Une opinion sur le changement climatique

Tout citoyen devrait avoir le droit d'exprimer son avis sur l'un des grands problèmes du moment, celui du *réchauffement climatique*, surtout s'il a quelques notions scientifiques. On va ici tenter cet exercice périlleux, sachant que la question déborde très vite du domaine rationnel.

Disparité

Ce qui choque le plus, dans les débats sur la question du climat, c'est la grande disparité des arguments employés. La cassure se produit plutôt entre les partisans du GIEC, très majoritaires, et une poignée de sceptiques, dont beaucoup sont pourtant très diplômés (plusieurs prix Nobel par exemple). Voici, en bas de page, l'adresse d'une liste de contradicteurs du GIEC disponible sur Internet [1].

La théorie du GIEC *(groupe intergouvernemental d'experts sur le climat)* est très monobloc : pour le GIEC, le climat change depuis le début de l'ère industrielle, la température du globe s'élève sous l'effet de l'industrie humaine qui produit beaucoup de CO_2 (*gaz carbonique*, appelé aussi plus savamment, *dioxyde de carbone*), lequel gaz, étant très stable, n'est pas détruit de manière naturelle et s'accroît en densité dans l'atmosphère au fil des ans ; il joue le rôle d'une couverture à sens unique – *une soupape* –, laissant passer les rayons du soleil vers la Terre, mais empêchant le sol de se refroidir en rayonnant sa chaleur vers l'espace. C'est l'effet de serre et, pour le GIEC, il est dû principalement au gaz carbonique provenant de l'industrie humaine.

On peut constater que les sceptiques utilisent des arguments rationnels, en tout cas similaires à ceux avancés dans tout débat scientifique. Par contre, les partisans du GIEC les plus virulents utilisent volontiers l'invective, la moquerie, l'insulte ... et sortent totalement du débat scientifique.

Il y a là une très grande différence entre les deux clans, car, à première vue, on peut bien parler de clans, même si celui des *climato-sceptiques* n'est pas du tout homogène, leur seul point commun étant de n'être pas d'accord avec les affirmations du GIEC.

On constate que même des scientifiques – et plutôt des jeunes – utilisent aussi ce genre d'argumentation reposant surtout sur l'insulte. C'est pourquoi on ne peut que penser à Giordano Bruno, qui a eu la langue arrachée et a été brûlé vif en l'an 1600, pour avoir émis des idées contraires à celles de la religion dominante, la *doxa*. Car tout le débat actuel sur le climat fait penser à une querelle religieuse où l'on part d'un dogme indiscuté et où tout contradicteur est déclaré insociable, voué aux gémonies et à la vindicte publique.

Ce triste constat peut inciter des scientifiques, a priori cartésiens et neutres, à pencher, devant tant d'irrationalité, pour le camp des modérés et donc, malgré eux, à se voir classer parmi les climato-sceptiques.

Augmentation continue de la température

Parmi les climato-sceptiques, certains nient l'élévation actuelle de la température. Il est difficile de les suivre sur ce terrain. Au contraire, il est facile, pour les plus anciens, de se souvenir qu'aux environs de 1950, dans nos régions, les hivers étaient bien plus longs et bien plus froids qu'aujourd'hui. Mais ce sont surtout les montagnards et les alpinistes les plus âgés qui peuvent constater un très net recul des glaciers depuis au moins 70 ans (recul d'un kilomètre par exemple pour la Mer de glace). Il en serait de même dans l'Himalaya, dans les autres glaciers montagnards ainsi que sur les calottes polaires.

Les *rats* de bibliothèque peuvent également parfois tomber sur des écrits relatifs au climat du passé, par exemple sur cet étonnant récit d'un tour du Mt-Blanc exécuté en 1781 par deux aristocrates dauphinois, selon un itinéraire très voisin de celui pratiqué actuellement par des centaines de touristes et à la même époque de l'année. Maintenant, on marche au milieu des jonquilles, alors que, juste avant la fin du 18e siècle, nos deux ancêtres se frayaient une route difficile parmi les glaciers [2].

Autre argument, mais que – on le sait – nombre de scientifiques récusent : l'habillement. Examinons un peu les tenues dont sont accoutrés nos ancêtres des 16, 17 et 18e siècles, à comparer aux tenues du 20e, du moins à celles non soumises à prescription religieuse. A l'heure actuelle, on ne pourrait pas supporter, sans être inondé de sueur, les lourds habits – ainsi que les perruques – de l'époque dite classique.

On devrait donc admettre qu'il y a bien une élévation de température par rapport au passé. Mais quel passé ?

Début du réchauffement

En sciences, on situe le début d'un changement d'évolution d'un phénomène au moment où il passe par un extremum (minimum ou maximum). Or il est admis par la plupart des historiens que la température soit passée par un minimum très net en France aux alentours de 1660. Saint-Simon écrit qu'à cette époque, *le vin gelait sur la table du roi* à Versailles, et on sait aussi que les rivières et les canaux gelaient pendant plusieurs mois en Beauce et en Ile-de-France.

[1] www.laterredufutur.com/accueil/liste-de-scientifiques-sceptiques-sur-le-rechauffement-climatique/

[2] Herculais, *Journal de mon voyage d'Italie*, bibliothèque municipale de Grenoble, récit disponible ici : http://pierre.blanc38.free.fr/patri/frq/hercul_ital.pdf

A Lyon, on roulait carrosse sur la Saône et *les dames allaient à pied aux Iles* (sur le Rhône, du côté de Jonage). (Cf note [3]). A Londres, la Tamise gèle en 1677.

On ne possède aucun relevé de température pour cette époque, mais uniquement une description de phénomènes naturels, le thermomètre n'ayant été inventé que vers 1720-1730. Reste à savoir si on trouve de semblables écrits dans d'autres parties du monde ...

Il semble pourtant qu'il y ait consensus sur ce point : un minimum prolongé de température à la fin du 17e siècle, période souvent appelée *le petit âge glaciaire* (ou **PAG**). Le début du réchauffement se situerait donc **vers 1660.**

Or le GIEC situe le début du réchauffement aux environs de 1850, époque de l'avènement de la machine à vapeur et de l'exploitation du charbon. C'est 200 ans plus tard.

Le consensus

Le GIEC ne fait pas de recherches originales sur le changement du climat ; son rôle est de compiler, *recenser*, les travaux sur le sujet. Il proclame que plus de 95% des publications sur le climat se rallient à sa thèse, celle d'un réchauffement post-industriel dû à l'industrie humaine.

Il tient compte pour cela des publications parues dans les revues internationales *à comité de lecture*. Il s'agit en fait de revues à caractère commercial. Quand on analyse leur fonctionnement, on n'est pas convaincu de leur impartialité. La grande majorité des publications sur le réchauffement émane de chercheurs employés par les labos de climatologie ou assimilés. Les *relecteurs* de ces revues (ou *arbitres, referees* en anglais) bien qu'anonymes, sont très certainement issus des mêmes structures. Tous ont intérêt à clamer bien haut l'intérêt de ces théories, et même à en exagérer l'importance, ne serait-ce que pour recevoir plus de financements publics. Les revues ont les mêmes intérêts, car leur budget repose sur les abonnements – très coûteux – souscrits par ces labos, lesquels se désabonneraient bien vite des revues qui publieraient des articles défavorables à leurs intérêts.

C'est une sorte de cercle vicieux, mais qui fonctionne très bien, sauf pour faire connaître des travaux contradictoires. Un chercheur en exercice ne sera pas assez suicidaire pour tenter de publier des articles contraires à l'intérêt financier de son employeur. Les publications défavorables aux thèses du GIEC seront donc publiées plutôt dans des *livres* ou bien sur Internet, voire via des médias universitaires gratuits, comme sur le site **Hal** (*Hyper articles en ligne*, service du CNRS), mais surtout hors des revues commerciales dites *à comité de lecture ;* le GIEC ne tiendra pas compte de ces publications.

Il semble bien que, dans ce domaine, les labos de climatologie soient à la fois juge et partie. De toutes façons, le consensus n'a jamais été une preuve. Qui donc en 1890 pensait que le noyau atomique était sécable et qu'il recelait des énergies inconnues ? Un vieil adage scientifique proclame *Consensus n'est pas vérité* et tout scientifique digne de ce nom pense que le doute est toujours permis. *Rendez-nous notre droit au scepticisme qui est non seulement un droit mais un devoir pour tout scientifique* (François Gervais).

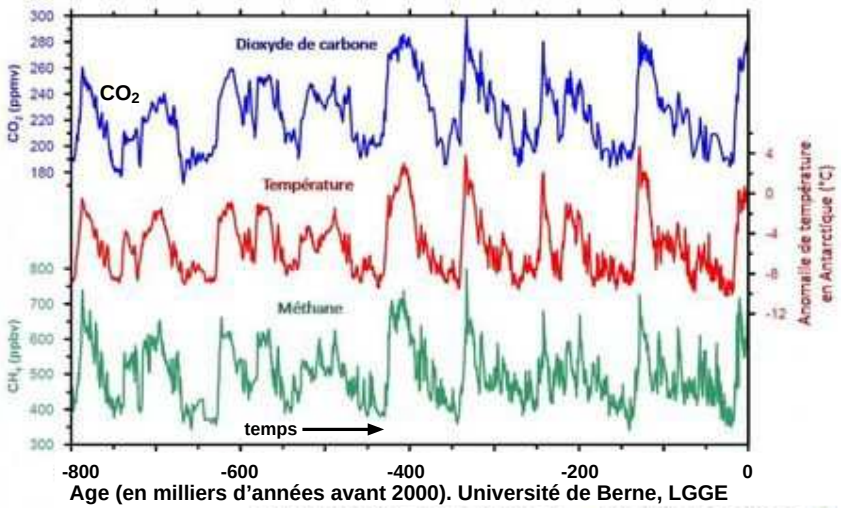
Température et gaz carbonique.

Beaucoup de publications sur le climat présentent des courbes montrant l'évolution, depuis plus ou moins longtemps, d'une part de la température de l'atmosphère, et d'autre part, de sa concentration en CO_2. Ces 2 courbes évoluent de la même façon. Le retard de l'une sur l'autre est faible, mais pas toujours dans le même sens. Elles sont corrélées, c'est certain, mais il est difficile de savoir laquelle précède l'autre. Pour le GIEC, c'est l'industrie humaine qui, avec la consommation effrénée des produits fossiles carbonés (bois, charbon, gaz, pétrole) augmente la teneur de l'atmosphère en CO_2, lequel, par effet de serre, augmente la température du sol (la concentration *normale* du CO_2 dans l'atmosphère est de 0,04 %).

Une autre possibilité reposerait sur un échauffement des océans par un moyen quelconque, pour l'instant inconnu, lesquels océans rejetteront, en fonction de leur température, une partie du CO_2 qu'ils contiennent de manière naturelle. Ce mécanisme physique est connu : la solubilité du CO_2 dans l'eau diminue avec sa température. Cependant, les relevés ne sont pas toujours très nets.

On ne peut pas être toujours certain du sens du décalage entre les deux phénomènes : lequel précède l'autre ?
Car, bien entendu, en physique rationnelle, la cause précède toujours l'effet.
On peut cependant trouver des écrits montrant que les variations du taux de CO_2 **suivent** celles de la température. C'est le cas de la figure ci-dessous, relative aux siècles passés, exploitant des informations extraites de carottes de glace sur le site de Vostok (Antarctique). Mais iI s'agit de climats très anciens (800 000 ans) [4] et pas forcément représentatifs de la situation actuelle.

Cet article de Pascal Richet, contraire aux thèses du GIEC, a déchaîné, bien sûr, une virulente contestation.

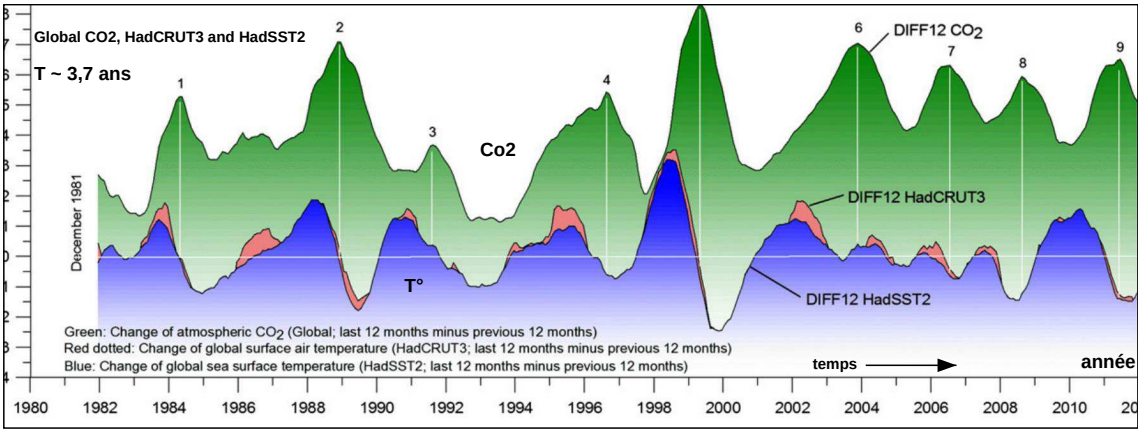


Age (en milliers d'années avant 2000). Université de Berne, LGGE

[3]. Georges Pichard et Emeline Roucaute, Glaces du Rhône, HistRhone.cerege.fr/squelettes.pdf, Chronologie_Glaces_Bas_Rhone.pdf
[4]. Projet Epica, franco-suisse et internat., IPSL LGGE (Berne), Nature, 15 mai 2008

Dans l'article, *Le climat et la relation température-CO_2, un réexamen épistémologique du message des carottes glaciaires, History of Geo-and Space Sciences,* 12, 97-110 (2021)), Pascal Richet (Institut de Physique du Globe, Paris), précise : *... en ce qui concerne le long terme : contrairement au court terme, l´analyse des carottes de glace antarctique a démontré une très bonne corrélation entre concentration de CO_2 et température. Cependant, il existe un déphasage : durant les centaines de milliers d´années qui nous ont précédé, l´augmentation du taux de CO_2 atmosphérique a toujours suivi (et non précédé) les augmentations de température. C´est probablement le dégazage des océans provoqué par la hausse de la température qui a provoqué l´augmentation du CO_2 de l´atmosphère. Les déphasages vont de 400 à 1000 ans. Cette observation jette également un doute sur la validité de la théorie de l´effet de serre radiatif.*

Le diagramme ci-dessous (Humlum & al, 2013, *Global and planetary change*, n°100 pp 51-69) relatant les variations **très récentes** de température et du taux de CO_2 montre que la variation de la température – **de la mer –** (en violet) précède bien celle du CO_2 (en vert), du moins depuis 1980. Le retard est à peu près de 11 mois.



Multiples causes possibles

Le climat de la Terre varie. L'une des causes le plus souvent avancées par les contradicteurs du GIEC, c'est la variation périodique de la rotation terrestre. En effet, sous l'influence de la lune et des planètes, certains paramètres de l'orbite terrestre se modifient périodiquement au cours des millénaires, en particulier l'excentricité de son orbite et l'inclinaison de son axe de rotation (actuellement orienté à 23,4° sur l'écliptique). Ces modifications périodiques, étudiées initialement par **Milankovitch**, expliquent les grandes glaciations préhistoriques ou l'alternance des couches de sédiments calcaires dans les terrains de l'époque secondaire. Mes ces variations périodiques sont beaucoup trop lentes pour expliquer les changements de climat au cours du dernier millénaire.

Effet de serre

Les physiciens **Saussure** et **Joseph Fourier**(1824) ont été les premiers à soupçonner le rôle de l'atmosphère dans la température sur Terre. **Arrhénius** calculera plus tard que, sans l'atmosphère et sa teneur en CO_2, la Terre au voisinage du sol, serait plus froide d'environ 30°. Le rôle de l'atmosphère provient d'une différence d'absorption de la lumière selon sa longueur d'onde. La lumière *blanche* du soleil traverse facilement l'atmosphère et réchauffe le sol ; lequel sol rayonne ensuite sa chaleur vers l'espace dans l'infrarouge, qui, lui, est beaucoup plus absorbé par l'atmosphère. L'atmosphère rediffuse alors sa chaleur dans toutes les directions, donc en partie vers le sol. La chaleur est donc partiellement piégée entre sol et atmosphère. C'est l'effet de serre : dans une véritable serre, le rayonnement infrarouge du sol est piégé par la vitre qui la recouvre.

On calcule ainsi le réchauffement dû à l'effet de serre :

Pour une surface donnée à l'équilibre, il y a égalité entre énergie reçue et énergie émise. Or l'énergie reçue par la Terre provient du soleil, dont chaque unité de surface envoie dans l'espace sous un angle solide 2π stéradians, la puissance $P_o = \sigma T_o^4$ (w/m^2, loi de Stephan), σ est la constante de Stephan, $\sigma = 5{,}670\ 400.10^{-8}\ J\ s^{-1} m^{-2} K^{-4}$, P_o est appelé *luminosité* par les astronomes.

La puissance totale émise par la face visible du soleil est égale à $P_o \pi R_o^2$, R_o étant son rayon.

La Terre, de rayon R_1, située à la distance D du soleil, reçoit la puissance P_{11} par unité de surface, soit

$P_{11} = \sigma T_o^4 \pi\ (R_o/D)^2$

Sur sa surface vue du Soleil, la Terre reçoit la puissance

$P_1 = \sigma T_o^4 (1-\alpha) (R_o/D)^2 \pi R_f^2 /2$

où α est l'albédo de la Terre (pouvoir diffusant).

Comme tout corps noir ou gris, la sphère terrestre rayonne, dans la moitié de l'espace, la puissance :

$P_T = \sigma T^4\ 2\pi R_f^2$

Or P_T est égale à P_1, puisqu'il y a équilibre, d'où

$\sigma T_o^4 (1-\alpha)\ (R_o/D)^2 \pi R_f^2 /2 = \sigma T_f^4\ 2\pi R_f^2$ et

$$\mathbf{T_f^4 = (1-\alpha) T_o^4 (R_o/D)^2 /4}$$

Avec R_o = 696,3 Mm, T_o = 5780°K, D = 149 600 Mm, et α = 0,3, $\mathbf{T_1}$ = 254 °K, soit **–18,3°C**

alors qu'on admet, comme température moyenne de la Terre, la valeur T_1 = 15°C. La différence est de 33,3°. L'explication généralement avancée jusqu'ici pour cette différence est l'effet de serre.

Dans ce calcul, le rayonnement de la Terre à température T_1 existe jour et nuit, depuis toute sa surface, mais elle n'est chauffée, à tout moment, que sur une seule moitié, d'où le dénominateur 2 dans le calcul de la puissance P_1.

La planète Mars

Le même calcul pour Mars, avec D = 228 106 km, α = 0,25 (albédo), donne une valeur de –64°C pour sa température de surface, qui est également la température mesurée. Or Mars est entourée d'une atmosphère, ténue certes (6,4 mbars), mais composée à 96% de CO_2. Donc la pression partielle du CO_2 est de 6,14 mbars sur Mars alors qu'elle n'est sur Terre que de 0,4 mbar. Cette couche de CO_2, 15 fois plus importante sur Mars que sur Terre, ne provoque pourtant apparemment pas d'effet de serre. en tout cas, pas à elle seule.
Faut-il chercher la raison de la température de la Terre ailleurs que dans le CO_2 atmosphérique ?

Les GES

On a parlé jusqu'ici du rôle du CO_2, mais il y a d'autres gaz qui pourraient manifester l'effet de serre, i.e transparence au rayonnement visible et opacité à l'infrarouge. On les appelle des GES (gaz à effet de serre).

Tout d'abord la vapeur et les gouttelettes d'eau, qui interviennent pour plus de 72% dans l'effet de serre naturel ; le GIEC n'en tient pas compte, on verra pourquoi. On recense aussi le méthane, 25 fois plus efficace que le CO_2. Le méthane est parfois cité comme le principal responsable du réchauffement après le CO_2, et certains écologistes ont même proposé d'abattre les vaches, parce qu'elles émettent du méthane quand elles rotent.

Le méthane (CH_4) est surtout produit par la dégradation des végétaux, par exemple dans leur compostage. On recense également l'oxyde d'azote N_2O, produit par l'air quand il est chauffé à haute température, par exemple dans les moteurs à explosion.

La respiration humaine produit beaucoup de CO_2, environ 800 g par jour et 5 fois plus si on s'adonne à une activité violente. Elle n'est pas prise en compte par le GIEC soi-disant parce qu'elle est compensée par la photosynthèse des végétaux, comme s'ils pouvaient faire la différence entre le CO_2 produit par la respiration humaine et celui d'autre origine. Des écologistes prétendent que le corps humain est un *piège* à carbone : peut-être, mais sûrement pas pour plus de 50 kg durant une vie entière, alors qu'il en rejette plus de 20 tonnes.

Mais la liste des GES ne se limite pas à ces 4 gaz (eau, CO_2, méthane, oxyde d'azote) ; il est vraisemblable que toute molécule gazeuse un peu complexe présente des résonances d'absorption dans l'infra-rouge et ceci d'autant plus qu'elle est plus instable, spécialement avec les composés du soufre, de l'azote et du fluor.

La *dangerosité* des GES est liée à leur stabilité, donc à leur durée de vie dans l'atmosphère. Une durée de vie élevée entraîne leur accumulation et donc leur efficacité. C'est parce que la vapeur d'eau se transforme en pluie que son taux est stable dans l'atmosphère et donc considérée comme un GES non dangereux.

Le CO_2, lui, est dangereux parce que sa durée de vie dans l'atmosphère est très longue, et son taux s'accroît depuis qu'il fait l'objet de mesure. Il en serait de même pour l'oxyde d'azote.

Pour situer un peu plus l'influence des GES sur le climat, on peut se référer à la guerre de 1939-45 qui a provoqué le rejet, dans l'atmosphère, d'énormes quantités de GES. Beaucoup de pétrole a été consommé par les véhicules militaires, dont le rendement n'est pas la première qualité, mais aussi de nombreux réservoirs de pétrole ont été volontairement incendiés pour les soustraire à l'ennemi, spécialement en URSS. De plus, les munitions de guerre laissent échapper des gaz présentant certainement l'effet de serre, car forcément instables et comportant des éléments chimiques défavorables tels N, Hg, S.

Des villes entières ont été brûlées, des navires incendiés. Sans parler des victimes humaines. Tout cela a rejeté d'énormes quantités de GES. Or, en Europe à la fin de cette guerre, le climat a été nettement froid : les maquisards séjournant en montagne en ont beaucoup souffert, tout comme les GI's surpris par la froidure de l'été 1944 dans le Cotentin.

Les GES relâchés abondamment pendant la guerre ne semblent pas avoir provoqué un effet de serre. Au contraire, ils auraient entraîné un refroidissement. Mais il peut s'agir aussi d'un aléa naturel.

La mer

Tout le monde s'accorde sur l'existence d'un gradient géothermique, accroissement de la température de la Terre avec la profondeur. On admet pour ce gradient une valeur de 30° par km, sauf dans des cas particuliers comme dans les régions volcaniques où il est beaucoup plus élevé [5]. Il a pour origine la chaleur du noyau terrestre – dont on n'a jamais pu mesurer la température – mais qu'on estime être au moins à 5000°.

Il ne faut pas oublier que les mers occupent 71% de la surface du globe, qu'elles ont une profondeur moyenne de 3800 m et donc reposent sur des socles où, sans la mer, la température devrait être à plus de 130°. On peut difficilement croire que les mers ne jouent aucun rôle dans la température de la surface terrestre. Bien sûr, l'eau de mer suit la loi générale de la gravité et sa fraction la plus lourde, donc la plus froide, migre au fond des fosses, où elle devrait se réchauffer – même si la conductibilité des roches est faible – et remonter en surface.

Ce brassage vertical perpétuel devrait transférer en surface un peu de la chaleur interne du manteau terrestre, tout comme le ferait une *pompe à chaleur* classique.
Il pourrait peut-être expliquer la différence de 30° entre la température mesurée et celle calculée sur la base du seul rayonnement solaire sans qu'il soit nécessaire de passer par l'effet de serre. La situation de Mars, astre sans mer, mais non sans atmosphère de CO_2, serait alors plus compréhensible.

[5] On a observé en 1989, à plus de 12 000 m de profondeur, des températures très supérieures à ce qui était calculé avec ce gradient (forage de Kola, Mourmansk, région non volcanique).

Alternance du climat

Normalement, quand on débute l'étude d'un problème scientifique, on en recherche toujours les antécédents : on fait l'historique du sujet. Les partisans du GIEC n'en ressentent pas la nécessité ; ils admettent la réalité d'un petit âge glaciaire à la fin du 17e siècle, mais ne cherchent pas plus loin. Pour eux, c'est un accident. Certains historiens parlent cependant d'un *optimum médiéval*, période où le climat aurait été plus chaud, aux environs des 12-13e siècles. Là encore, pour eux, ce serait un accident sans signification.

Et pourtant, si on étudie les grandes invasions au cours de l'Histoire, on peut être surpris par leur alternance.

Une remarque préliminaire : nombre d'historiens proclament que les variations du climat n'ont rien à voir avec les migrations ; et pourtant, l'émigration actuelle de populations subtropicales vers les régions tempérées devraient les inciter à penser le contraire : quand la température de la Terre augmente *sur des temps longs*, les habitants des régions chaudes migrent vers les régions tempérées ; au contraire, si la Terre se refroidit, ce sont les habitants des régions froides qui migrent vers des régions plus chaudes, donc encore vers les régions tempérées.

Quant aux famines, souvent citées dans les textes anciens, on peut dire qu'elles devraient dénoncer un climat froid si elles ont lieu en Europe ou en région tempérée et un climat chaud si elles affectent l'Afrique.

On peut être tenté d'établir, par le biais des migrations, une chronologie approximative du climat.

9e siècle. A l'époque de Charlemagne, il faisait sans doute suffisamment froid pour que les Vikings quittent leurs terres boréales et viennent d'abord ravager, puis s'établir en Europe, en Angleterre, en France (Normandie), jusqu'en Russie.

Au 5e siècle, il devait faire trop chaud dans les déserts asiatiques pour que diverses peuplades, dont les Huns, déferlent sur l'Europe orientale et en refoulent les habitants, les Goths, qui se réfugient alors en Europe occidentale ou méditerranéenne, provoquant la fin de l'empire romain d'Occident.

On apprend cependant que le Rhin a gelé en 406, permettant ainsi aux tribus nordiques de migrer vers la Gaule, mais les fluctuations de température ont toujours été la règle et, pour qualifier une époque de froide, il ne faut pas se limiter à des témoignages portant sur une ou sur quelques années.

Premiers siècles. Autour du dernier siècle avant notre ère, on a davantage de documents grâce aux écrivains romains. Par exemple, César parle abondamment (*Commentarii de bello gallico*), de la migration de peuplades germaines et des Suèves (Saxons) vers le sud et celle des Helvètes qui, poussés par eux, se dirigent vers la Saintonge (en –58, migration qui déclenche la guerre des Gaules), Jules César se plaint du froid en (Grande) Bretagne, à tel point qu'il doit prendre des quartiers d'hiver plus tôt que prévu (*De bello gallico*, 1,54).

Mais c'est surtout à cause de la production agricole que l'on suppose cette période tempérée en Afrique ainsi qu'autour de la Méditerranée. L'Egypte et l'Afrique du Nord étaient devenues les *greniers à blé* de Rome.

Autre témoignage sur cette époque, **l'apogée de Pétra**, autrefois simple étape de caravanes, qui devient florissante au début de notre ère, avant de sombrer dans l'oubli au 5e siècle, trop chaud. On peut donc penser qu'au moment de l'apogée de Pétra, le climat, qui permettait des cultures vivrières, était tempéré, donc plus froid en moyenne qu'actuellement.

–220. Transition. Un fait bien documenté nous apporte un éclairage non négligeable. En –218, Hannibal, dont nul ne conteste l'intelligence, est intercepté par les Romains après sa traversée du Rhône et se voit contraint de changer d'itinéraire. Il prend conseil auprès des Allobroges qui l'assurent de pouvoir traverser les Alpes en automne par la vallée de la Maurienne. Ses conseillers se sont trompés. Hannibal a eu affaire à un hiver précoce, entraînant, pour ses troupes, d'énormes difficultés. A notre avis, cet incident montre qu'on était dans une phase de refroidissement ; ainsi, les Allobroges ont pu, en toute bonne foi, lui assurer que, de mémoire d'homme (i.e. sur les 100 ou 200 dernières années) on pouvait traverser en novembre les Alpes Grées sans difficulté. Mais, hélas pour Hannibal, le climat était en train de se refroidir.

Autre témoin : la fertilité du sud de l'Italie (en particulier, de la Campanie) est très favorable à Hannibal.

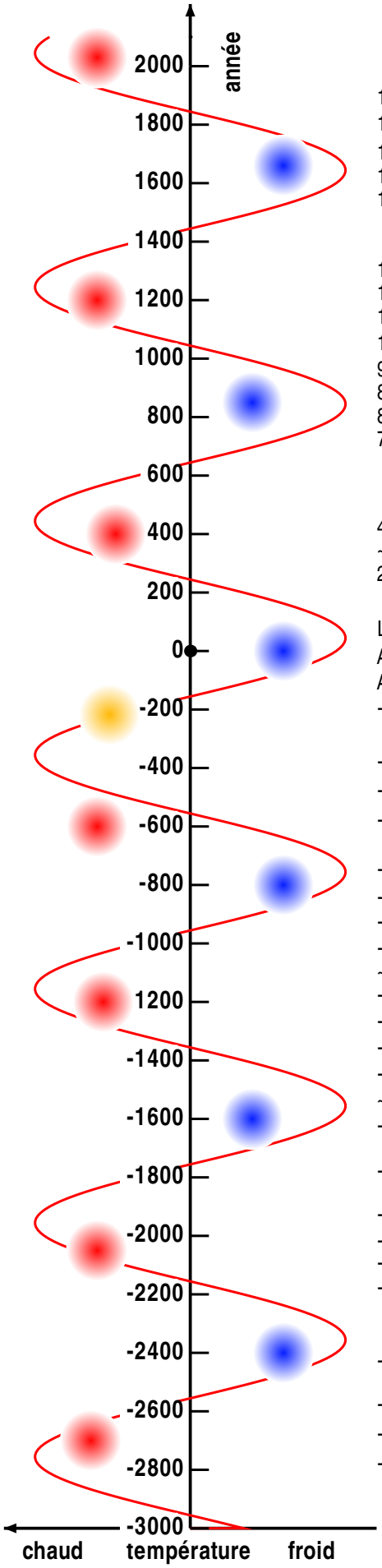
Pour aller plus loin dans le passé il faudrait étudier des textes qui deviennent de plus en plus rares et, surtout, qui établissent rarement une comparaison avec un passé plus lointain. Les textes grecs, à notre connaissance, n'apportent que peu de lumière sur le climat de la Terre.

L'Egypte. Il existe cependant des témoins importants : il s'agit des documents égyptiens. On y apprend que l'Egypte a connu des périodes fastes, donc avec climat plus tempéré, et des périodes difficiles, et même décadentes, trop chaudes, entraînant l'asservissement de l'Egypte par des envahisseurs venus du sud (Nubiens). Les périodes florissantes (plus froides ?) ont connu, elles aussi, des incursions d'envahisseurs, mais ils venaient du nord. Les crues du Nil pourraient également traduire une alternance du climat ; sa périodicité semble être longue (chaque période dure plusieurs siècles), mais la datation précise en paraît difficile.

Dans le schéma ci-après, qui tente de faire un survol de la température du globe, il est possible tout de même de détecter une alternance des climats avec une périodicité d'environ 800 ans. On remarquera que les extrema de froid ne sont pas décalés d'une demi période par rapport aux pics de canicule ; cet écart pourrait s'expliquer par une inégalité des plages en question. Si la période de froid est plus longue, elle se produit moins de 400 ans après le pic de canicule. Les plages de chaud et de froid ne seraient pas d'égale durée.

Proposition : variation du climat

Les marques rouges suggèrent un climat chaud, favorable en Europe, défavorable en Afrique.
Les marques bleues suggèrent un climat froid, défavorable en Europe, favorable en Afrique.
Marque jaune : refroidissement en cours.



1840 : 1950, nombreuses famines (guerres, surpopulation)
1798, Bonaparte achète du blé à l'Algérie. Campagne d'Egypte
1660, disparition des taches solaires, grande famine en1693
1640, petit âge glaciaire. 1660, famines en Europe
1570, submersion marine de la Frandre

1248, St-Louis embarque à Aigues-Mortes (niveau de la mer élevé ?)
13e s, fonte des glaciers alpins, on traverse le Rhin à pied sec
12e s, optimum médiéval, prospérité des abbayes, mais pandémies de peste
1066. Conquête Angleterre par les Normands. Famine en 1032.
980, début invasion du Groenland par les Vikings (Eric le Rouge, exilé)
860, lagune de Venise englacée, chute de la population française
800 Attaques des Viking en Normandie
763, détroit des Dardanelles englacé

~ 500, fort accroissement de la population française
400 : fin de l'empire romain d'Occident, déclin de Pétra
~ 380, invasions des barbares
250, submersion de la Flandre

Le Maghreb et l'Egypte sont les greniers à blé de Rome
Apogée de Pétra. César conquiert la Gaule
Apogée d'Alexandrie
-218, Hannibal franchit les Alpes avec difficultés fin novembre

-470, siècle de Périclès
-712 : -330, Egypte (basse époque), conquise par les Nubiens (viennent du sud)
-675 : -550, forte sécheresse en Assyrie (déclin de l'empire)
Edomites à Pétra. -900:-740-période pluvieuse en Assyrie
-800 : -330, Egypte : invasion assyrienne (viennent du nord), pillages
-700 : -1400. Brillante civilisation minoéne en Crète (période néopalatiale)
-1000 : -800, 3e pér. interméd. Pouvoir dans le delta (rois lybiens) Déclin
-1000 : -900, fin de l'âge du bronze
~ -1200, réchauffement, sécheresse. Invasion du delta par les Lybiens. Exode des Juifs.
-1260. Le pharaon Ramsès II envoie du blé aux Hittites en famine (reine Puduhepa).
-1269, bataille et traité de Kadesh. Karnak. Transfert de la capitale dans le delta.
-1290 : -1224, Ramsès 2
-1500 : -1000, **nouv. empire**, apogée, conquête du Pount, expulsion des Hyksos.
~ -1500 : brillante civilisation minoenne en Crète
-1640 : -1532, 2e période intermédiaire, Egypte occupée par les Hyksos (du Caucase ?)

-2040 : -1640, 3 pharaons célèbres

-2050 : -2100, **moyen empire**(2050-1800) Thèbes. Sésostris (sérénité).
-2100, fin de Sumer (sécheresse)
-2100 : -2040, 1ére période dite intermédiaire, conflits N-S, instabilité
-2200 : -2050, famine (Egypte, -2180,)

-2650 : -2150, **ancien empire**, pyramides de Gizeh, conquête de la Nubie (sud)

-2600, pyramide de Saqqara (nord du pays), âge d'or de l'Egypte.
-2625 : -2691. Djeser, stèle de la Famine : 2650, 7 ans ?
-3100 : -2350, Egypte, les rois du sud envahissent le nord. Memphis devient capitale.

(Période de la sinusoïde figurée ici : 800 ans.)

© P. Blanc

L'île de Pâques

Un article scientifique a été récemment publié par Candace Gossen, pour rendre compte de sondages exécutés dans un lac volcanique de l'île de Pâques. Elle y a étudié les traces de pollens dans les sédiments et montré l'existence, dans cette île, d'une alternance de climats chauds et froids, avec une périodicité d'environ 720 ans [7]. Cette étude semble avoir été abandonnée. Elle ne paraît pas non plus avoir été reprise, ni par elle, ni par d'autres. Pourquoi ? Ce rapport dérangerait-il un peu trop ?

Les glaces de l'Antarctique

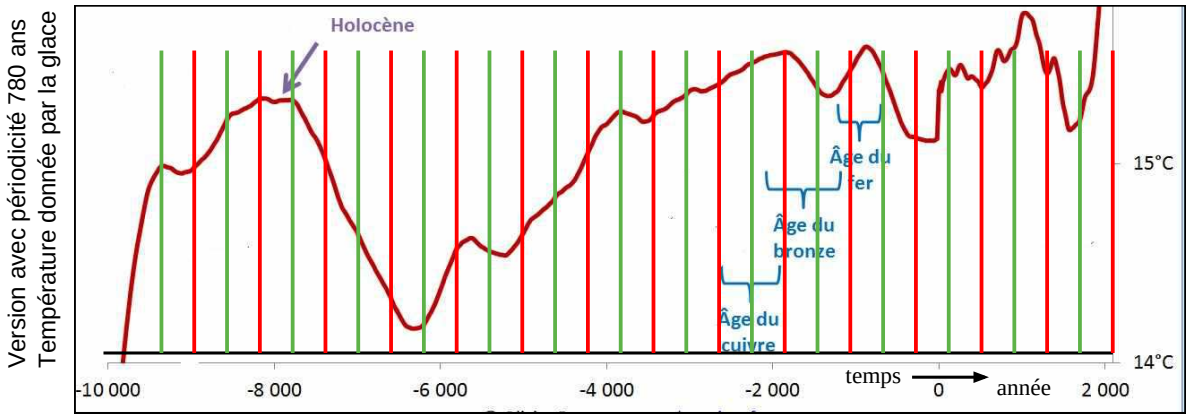
Le projet européen Epica a permis d'extraire des carottes de glace dans l'Antarctique, puis d'analyser le contenu des bulles d'air enfermées dans la glace. Ce contenu fournit directement la proportion de CO_2 dans l'air ambiant à l'époque de glaciation de la carotte. Quant à sa date, on l'obtient par différentes méthodes moins directes.

- la datation par le C14 : le ^{14}C est un isotope radioactif du carbone, formé par action des rayons cosmiques sur l'azote de la haute atmosphère. Le ^{14}C, très peu abondant, se désintègre avec une période de 5570 ans. Le rapport des concentrations $^{14}C/^{12}C$ donne la date où la glace a été enfouie et donc isolée de l'air normal et de son carbone irradié. C'est la méthode la plus employée, mais elle ne fonctionne que pour des échantillons de moins de 50 000 ans. Pour aller plus loin, d'autres corps radioactfs sont utilisés, comme K, U, Th, de plus longues périodes, mais bien moins abondants que le carbone.

- la température de la glace au moment de sa formation se mesure grâce au rapport entre les concentrations de 2 isotopes (stables) de l'oxygène, ^{16}O et ^{18}O. L'atome de ^{18}O, plus lourd, s'évapore moins vite que celui de ^{16}O s'il fait froid. Ce rapport est modifié par la température **globale** de la Terre dans le cycle atmosphérique de l'eau. Appelé $\delta^{18}O$, il est à la base du *thermomètre isotopique* qui donnerait donc la température globale de la planète à la date de formation de la glace étudiée.

Tout cela néglige apparemment l'influence des vents et suppose que les gaz contenus depuis des milliers d'années ne migrent pas hors des bulles dans lesquelles ils ont été emprisonnés au moment de leur glaciation.

De nombreuses publications remontent ainsi à plusieurs millénaires, mais apparemment très peu concernent les 4 ou 5 derniers millénaires, ce qui aurait permis des recoupements avec les résultats de Candace Gossen.



Le graphique ci-dessus [6] est l'un des rares concernant un passé récent. Il n'est pas en bon accord avec nos données déduites de l'Histoire (page 6), traduites ici par des barres vertes pour les périodes froides et rouges pour celles de canicule. Où est le meilleur thermomètre ?

Dans la plupart des graphiques publiés sur Internet, (voir par ex. p. 2), on est frappé par la domination d'une périodicité d'environ 100 000 ans. Elle est due à la variation régulière de l'excentricité de l'orbite elliptique de la Terre (c'est l'un des cycles de Milankovitch).

Origine nucléaire ?

Si alternance il y a sur 800 ans environ, son origine peut difficilement se trouver dans la mécanique céleste ou terrestre, car on les connaît suffisamment bien.

Elle pourrait peut-être s'expliquer par des variations de l'énergie rayonnée par le soleil. C'est une hypothèse souvent émise, mais peu acceptée. Selon la formule au bas de la page 3, il faut une élévation de 25° sur la température du soleil pour augmeter celle de la Terre de 1°. Malgré la température élevée, un accroissement de 25° devrait être mesurable actuellement. C'est donc peu probable. La question est néanmoins toujours débattue.

Autre possibilité, la variation de la température du noyau de la Terre. La majorité des scientifiques admet que ce noyau est à une température d'environ 5000° et que la la Terre est en partie chauffée par des désintégrations nucléaires dans des couches intermédiaires, le manteau.

Il est vraisemblable qu'au cours de la phase d'accrétion de gaz et de poussières qui a conduit à la formation de la Terre, les particules les plus lourdes se soient amassées plutôt au centre de la planète. Donc s'il existe suffisamment de noyaux radioactifs dans le manteau pour chauffer la Terre, a fortiori doit-il y en avoir beaucoup plus dans le noyau et, dans ce cas, il doit s'agir d'éléments lourds et même fissiles.

[6] D'après O. Berruyer dans "*les crises.fr. Evolution de la température de la planète depuis 12 000 ans, source forage Epica, Univ de Californie, lac de Vostok, Antarctique.*"

[7] Candace Gossen. Voir la référence en fin de document.

On constate que les météorites recueillies sur Terre sont formées surtout de fer et de nickel ; cela ne prouve pas que le cœur des planètes, telle la Terre, soit formé de ces matériaux, puisque ces météorites proviennent très probablement de la *périphérie* de corps célestes.

On a découvert récemment (1972) qu'un réacteur naturel avait fonctionné il y a près de deux milliards d'années à Oklo (Gabon). Cette certitude provient de la répartition entre les différents isotopes de l'uranium actuellement présents sur ce site ainsi que de la détection in situ de produits de fission. Ces *abondances*, non naturelles, ne peuvent s'expliquer que comme résidu de fissions d'uranium. Or la densité d'uranium dans le noyau terrestre est certainement bien plus élevée que dans l'écorce terrestre et donc la probabilité de réactions nucléaires doit y être encore plus élevée. Il n'y a d'ailleurs pas uniquement l'uranium qui puisse fissionner au centre de la Terre, mais également d'autres éléments lourds, comme le thorium, encore plus abondant que l'uranium sur Terre.

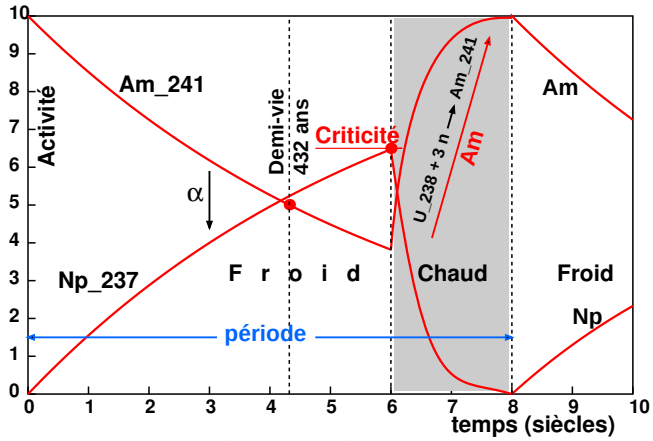
Il est donc probable que des réactions de fission se produisent de manière naturelle au sein du noyau de la Terre. Le réacteur serait alors de type à neutrons rapides, car le noyau ne devrait pas comporter suffisamment d'éléments légers pour assurer le ralentissement des neutrons. La section efficace de fission serait alors faible et donc le réacteur faiblement divergent.

Un réacteur à fission nucléaire s'éteint de lui-même par épuisement du combustible, sauf dans des conditions spéciales où le bilan des neutrons est particulièrement favorable ; mais, dans ce cas, où bien la réaction s'étend à tout le noyau – et alors la Terre aurait explosé – ou bien la réaction nucléaire évolue de manière périodique autour d'une situation d'équilibre. Il faut, dans ce cas, qu'il existe un élément retardateur, comme l'est l'inertie dans les oscillations mécaniques.

On pense bien sûr au fameux *problème des soles et des requins* en Méditerranée où l'élément retardateur est la lente croissance des êtres vivants. C'est un problème célèbre qui repose sur l'alternance de deux populations, les proies et les prédateurs : quand il y a beaucoup de proies, les prédateurs prolifèrent et le nombre des proies diminue ; quand il y a de moins en moins de proies, les prédateurs meurent par manque de nourriture et les proies peuvent à leur tour proliférer. Cette relation proie-prédateur a été étudiée par Volterra en 1926.

Revenons à la chaudière terrestre. Comme on l'a dit, il y règne probablement des réactions de fission. L'un des corps produit en abondance par la fission est l'américium 241. Il devrait s'accumuler dans le réacteur puisque, bien que radioactif, il ne disparaît que lentement, sa demi-vie étant de 430 ans.

Sa lente désintégration produit du neptunium 237, lui-même très faiblement radioactif, donc quasi-stable. Mais il est fissile et réputé atteindre facilement la **criticité** – c'est-à-dire le déclenchement spontané d'une réaction en chaine – surtout s'il est associé à des transuraniens émetteurs de neutrons. On peut donc penser qu'au bout d'un certain nombre d'années, le neptunium 237 accu-



Evolution de l'activité dans un réacteur naturel hypothétique

mulé entre en réaction, donc s'auto-détruit en donnant de la chaleur et beaucoup de neutrons, qui vont, à leur tour, interagir avec les éléments lourds les plus abondants, dont l'uranium 238 et, par capture successive de 3 neutrons (captures de forte probabilité), produire en abondance de l'américium 241 (ici véritable *poison* de la réaction). Le cycle peut reprendre (schéma ci-dessus).

Pendant la fission du neptunium, la chaleur dégagée est bien plus importante qu'après son extinction, phase où l'américium se transforme très lentement en neptunium. C'est un schéma qui peut expliquer une alternance du climat avec une périodicité de quelques siècles. Evidemment, il y aurait un très grand retard entre le cycle du cœur et l'arrivée de la chaleur – très atténuée – à la surface de la Terre.

Autre remarque : l'étude de Volterra montre que, dans une alternance provenant d'une compétition entre proies et prédateurs, l'évolution du phénomène n'obéit pas à une loi sinusoïdale, mais à des lois bien plus complexes. Si ce schéma explique l'évolution du climat, il n'implique pas que les périodes de chaleur soit de même durée que celles de froid. Les solutions de l'équation de Lokta-Volterra sont périodiques, mais loin d'être sinusoïdales. Elles accusent un pic très marqué, ce qui peut nous inciter à penser que la durée des périodes caniculaires serait bien plus courte que celles de froid.

Si on adopte, après Candace Gossen, une périodicité de 719 ans pour le climat de l'île de Pâques, et si T est l'année considérée comme la plus froide du petit âge glaciaire, l'année la plus chaude suivante devrait se manifester en T+360. Donc, si le pic de froid a eu lieu entre 1660 et 1670, le pic de chaleur devrait se produire entre 2020 et 2030 et pourrait être d'assez courte durée.

Remarque : il semble que le réchauffement le plus significatif concerne **les glaciers**. Ce n'est pas contradictoire avec l'hypothèse d'une variation de la température des couches profondes de la Terre, puisque les glaciers reposent majoritairement sur des roches granitiques ou siliceuses et que celles-ci possèdent une conductibilité thermique très supérieure à celle des roches sédimentaires, celle des plaines. De plus, ces roches étant plus lourdes, le pied des montagnes est à plus grande profondeur, ce qui, avec une conductibilité plus élevée, peut expliquer pourquoi les montagnes se réchauffent avant les plaines.

En guise de **conclusion**, on peut résumer ainsi l'argumentation de cet article :
- L'Histoire témoigne de migrations et de famines périodiques avec une récurrence de l'ordre de 800 ans ;
- Pendant le dernier millénaire, Europe, Afrique du nord et Proche Orient ont subi une période froide (fin du 17e) et deux périodes chaudes (13e et 21e siècles) ;
- Le réchauffement actuel ne date pas de l'ère de la machine à vapeur, mais de la fin du 17e siècle ;
- Des sondages dans l'île de Pâques trahissent, grâce aux pollens recueillis, une alternance du climat avec une une périodicité de 720 ans ;
- La planète Mars ne semble pas affectée par l'effet de serre, malgré une atmosphère de CO_2 15 fois supérieure à celle de la Terre ;
- Selon les études sur les glaces de l'Antarctique, les variations de température précèdent celles de la concentration en CO_2 ;
- Il est *très probable* que le noyau terrestre recèle des éléments fissiles en grande quantité et *possible* qu'une réaction en chaîne s'y déroule cycliquement, augmentant d'abord la température du noyau, puis celle des montagnes et des glaciers, ensuite celle de la mer, provoquant la relâche du CO_2 et l'élévation de la température de l'atmosphère.

Ceci n'est qu'une hypothèse, soumise à nos lecteurs.

La méthode décrite page 3 pour calculer l'effet de serre est bien trop simpliste, puisqu'elle revient à considérer l'atmosphère comme un bloc rigide et inerte (du verre), alors que c'est un fluide inhomogène, chauffé à sa base et transportant de la chaleur vers l'espace. Cependant, les *modèles* récents, dits *à couches*, plus proches de la réalité, n'expliquent pas l'alternance du climat.

Réserves

Même si nous admettons que le climat actuel ne soit pas forcément gouverné par la consommation excessive de produits carbonés et l'excès de CO_2 qui en résulte, il n'en reste pas moins que nous jugeons néfaste cet excès de consommation, mais pour des raisons différentes. En effet, les produits pétroliers sont en majorité extraits dans des pays antidémocratiques, instables et même parfois complices du terrorisme. Ce serait une première raison pour limiter fortement la consommation de produits qui entretiennent l'instabilité du Monde.

Une seconde raison, encore plus importante, réside dans la nécessité pour l'humanité de ménager une ressource que la nature a mis des millions d'années à élaborer et qu'il serait injuste envers nos descendants de consommer en à peine deux siècles.

Il faudrait donc utiliser des énergies moins nuisantes, telles celles d'origines solaire et nucléaire, les premières faciles à domestiquer, mais trop aléatoires et difficiles à emmagasiner. L'énergie nucléaire, surtout si ses réacteurs deviennent modulables, pourrait garantir pendant des siècles la couverture de nos besoins en énergie.

Le nucléaire présente quelques dangers, comme celui d'une énorme libération de radioactivité dans le cas où un réacteur vient à être détruit, volontairement (terrorisme, guerre) ou involontairement (mauvaise gestion, catastrophe naturelle). Des modèles récents de réacteurs, ainsi qu'une supervision coercitive à l'échelle internationale, devraient conduire à diminuer notablement ce risque.

L'autre souci lié à l'énergie nucléaire réside dans sa production de déchets et de déchets restant dangereux pendant de longues durées. A notre avis, ce problème n'est pas assez étudié ; ces déchets pourraient être désactivés ou réutilisés si l'on consacrait plus d'efforts à la recherche fondamentale dans ce domaine.

En ce qui concerne l'énergie solaire qui, bien que peu coûteuse, a pour inconvénient d'être peu dense, aléatoire et mal distribuée. Il faudrait parvenir à la concentrer pour pouvoir en disposer là et quand l'emploi s'en fait sentir. Une bonne solution consisterait à transformer, comme l'a fait la nature il y a des millions d'années, sous l'effet de la lumière du soleil, le CO_2 atmosphérique en un corps chimique stable, liquide à température ordinaire, par exemple un alcane tel que l'hexane ou même un alcool ou un acide pouvant être produit dans des pays très ensoleillés, puis distribué par les réseaux actuels de carburants. Les opposants au carbone ne devraient pas y trouver d'objection puisque son cycle serait neutre.
L'acide formique est déjà bien étudié en ce sens, en particulier à l'EPSL (Lausane), mais il présente (encore?) beaucoup d'inconvénients.

Là encore, la synthèse de ces carburants à partir du soleil devrait faire l'objet de bien plus d'études fondamentales qu'à l'heure actuelle, quitte à en abandonner d'autres, plus spectaculaires, mais moins urgentes.

Pour finir, nous suggérons d'autres moyens qui, à court terme, pourraient être mis en œuvre pour réduire la consommation des carburants, comme une meilleure gestion de la route et de ses obstacles artificiels ou celle des réseaux informatiques. Il y a beaucoup d'abus dans l'emploi de l'informatique, surtout avec Internet. En particulier, l'emploi généralisé actuel du langage Html pour la messagerie est une **aberration** inutile et très coûteuse en électricité.

Autre aberration : le *phasage* actuel des *feux* de carrefour dans les banlieues est loin d'être rationnel et conduit à un énorme gaspillage de carburant, de temps et à un surplus de pollution. Plutôt que de s'évertuer à insérer de l'intelligence artificielle dans la conduite des véhicules individuels, il serait bien plus simple et bien plus rentable de doter les feux de carrefour d'un minimum de cette intelligence artificielle dont on parle tant.

P. Blanc, janvier 2023, rév. août 2023

---

[8]. **Candace Gossen**. The paleoecology of Rano Kao and the environmental dynamics on Rapa Nui the last 15,000 years. (Proceedings of the 9th international conference on Easter Island and the Pacific, Berlin, Germany 2015).