

## Mais où sont les neiges d'antan? (3)

par Georges Polian

Fondues depuis...? Oui, je sais que vous savez, tout au moins les kelkeuzuns qui ont lu les ekulu-brassions publiés dans les précédents Crampon !

Or donc, revenons à nos... flocons, aléas climatiques et environnementaux, en commençant par un «petit» retour vers le passé.

### 1 Climats des temps passés, trépassés (comme Apollinaire?)

Nous savons fort bien que le climat de la Terre a varié fortement et continuellement depuis sa formation, il y a 4,5 milliards d'années (4500 Ma), à des échelles de temps allant des dizaines de millions à quelques années. Bien évidemment, sans que les activités humaines aient été en cause. Ce n'est que depuis 5 à 7000 ans qu'un début d'influence humaine est perceptible (déforestation, mises en culture). Et depuis 150 ans qu'on peut observer une modification massive et très brutale de l'environnement et de l'atmosphère.

Le Soleil est bien entendu le pilote suprême, la source qui envoie l'énergie indispensable pour faire fonctionner le «système Terre», la machinerie climatique, entretenir la vie. Or, l'activité solaire augmente quasi exponentiellement, de quelques 6% par milliard d'années (bof, 6 % par milliard d'années, pas grand chose!). Et pourtant, cela fait + 35 à 40 % depuis la naissance de notre planète, + 25 % environ depuis l'apparition de la vie (et cela ferait un facteur 2 en 12 milliards d'années; mais Phoebus 'explosera' puis 'implosera' bien avant). Ce qui montre bien que la relation entre le Soleil, et la Terre et son climat, est fort loin d'être simple, directe, linéaire et univoque. En effet, malgré cette conséquente augmentation d'énergie solaire, la Terre s'est refroidie, puis maintenue dans les limites étroites permettant la vie. Miracle d'essence divine ? Autorégulation efficace (Gaïa, la déesse Terre des Grecs et de J. Lovelock)? Nous en reparlerons.

### 2 Trois éléments fondamentaux déterminant le climat:

- La composition de l'atmosphère : beaucoup plus dense que l'actuelle (20 à 50 fois plus?), l'atmosphère primitive comportait une forte proportion de CO<sub>2</sub>, vapeur d'eau (puissants gaz à effet de serre, GES), azote (N<sub>2</sub>); oxygène, zéro! Mais il y a encore de grands désaccords sur cette atmosphère primitive, et plus encore sur celle des tout premiers temps (hydrogène, méthane, ammoniaque?).

Actuellement (à la louche): 78% de N<sub>2</sub>, 21 % de O<sub>2</sub>, 1% de divers (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, gaz rares...).

- La répartition des continents joue un rôle capital, selon qu'ils sont réunis en un seul supercontinent ou fragmentés, situés dans les zones polaires (favorable à l'accumulation de neige et de glace) ou dans les zones intertropicales (favorable à un climat chaud). De plus, cette répartition (topographie) joue un rôle capital pour l'existence et le fonctionnement des courants océaniques dont on connaît bien l'importance majeure pour les transferts de chaleur et le climat. Mais le temps pour que cette répartition varie significativement est de l'ordre de plusieurs dizaines de millions d'années...

- Les paramètres orbitaux (voir Milankovitch, dans le Crampon précédent), dont les variations déterminent les successions de périodes glaciaires et interglaciaires, avec une périodicité de l'ordre de 100 à 120000 ans, notamment depuis au moins un million d'années (quaternaire).

### 3 Autres causes 'primaires' de variations du climat:

- Nuages de poussières cosmiques pouvant s'interposer entre la Terre et le Soleil (lire: Le nuage noir de Fred Hoyle, excellent roman de science-fiction). Aucune certitude quant aux époques où cela a pu se produire. Mais ce pourrait être une des causes des grandes glaciations de la fin du carbonifère (l'époque majeure de la genèse des grands dépôts de carburants fossiles, 360-350 Ma à 290-280 Ma) et du début du Permien; glaciations qui durèrent plusieurs dizaines de millions d'années (50?).

- Faibles variations à court terme de l'activité solaire (quelques années à quelques siècles, voir « petit âge glaciaire », PAG, dans le Crampon précédent).

- «Accidents» : Violentes crises éruptives, brèves ou de longues durées (millénaires), ou chutes de grosses météorites, qui envoient des quantités massives d'aérosols dans la stratosphère. D'où un refroidissement (analogue à «l'hiver nucléaire» qui suivrait un violent conflit thermo-nucléaire) pouvant durer quelques années, siècles ou plus. Ainsi seraient morts les malheureux dinosaures il y a 65 Ma.

- «Interventions» malencontreuses d'un vilain bipède (nous?).

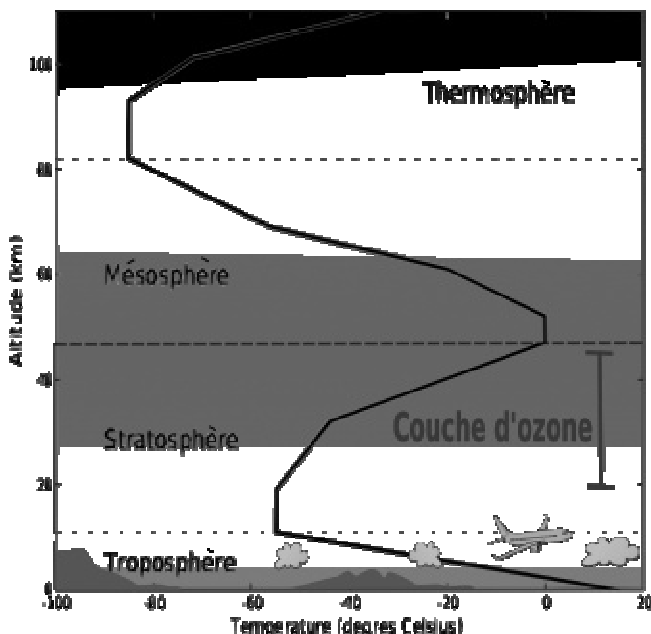
### 4 Causes «secondaires» se superposant aux causes «primaires»:

Les rétroactions négatives ou positives évoquées précédemment, qui atténuent ou, plus généralement, amplifient les variations de climat initiées

par une des causes mentionnées ci-dessus, et qui peuvent éventuellement le bouleverser totalement. Rappelons par exemple qu'un faible réchauffement diminue un peu l'enneigement, donc l'albédo (c'est-à-dire le rayonnement réfléchi) ; il y a donc plus d'énergie solaire absorbée par le sol, d'où réchauffement supplémentaire, d'où augmentation de la quantité de vapeur d'eau (le plus 'efficace' GES naturel!) dans la basse atmosphère, d'où accélération du réchauffement. D'où (!), dégel du permafrost arctique, se transformant en marécages grands producteurs de méthane (30 fois plus efficace que le CO2). Nouvelle accélération du réchauffement; etc. Si je l'osais, je parlerai d'effet boule de neige (hum) !

#### 4-1 Premier aparté: l'ozone (O3), et le fameux trou: ça démolit le climat?

Et ben non, ou en tous cas très indirectement. Toujours la méga-confusion entre stratosphère et troposphère (voir schéma ci-dessous) ! Ah la la!



Source Wikipedia (comme le schéma suivant)

Or donc, le fameux trou «par où s'échappe l'ozone» (je l'ai lu dans un grand quotidien!), est situé très haut dans les cieux, vers 20 à 40 km d'altitude, là où réside l'essentiel de l'ozone (fabriqué par l'action des rayons cosmiques sur la haute atmosphère). En fait, il s'agit de zones de concentrations anormalement basses, au-dessus de l'Arctique et surtout de l'Antarctique, là où l'O3 stratosphérique est détruit par les débris de gaz synthétiques lourds, principalement les trop fameux CFC (fréons...). Ce sont des processus de chimie hétérogène très complexes, en régions glaciales, qui interviennent. Cette destruction pourrait avoir des conséquences sérieuses pour la stratosphère elle-même, puisque c'est grâce à cet ozone, très efficace GES, que la stratosphère existe (à partir de la tropopause, la température augmente avec l'altitude -jusqu'à la stratopause-, à l'inverse de ce qui se produit dans la troposphère). D'où l'existence de la stratosphère, «stra-

tifiée», et non convective et turbulente comme la troposphère. Mais l'ozone est aussi un filtre efficace empêchant la majeure partie des UV, dangereux pour les êtres vivants, d'atteindre le sol. C'est le danger immédiat le plus sérieux. Ainsi, nous détruisons le 'bon' ozone dans la stratosphère. Par contre, nous en produisons au sol (agriculture, industrie, transports), là où il est nocif, dangereux pour les voies respiratoires par exemple, et où il renforce l'effet de serre des autres GES. Et oui, nous avons tout faux !

#### 4-2, second aparté : Variation de CO2, cause ou conséquence des variations de climat (bonne question!)?

Le vieux problème de l'œuf et de la poule! Je serais tenté de répondre: les deux mon capitaine...

- Epoques anciennes (4500 à 100 Ma). C'est d'abord le dégazage massif du manteau qui a injecté le CO2 dans l'atmosphère, induisant un effet de serre colossal, donc climat torride. Mais un peu moins que sur Vénus actuellement; n'oublions pas que le Soleil irradiait moins de 70 % de l'énergie actuelle, et que la Terre, plus éloignée, reçoit un bon tiers de rayonnement solaire de moins que Vénus. Ouf, nous échappâmes (de peu?) à la fournaise, l'eau finit par réussir à se condenser (sans doute à 200 ou 300°C sous haute pression, 20 à 50 bars). Des processus de «pompage» du CO2 intervinrent rapidement. [Les variations aux grandes échelles de temps (comme la baisse globale du CO2 depuis 4,5 milliards d'années, ou au carbonifère, ou depuis le début du tertiaire; la hausse au crétacé...) sont dues aux variations relatives de l'altération continentale (qui pompe du CO2) et du volcanisme (qui en fournit). Au cours de l'histoire de la Terre, la fabrication de calcaire (en surface, suite à l'altération des silicates calciques par les pluies) a été globalement légèrement supérieure à sa destruction en profondeur (par métamorphisme et subduction). Au cours des temps géologiques, le CO2 atmosphérique a donc baissé, d'un facteur 100 000 à peu près]. D'où forte diminution de l'effet de serre (également: diminution de l'activité éruptive et volcanique). Grâce au refroidissement, le cycle vertueux de la vie put s'enclencher, l'O2 libre apparut. Une grande partie du CO2 atmosphérique restant fut sauvagement transformée en calcaires, pour la plus grande joie des grimpeurs actuels. Puis les végétations primitives exubérantes, en particulier au carbonifère, contribuèrent à enfouir de grandes quantités de carbone atmosphérique sous terre (carburants fossiles).

- Epoques récentes (glaciations quaternaires...) : c'est l'inverse. Une légère baisse de température provoque une première diminution du taux de CO2. On sait que les eaux froides sont beaucoup plus riches en biomasse, algues, plancton, animaux divers, coquillages, foraminifères..., grands consommateurs de CO2; et que la solubilité du gaz est plus élevée que dans les eaux chaudes tropicales. L'océan devient un 'puits' de carbone beaucoup plus actif et le cycle des rétro-

actions est enclenché.

- Ere industrielle, retour aux origines : nous (et non plus le volcanisme gigantesque du début) injectons des quantités massives de CO<sub>2</sub> (et d'autres GES!), et déclenchons un réchauffement qui peut devenir incontrôlable, en brûlant en 2 siècles les carburants fossiles que la Nature a mis plus de 500 millions d'années à accumuler. Plus aucun doute maintenant, hélas, sur l'origine de ce CO<sub>2</sub>, car les scientifiques savent parfaitement mesurer la part de CO<sub>2</sub> issue des combustibles fossiles (par analyse isotopique du carbone, par exemple, qui ne contient plus alors de C14). Et encore, les prévisions et modèles actuels ne tiennent pas compte d'une menace redoutable: le risque de dégazages massifs des clathrates (hydrates de méthane) stockés dans les fonds marins et dans le permafrost (voir biblio).

- Développement de la vie et... interventions mal-t-à propos (? !)

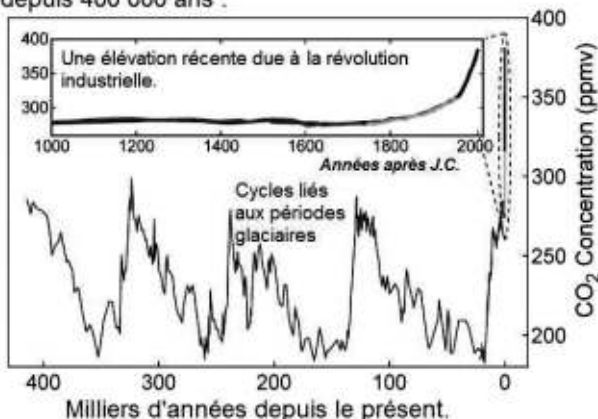
Dans les conditions décrites plus haut, en dépit de gros accidents de parcours (tels que les extinctions massives de 252 et 65 millions d'années, la vie a pu se développer sur Terre, et aboutir à un état d'équilibre étonnant qui permit... l'apparition du fleuron de la «Création» : Vous (et moi bien sur!).

Or donc Sapiens sapiens est arrivé (é, eu, comme Zorro, o o). Au terme de quelques dizaines de millénaires de meurtres, de rapines, de massacres et de «génocides» (tel que celui des malheureux néandertaliens), mais aussi au terme de travaux acharnés, d'inventions et découvertes géniales, de réalisations superbes, nous voici 'Maîtres du Monde' (mais pas encore de l'Univers), aptes à réaliser le meilleur... et le pire, y compris autodestruction ou même destruction de la vie sur Terre («l'écocide» de Jared Diamond ; voir biblio). Lourde responsabilité !

Rappelons que l'ère industrielle a commencé il y a 150 ans, c'est à dire depuis 33... milliardièmes de la durée de l'existence de la Terre, ou 40 milliardièmes du temps écoulé depuis l'apparition de la vie. Et pendant ce microscopique (nanoscopique!) laps de temps, la concentration du CO<sub>2</sub> (entre autres GES) est passée de 275 ppm (parties par millions, c'est-à-dire moins de 0,03 %), à près de 400 ppm et grimpe actuellement quasi exponentiellement, en route vers 500, puis 800 ou 900 ppm avant la fin du siècle (voir schéma); sauf si...

Rappelons que depuis plus de 1 Ma (106 ans),

Les variations de concentrations en CO<sub>2</sub> atmosphérique depuis 400 000 ans .



cette concentration a constamment évolué entre 190 ppm lors des optimums glaciaires, et 290-300 ppm lors des interglaciaires, et qu'elle n'a sans doute jamais beaucoup dépassé 300 ppm depuis au moins 10 à 15 Ma. Du jamais vu, donc, depuis très très longtemps ! Et, pendant ces mêmes 150 ans, la population humaine est passée de 1 milliard (en 1850) à près de 7; et ce n'est pas fini. Quant au climat, ça chauffe dur, les glaces continentales et polaires fondent à vue d'œil. Même les pires des allégriens ne le nient plus.

## 6 Alors, Sapiens sapiens (Modernus industrialensis) est-il responsable, mais non coupable? Ou l'inverse? Ou les deux?

*Ne manquez pas la réponse au prochain numéro avec un florilège de questions et objections provenant de sceptiques et de "négateurs", recueillies dans un labo de biologie et au GUMS.*

*Et pour terminer, des réponses à la question calorifère? Conclusion: pessimisme ou optimisme?*

Enfin, grand merci à Danielle Canceill pour ses multiples corrections, suggestions et contributions.

### Pour en savoir plus :

<b>Livres sur le climat :</b>
<b>"Climat: Jeu dangereux - Dernières nouvelles de la planète"</b> Jean Jouzel et Anne Debolezé ; Dunod (2007)
<b>"L'Avenir Climatique - Quel temps ferons nous ?"</b> Jean-Marc Jancovici ; Points poche (2005)
<b>"L'effet de serre - Réalité, conséquences et solutions"</b> René Ducroux, Ph. J. Baptiste ; CNRS éditions (2004)
<b>"Quel temps fera-t-il demain ?"</b> Ouvrage collectif, La Recherche, éditions Tallandier (2007)
<b>"Le méthane et le destin de la terre - Les hydrates de méthane, rêve ou cauchemar ?"</b> G. Lambert, J. Chappelaz, JP Foucher, G. Ramstein EDP Sciences (2006)

<b>Livres sur les conséquences des changements climatiques et des comportements humains :</b>
<b>"EFFONDREMENT - Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie."</b> Jared Diamond; Gallimard, NRF essais (2006)
<b>"Introduction au siècle des menaces"</b> Jacques Blamont ; Odile Jacob (2004)
<b>"La revanche de Gaïa - Pourquoi la Terre riposte-t-elle?"</b> James Lovelock ; Flammarion (2007)
<b>"Le Climat Change. Et nous ? - 74 Questions à Laurent Turpin, géochimiste-climatologue"</b> , Spécifique éditions (2007)
<b>"Le Changement climatique, aubaine ou désastre ?"</b> Ouvrage collectif, Le Cerf (2007)

<b>Sites Internet :</b>
le site de Jean-Marc Jancovici : <a href="http://www.manicore.com/">http://www.manicore.com/</a>
le site Planet-Terre de l'ENS-Lyon : <a href="http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/infosciences/">http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/infosciences/</a>
un dossier du CNRS : <a href="http://www.cnrs.fr/doc/dossiers/dosclim/index.htm">http://www.cnrs.fr/doc/dossiers/dosclim/index.htm</a>