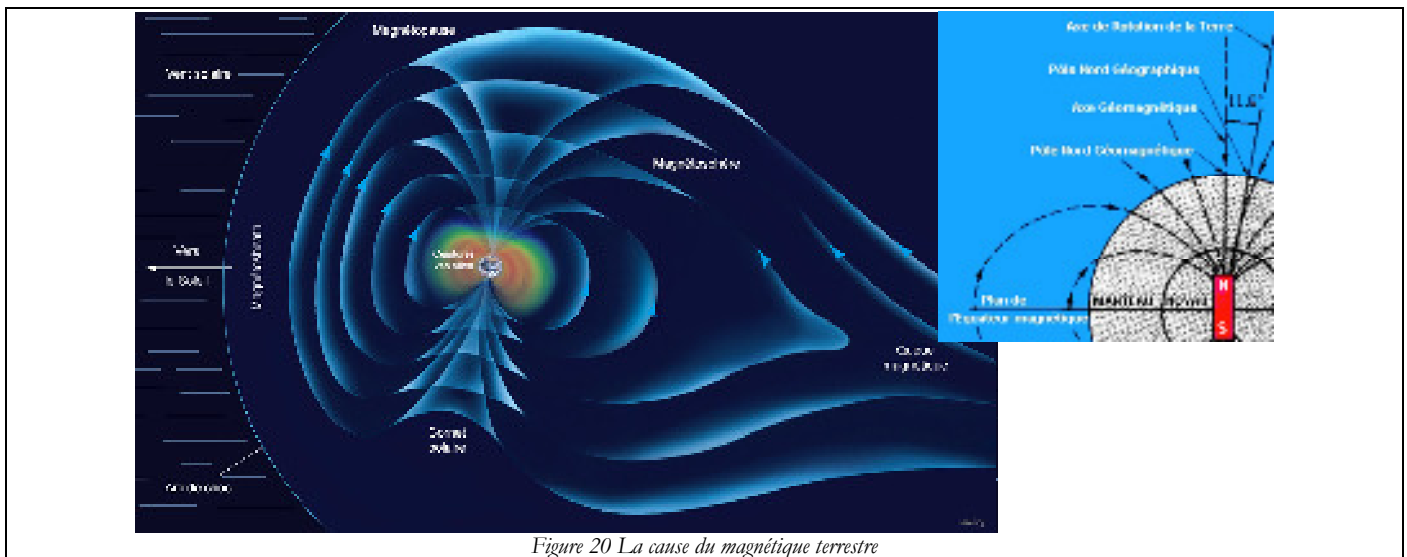


Figure 20 La cause du magnétique terrestre

8.1. Evolution actuelle du champ magnétique

Des pulsations géomagnétiques provenant du noyau terrestre seraient également en cause, à l'instar de celle survenue en 2016 qui a momentanément accéléré le mouvement du champ magnétique sous le Nord de l'Amérique du Sud et l'Est du Pacifique central.

Le champ magnétique a diminué de moitié, depuis environ 200 ans (selon la British Geological Survey). Actuellement, il diminue progressivement à un pôle et augmente à l'autre. Il risque de s'inverser dans 1,2 à 2 ka, voire moins selon Kenneth Hoffman.

8.2. Les causes du magnétisme terrestre

Les flux de convection fer et du nickel fondus dans le noyau terrestre, externe (profondeur moyenne vers 3 500 kilomètres) créent un courant électrique, dont la variation crée un champ magnétique.

Le flux sans cesse changeant est déterminant : interagissant avec les mouvements de la Terre (rotation et précession), il est à l'origine du champ magnétique terrestre, par effet dynamo, des courants électriques qui le parcourent. De nombreux facteurs influencent directement ce champ magnétique terrestre à commencer par l'effet considérable du champ magnétique du soleil, véhiculé par le vent solaire.

Ce champ magnétique terrestre repousse les rayons cosmiques, les particules radioactives, ou les nuées de poussières poussées par les tempêtes solaires

8.3. L'évolution du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre est traçable :

- ⇒ soit par des méthodes paléo-magnétiques (magnéto-stratigraphie de stalactites),
- ⇒ soit dans l'orientation des roches magnétiques des dépôts glaciaires, pour dater ces dépôts,
- ⇒ soit grâce à l'isotope ^{10}Be du béryllium (^{10}Be).

Cet isotope ^{10}Be est formé dans l'atmosphère par la percussion des particules cosmiques radioactives sur l'oxygène atmosphérique, précipité au sol avec les pluies. Une concentration forte de ^{10}Be dans les roches sédimentaire traduit une réduction du champ magnétique.

La magnéto-stratigraphie montre que le champ magnétique se déplace, fluctue, parfois se renverse régulièrement, sans que la période soit précise.

On voit que la dernière inversion (dite de Matuyama-Bruhnes a eu lieu il y a 780 000 ans et a duré 180 000 ans.). L'affaiblissement se produit irrégulièrement tous les 20 à 50ka, (jusqu'à 5% de la moyenne) et dure un millier d'années. La dernière remonte à 41,50 ka. Il s'inverse tous les 200 à 250ka, depuis plusieurs Ma. Les dernières inversions datent de 2,58 Ma, 1,770 Ma et 780 ka, laquelle a duré 118 ka.

Les graphiques ci-après montrent l'évolution du magnétisme terrestre.

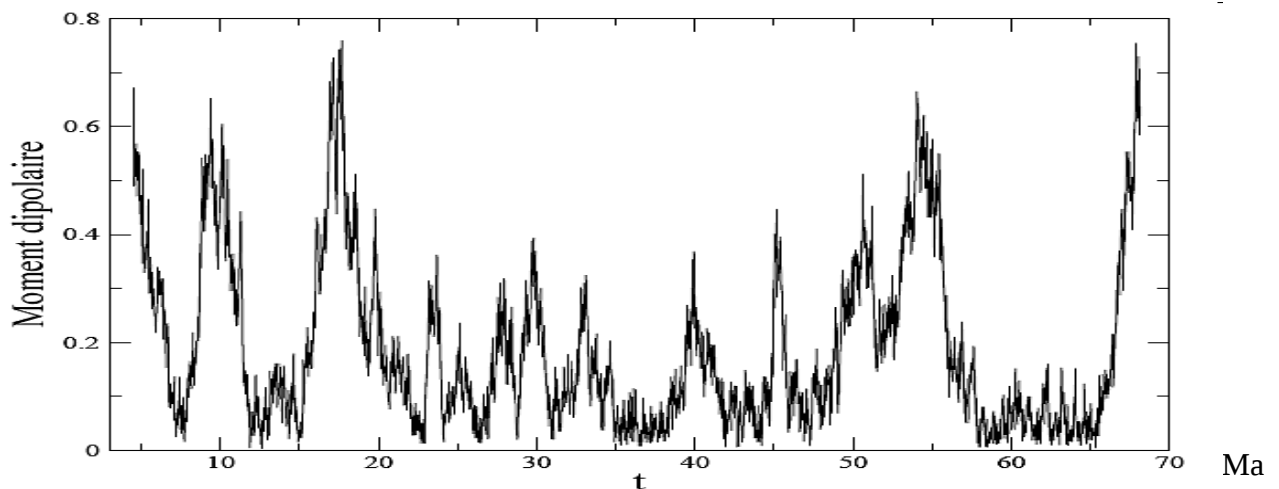
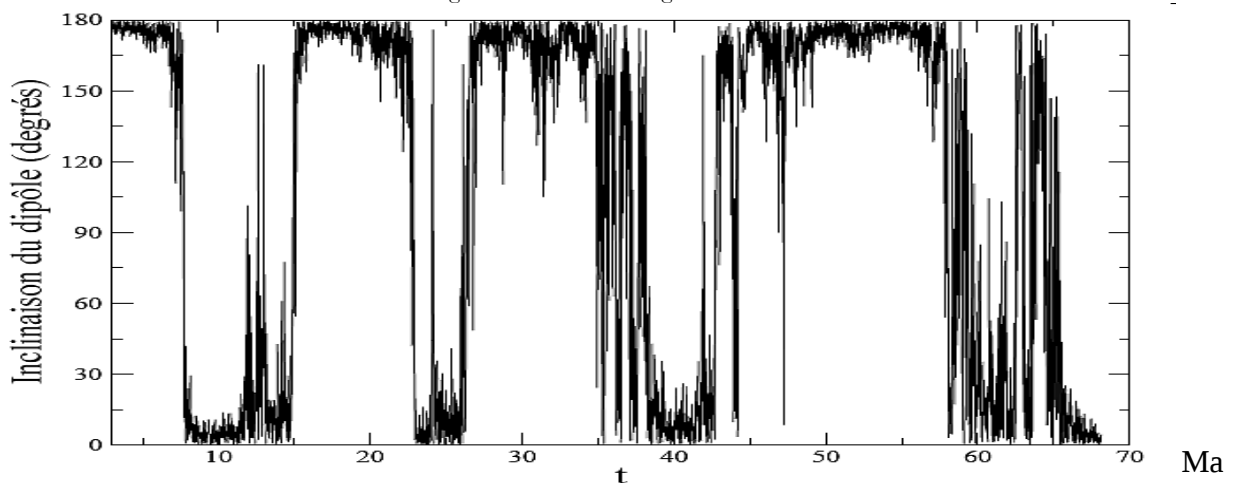
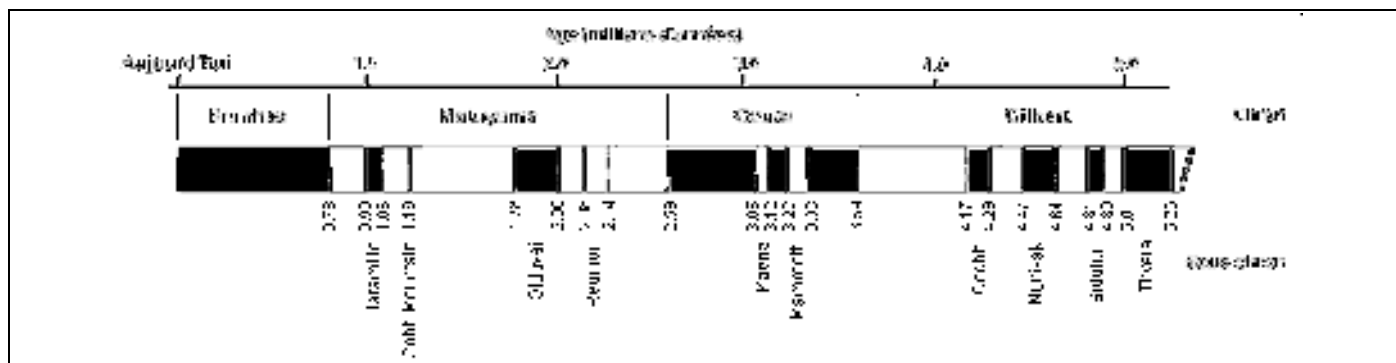


Figure 21 Variations du magnétisme terrestre





8.4. Les risques d'une disparition du magnétisme terrestre

L'affaiblissement de l'écran magnétique permet aux protons émis pendant les éruptions solaires, de pénétrer plus profondément dans les couches de l'atmosphère où ils engendrent alors des réactions chimiques en cascade, qui aboutissent notamment à la formation d'oxyde nitrique, substance qui détruit la couche d'ozone, ceci jusqu'aux latitudes moyennes. S'en suit une augmentation des UV-B.

Les rayonnements radioactifs ont des effets mutagènes menaçants sur les êtres vivants et l'électronique.

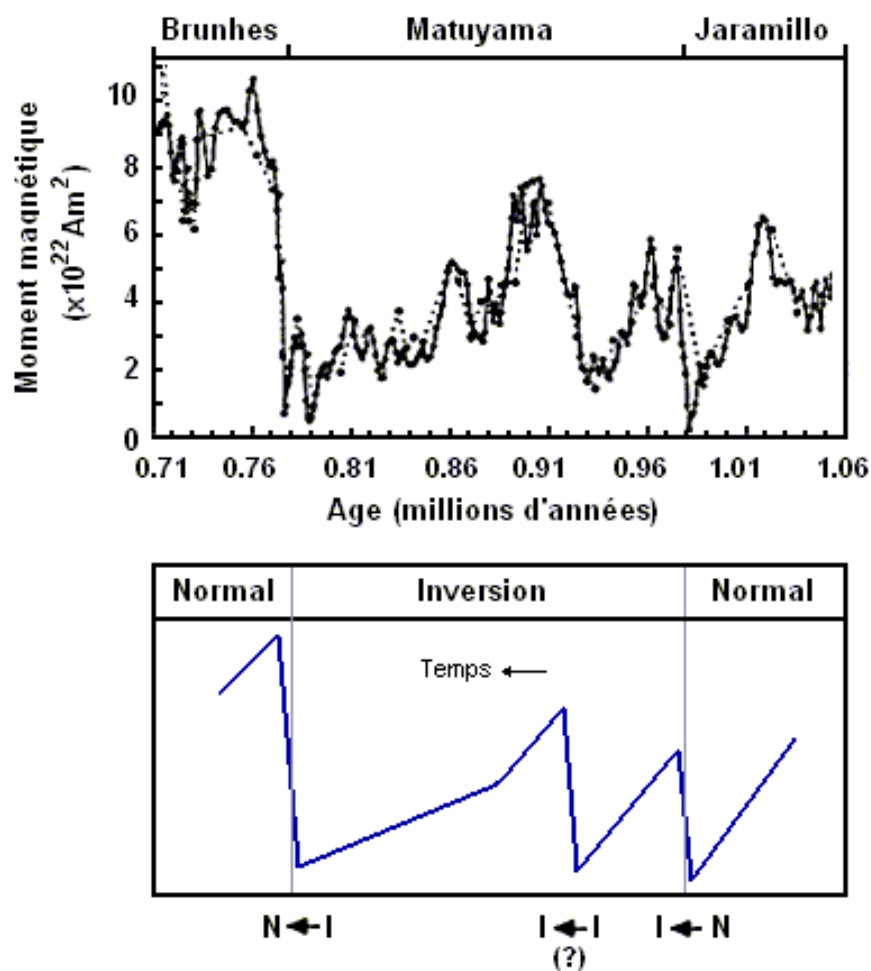
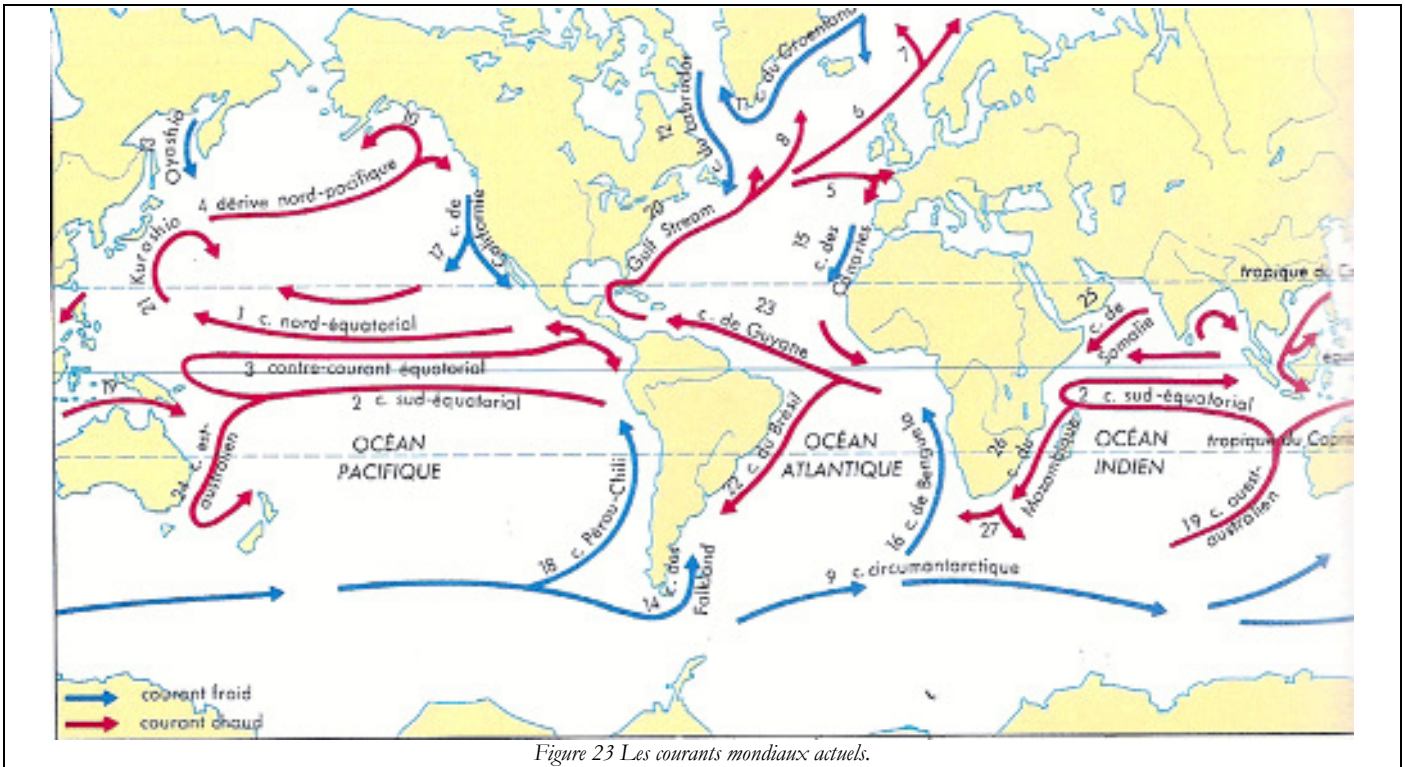


Figure 22 Exemple d'inversion du champ magnétique

9 L'effet des courants océaniques



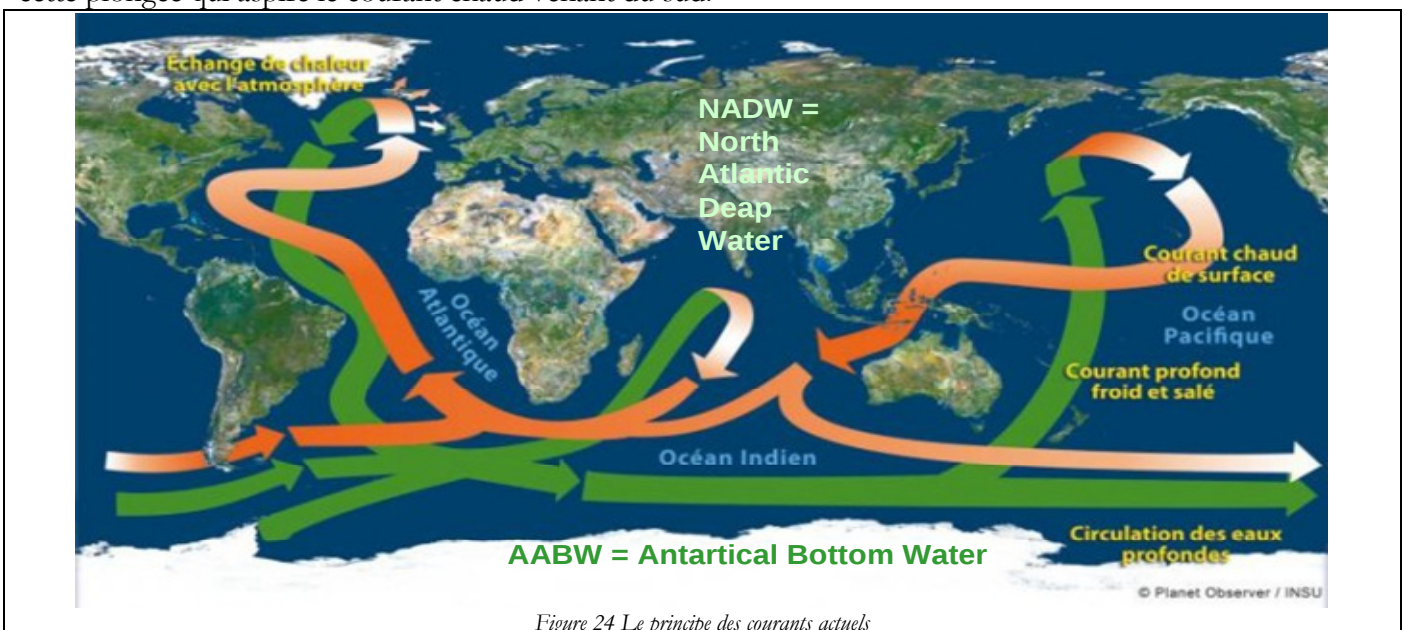
9.1. Influence des continents sur les courants

Les courants dépendent à long terme de la configuration des continents.

En **Antarctique**, le climat antarctique était chaud et humide avant la dislocation du supercontinent Gondwana, (Jurassique, il y a – 160 millions d'années). Dès que l'Australie, l'Afrique et l'Amérique du Sud migrèrent vers le nord, l'ouverture des détroits autorisa un courant océanique circumpolaire. En quelque temps, le climat évolua vers le climat actuel, avec une énorme calotte glaciaire sur le continent antarctique, créé par toute la neige accumulée au sol. Le flux océanique tourne en environ 2 000 ans.

9.2. Le principe de formation des courants

Les courants chauds se déplacent en surface. Les courants chauds approchant du pôle se refroidissent et se poursuivent par un courant froid dans les fonds. En effet, le courant froid est plus dense. Dans l'hémisphère nord, en Atlantique, la banquise se formant, le Gulf-Stream gagne en salinité et plonge en profondeur. C'est cette plongée qui aspire le courant chaud venant du sud.



Les courants froids remontent près de l'équateur, mais dans le Pacifique et l'Océan indien. Naturellement, en raison des forces de Coriolis, ces courants tournent dans le sens direct (des aiguilles d'une montre) dans l'hémisphère Nord et dans le sens inverse dans l'hémisphère sud.

9.3. Influence des courants sur le climat.

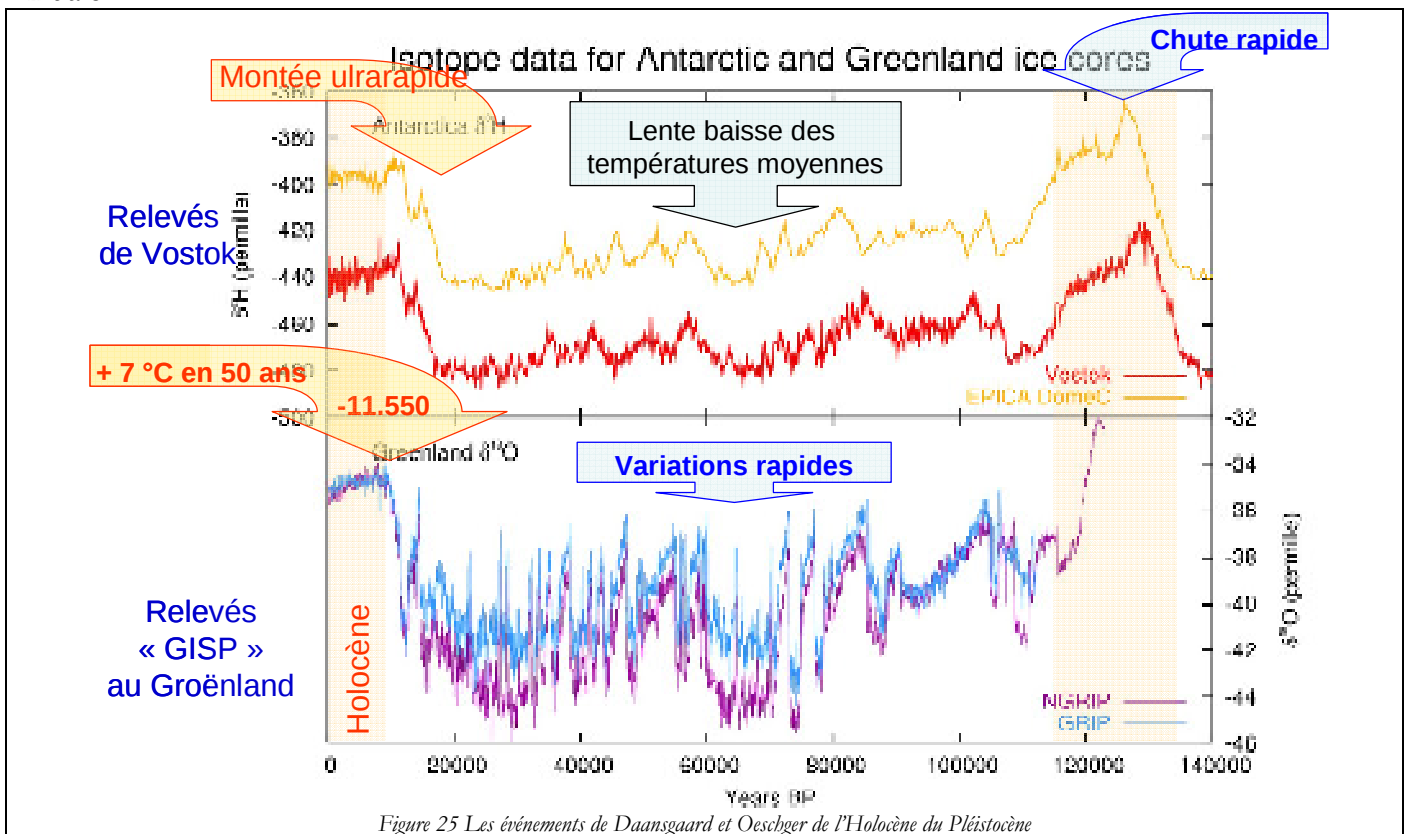
A court terme, le climat dépend en partie des courants. Réciproquement, le climat est fortement influencé par l'évolution climatique. Notamment, dans l'hémisphère sud, le courant chaud « el Niño » remplace périodiquement le courant froid de Humbolt et perturbe le climat du Pérou. Dans l'hémisphère nord, le Gulf-Stream réchauffe le nord de l'Europe.

9.4. Influence du climat sur les courants (cycle de Dansgaard-Oeschger)

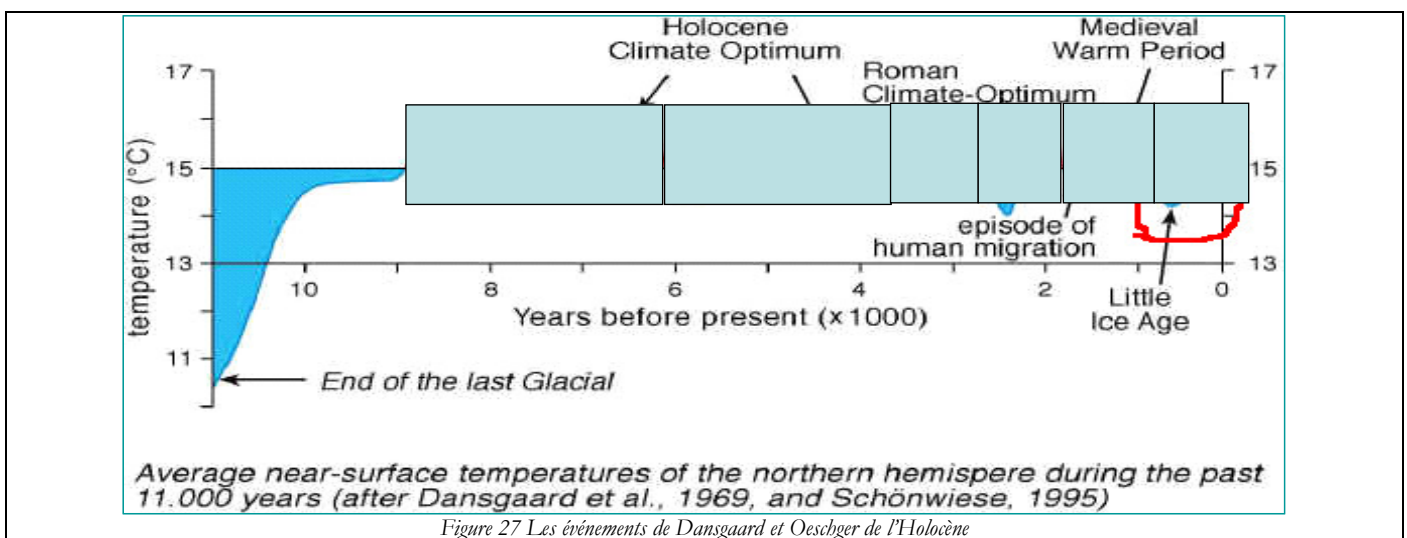
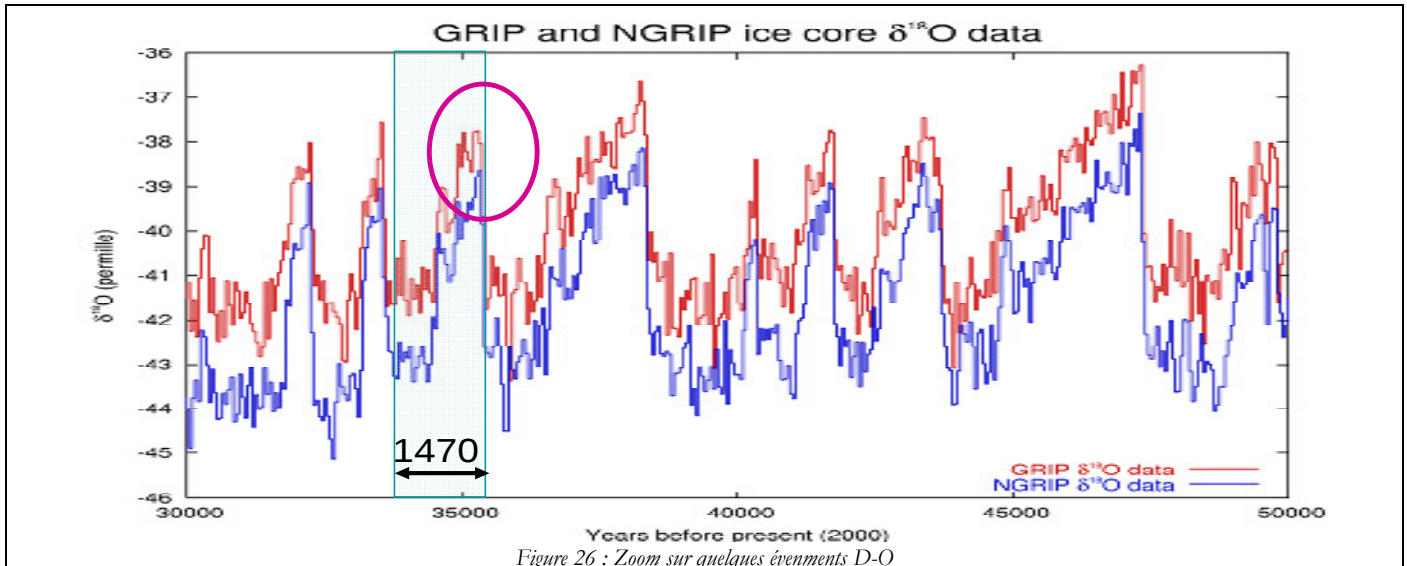
L'étude de la composition des glaces (teneur en $\delta^{18}\text{O}$) a révélé des variations rapides (à l'échelle paléontologique) de températures, appelées événements de Dansgaard-Oeschger (D/O), non perçues dans les forages antarctiques (Figure 25). Ces événements D-O débutent lors d'une **montée brusque des températures** et se poursuivent par une baisse plus lente. Ils ont une répétitivité **irrégulière**, évaluée en moyenne à environ 1 470 ans par des scientifiques. Les températures de l'Holocène révèlent en 9 000 ans 6 fluctuations de température (d'environ $\pm 1^\circ\text{C}$).

La disparition de la banquise diminue la plongée du courant de surface donc l'aspiration, ce qui affaiblit le courant de surface. Ces variations coïncident avec les traces de fonte des glaciers du Groenland aux Laurentides). Lors de cette fonte des glaciers au Groenland, le niveau de la mer s'élève (potentiel de 7m). L'élévation du niveau de la mer fracture l'inlandsis des Laurentides et génère une débâcle massive d'icebergs dans l'Atlantique Nord (événements d'Heinrich). L'afflux d'eau douce réduit d'avantage le plongeon du courant nord-atlantique. Le Gulf-Stream vire alors vers l'Ouest en direction l'Europe du sud, ce qui refroidit le nord de l'Europe.

Ceci accroît le transfert de chaleur vers le pôle sud et contribue à faire fondre la glace de l'Antarctique. Ce réchauffement se révèle cependant bien moins dans les strates de l'hémisphère sud. Cette fonte réduit la force du courant de fond antarctique (AABW). Le courant Nord Atlantique (NADW) reprend alors sa force initiale⁵.



⁵ Selon Maslin *et al.* (2001)



10 Quelles prévisions pour l'avenir

10.1. L'évolution due aux phénomènes naturels

Tous les phénomènes présentés sont liés et s'enchaînent dans des relations :

- ⇒ soit de stabilité, comme les liens entre la faune et la flore, l'absorption de CO_2 par les océans...
- ⇒ soit d'instabilité, comme la saturation des océans, l'évaporation du méthane dans les pergélisols,
- ⇒ soit d'amplification, comme l'influence de l'albédo des glaces.

Les principales relations entre ces phénomènes sont résumées par la Figure 28.

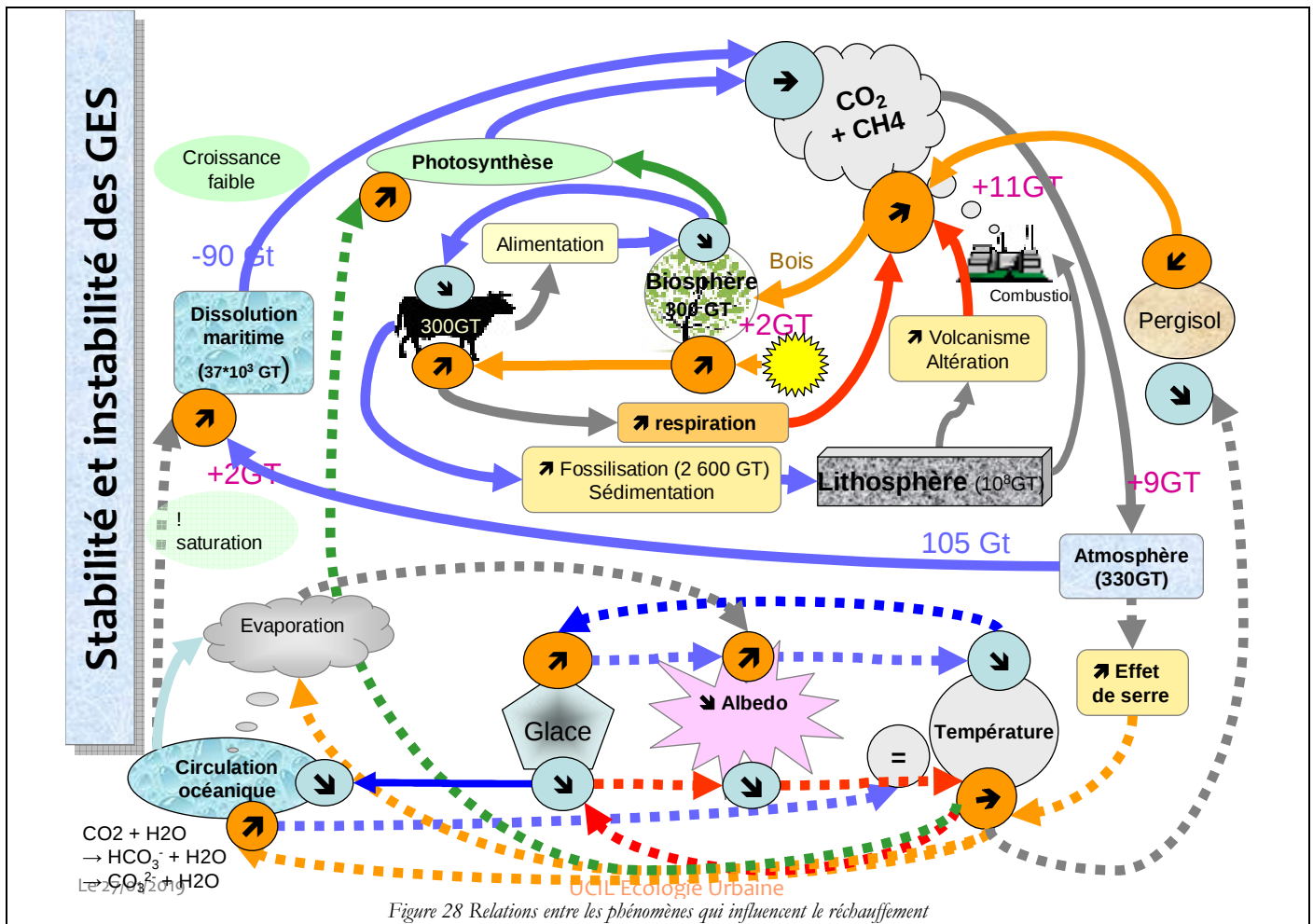
Ces relations prévisibles sont censées être prises en compte dans les modèles d'évolution climatique.

Tous les phénomènes naturels périodiques qui influencent la température induiraient plutôt une **stabilité prochaine**.

Notre époque, pendant des millions d'années, semble à l'**abri d'impact périodiques de météorites** de grande taille. A terme, le danger naturel majeur pour notre climat est celui d'un **réveil volcanique** assez probable. La probabilité de ce danger est difficile à évaluer.

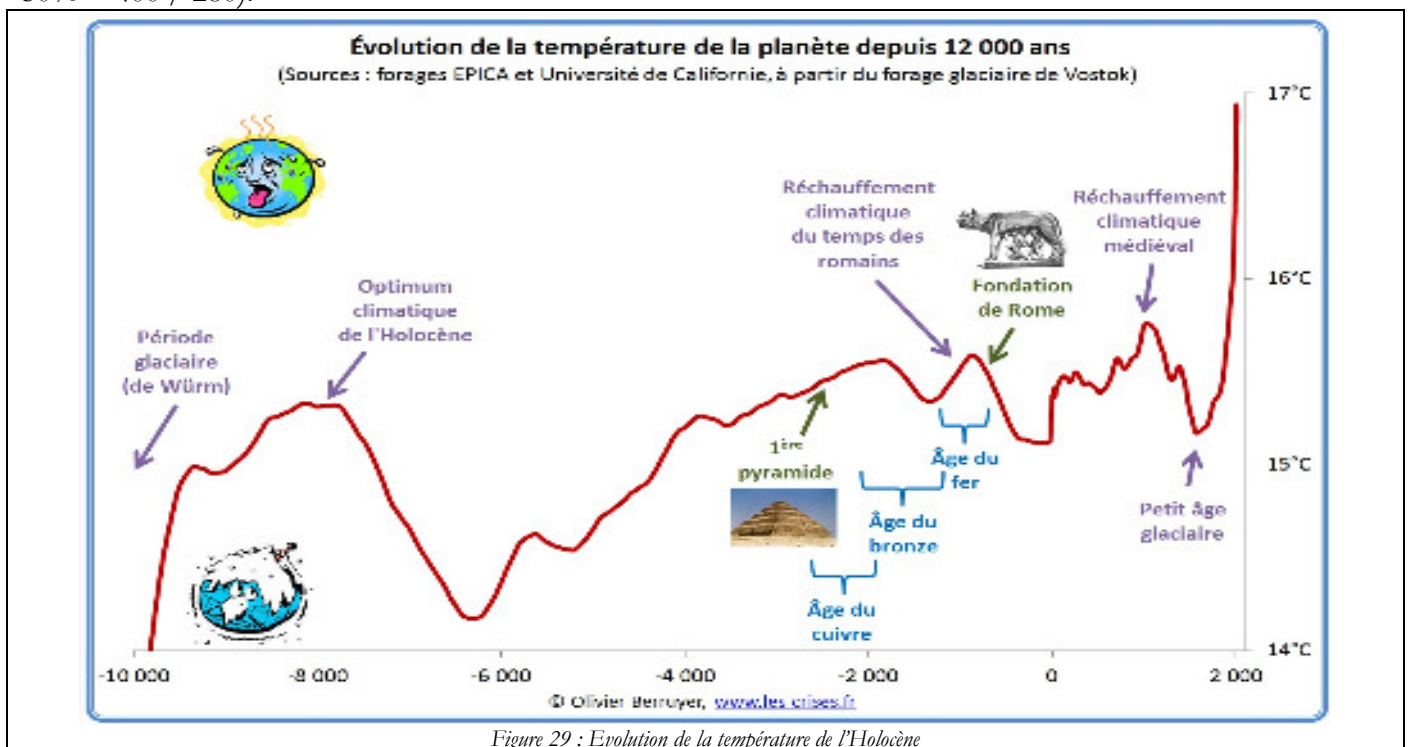
Dans le prochain millénaire, un risque **de mutations biologiques**, pourrait aussi résulter d'une disparition temporaire du magnétisme, en cours d'affaîssement. L'évolution conjuguée des nombreux phénomènes astronomiques (excentricité de l'orbite terrestre, obliquité de l'écliptique) induira un **léger réchauffement dans les prochains 10 000 ans**, qui devrait nous préserver, pendant des dizaines de millénaires d'une prochaine ère glaciaire, malgré la précession des équinoxes.

Dans les prochaines dizaines d'années, l'activité du soleil va diminuer **provoquant un léger refroidissement d'un tiers de degré**.



10.2. L'évolution due aux phénomènes anthropomorphiques

Cependant, les relevés de températures (Figure 29) révèlent une augmentation brutale (en 1 siècle) de plus d'un degré de la température qui est parfaitement expliquée par la corrélation entre les émissions de CO₂ et de méthane, depuis le début de l'ère industrielle et son accumulation mesurée dans l'atmosphère (de près de 50% = 400 / 280).



Le GIEC prévoit un accroissement de 2° d'ici 2050.

Cette augmentation de température provoquera inexorablement des phénomènes irréversibles et insupportables de climat d'abord, de disparition de la biodiversité, de perturbations de l'agriculture et donc de l'alimentation, dramatiques pour la population et en conséquence, pour la civilisation humaine.

Il faut être très optimiste pour penser que l'emballement est évitable. En France, pour ne pas émettre plus de carbone que la planète peut en absorber, il faudrait **réduire nos émissions d'un facteur 6**, au moins, ce qui est considérable. Cependant, à l'échelle de la France, des mesures significatives peuvent être prises pour y arriver. Mais pour la plupart des pays développés, le facteur de baisse devrait être bien plus important et sera d'autant plus difficile que l'ampleur des investissements nécessaires est considérable.

Nous verrons qu'il faut, pour réussir, non seulement changer nos comportements, mais aussi changer complètement de stratégie donc de certitude sur la stratégie appropriée !

Il faudra pour cela, écouter l'avis de véritables experts d'ailleurs pris en considération dans ses rapports par la Cour des Comptes.

C'est ce que nous exposerons dans un prochain document.
