Sources

L'évolution du monde

Svante Arrhenius

Présentation

Le premier domaine de l'approche globale de la biosphère qui ait reçu un traitement analytique est celui de sa régulation thermique par l'effet de serre. Le physicien Joseph Fourier est le premier à avoir établi les équations d'un phénomène irréversible, l'écoulement de la chaleur. Il aborde en 1824, dans son Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, la question des températures terrestres, l'une des plus importantes de toute la philosophie naturelle ; « Cette question, écrit-il, m'a toujours paru un des plus grands sujets des études cosmologiques ».

Mais il revient au Suédois Svante Arrhenius d'établir définitivement la théorie de la « serre chaude » dans son livre publié en 1906 sous le titre *L'évolution des mondes*. Svante Arrhenius invoque les grandes variations passées de la température du globe, démontre le rôle de la vapeur d'eau dans l'absorption des radiations terrestres de grande longueur d'onde. Il s'interroge sur l'augmentation de température qui pourrait résulter de l'accroissement de la teneur atmosphérique en gaz carbonique en raison de la croissance rapide de la consommation de houille, avec néanmoins une conclusion très optimiste. Il pense en effet qu'avec l'augmentation du taux de gaz carbonique dans l'air qui en résulterait, il nous serait permis d'espérer des périodes « qui offriront au genre humain […] des conditions climatériques plus douces » avec notamment des récoltes plus abondantes permettant de faire face à l'augmentation de la population.

La perspective est aujourd'hui très différente de celle imaginée par Svante Arrhenius. À l'effet de serre naturel qui maintient la Terre aux environs de 15 °C s'ajoute un effet de serre dû aux activités humaines. Ce dernier risque d'entraîner un réchauffement dont on sait maintenant que les conséquences peuvent être tragiques à l'échelle de la planète. En ce sens, même si les analyses récentes contredisent l'optimisme du scientifique suédois, la lecture de ses textes garde tout son intérêt historique.

Jean-Paul Deléage

L'évolution des mondes (extraits) [1]

Fourier, le grand physicien français, admettait déjà (vers 1800) que notre atmosphère exerce un puissant effet protecteur contre la perte de chaleur par rayonnement. Ses idées furent plus tard développées par Pouillet et par Tyndall. Leur théorie porte le nom de la théorie de la serre chaude, parce que ces physiciens admirent que notre atmosphère joue le même rôle que le vitrage d'une serre. Le verre possède en effet cette propriété de laisser passer la chaleur que nous appelons lumineuse, c'est-à-dire celle qui est perceptible à nos yeux. La chaleur obscure, au contraire, celle que nous envoie un poêle ou une masse terrestre chaude, n'est pas susceptible de le traverser. La chaleur solaire est en majeure partie lumineuse, et le verre lui est transparent ; elle peut entrer dans une serre et y échauffer le sol. Mais celui-ci à son tour n'émet que des rayons obscurs qui ne peuvent traverser le vitrage. Celui-ci protège donc l'intérieur de la serre à peu près comme un pardessus empêche la perte de chaleur, par rayonnement, de notre corps. On connaît l'expérience de Langley. Il prit une caisse, protégée contre le rayonnement par une enveloppe de coton, mais qui, du côté exposé au soleil, avait une face munie d'un vitrage double. Il constata à l'intérieur de la caisse, lorsque le soleil y donnait, une température de 113 degrés, tandis que placée à l'ombre, le thermomètre n'y marquait que 14 à 15 degrés. Cet essai fut fait sur la montagne de Pike's Peak, dans l'État du Colorado, qui a 4 200 mètres d'élévation. Il eut lieu le 9 septembre 1881 à 1 heure 40 minutes de l'après-midi, au moment où les rayons du soleil étaient d'une pénétration puissante.

Fourier et Pouillet admettaient donc que la ceinture atmosphérique que possède la Terre a des propriétés qui se rapprochent de celles du verre, au point de vue de la perméabilité pour la chaleur. Cela fut reconnu exact par Tyndall. Les éléments de l'atmosphère qui sont causes de ce fait sont la vapeur d'eau et l'acide carbonique, qui l'un et l'autre n'existent qu'en faible partie dans l'air. L'ozone, les carbures d'hydrogène, produisent un effet analogue. Ces corps s'y trouvent cependant en si faible quantité qu'on n'en a pas encore tenu compte dans le calcul. Mais on a, ces temps derniers, fait des expériences très minutieuses sur la perméabilité à la chaleur, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. À leur aide j'ai pu calculer que si l'acide carbonique disparaissait en entier de notre atmosphère, dont il n'occupe que les trois-dix millièmes en volume, la température du sol diminuerait de 21 degrés.

L'effet de cet abaissement serait que la quantité de vapeur d'eau diminuerait à son tour. Il en résulterait un nouvel abaissement de la tempé-

[1] Svante Arrhenius, *L'évolution des mondes* (traduction française T. Seyrig), Ch. Béranger éditeur, Paris, 1910, 246 p.

rature presque aussi grand. On voit par cet exemple comment de très faibles changements dans la composition de l'air atmosphérique peuvent avoir des conséquences considérables. La disparition de la moitié de l'acide carbonique existant causerait un refroidissement d'environ 4 degrés ; la diminution jusqu'au quart de la proportion actuelle nous ferait perdre 8 degrés. L'acide carbonique doublerait-il en quantité, que nous gagnerions 4 degrés ; il devrait augmenter de quatre fois son volume actuel pour gagner 8 degrés. En même temps sa diminution accentuerait les différences de chaleur et de climat des différentes parties du globe ; son augmentation égaliserait au contraire la température.

On peut se demander si des variations caloriques de cette nature se sont produites sur la Terre. Les géologues nous disent que oui. Nos temps historiques ont été précédés par une époque où la température devait être d'environ 2 degrés plus forte que maintenant. On peut le conclure d'après la zone d'habitat du noisetier, et aussi de la macre ou châtaigne d'eau (*Trapa natans*). On trouve des fruits fossiles de ces deux plantes dans des régions où, aujourd'hui, elles ne pourraient plus vivre, le climat étant devenu moins favorable. Avant l'époque dont nous parlons, il y eut une période glaciaire, qui a chassé tous les habitants du nord de l'Europe de leur habitat. On a recueilli beaucoup d'indices qui semblent prouver que cette période glaciaire a été multiple, ses fractions ayant été entremêlées de périodes où les climats s'adoucirent et qu'on appelle interglaciaires.

On a cherché à évaluer la durée des périodes ainsi caractérisées par un développement des glaces. Des observations faites sur l'extension des glaciers dans les Alpes, ont fait voir que la température devait être de 5 degrés environ inférieure à celle d'aujourd'hui. La durée de cet état de choses a été estimée par les géologues à 100 000 ans au moins.

Antérieurement encore à cette époque, la surface du globe a dû passer par une période plus chaude d'environ 8 à 9 degrés au-dessus de la température moyenne actuelle. On peut le déduire de l'examen des plantes fossiles de l'époque dont nous parlons, qui est la période éocène. En même temps il devait régner sur la Terre une uniformité de chaleur beaucoup plus grande.

Enfin les temps plus anciens encore semblent avoir présenté plusieurs variations du même genre.

Peut-on admettre que c'est à la suite de différences dans le contenu de l'atmosphère en acide carbonique, que ces changements de température se sont produits ? Högbom et après lui Stevenson ont répondu que oui. L'acide carbonique forme une fraction si peu importante de l'atmosphère que même la consommation industrielle du charbon semble pouvoir y influer. La consommation annuelle de houille a atteint en 1907 environ 1 200 millions de tonnes [2] et elle augmente rapidement. Cette

[2] La consommation mondiale de la houille a été, en millions de tonnes, de 510 en 1890, de 550 en 1894, de 690 en 1899, de 890 en 1904, et de 1 209 en 1907. Une partie du charbon brûlé dans nos fourneaux passe dans l'atmosphère avec les gaz produits par la combustion, mais sous forme de suie. On croyait autrefois que cette fine poussière de carbone était dès lors perdue pour l'économie vitale de la nature, car le carbone est extrêmement résistant à tous les agents chimiques, tant que la température reste basse. On a cependant reconnu dans les temps récents, que certaines bactéries connues sous le nom de diplocoques, attaquent ces fines poussières charbonneuses. Elles les transforment en acide carbonique, qui se répand dans l'atmosphère, ou qui devient un agent de désagrégation.

quantité répand dans l'air environ 1/500e de sa teneur totale en acide carbonique. Bien que l'océan, en absorbant ce gaz, agît comme un puissant régulateur, qui dissout environ les cinq-sixièmes de celui produit, on peut concevoir que la très faible quantité répandue dans l'atmosphère puisse être modifiée, dans le cours des siècles, par la production industrielle. On comprend aussi qu'il n'existe pas une fixité bien absolue à cette teneur atmosphérique, et que vraisemblablement elle a été soumise à de notables variations dans le cours des âges.

La source principale qui fournit à l'air son acide carbonique, ce sont les volcans. Les cratères vomissent des quantités énormes de gaz qui proviennent de l'intérieur du globe, et qui sont constitués principalement par la vapeur d'eau et par l'acide carbonique. Ces gaz sont libérés par suite du lent refroidissement des silicates, existants à l'intérieur de notre Terre. Les éruptions volcaniques ont eu une intensité très variable pendant les diverses phases de l'existence du globe. On peut admettre, avec une grande vraisemblance, qu'il y eut des périodes de très grande activité volcanique, pendant lesquelles l'abondance d'acide carbonique était beaucoup plus grande dans l'air. D'autres périodes plus calmes en ont répandu moins. M. Frech, professeur de géologie à Breslau, a essayé de prouver que ces faits trouvaient leur confirmation dans les découvertes de la géologie, en ce que des époques connues pour le développement du volcanisme avaient un climat généralement chaud, et que les époques de moins grande activité des volcans étaient froides. La période glaciaire, notamment, correspond à la disparition presque complète de l'activité volcanique. Par contre, les deux périodes du commencement et du milieu de l'époque tertiaire (éocène et miocène), qui sont reconnues comme ayant eu un climat à température très élevée, sont caractérisées comme des périodes de très grande activité volcanique. Ces mêmes concordances peuvent être constatées encore pour des âges géologiques beaucoup plus anciens.

On pourrait s'étonner de ce que la teneur de l'atmosphère en acide carbonique n'augmente pas d'une façon continue, étant donné que les volcans en jettent sans cesse des volumes énormes dans l'air. C'est qu'il existe une cause qui en absorbe de même des quantités considérables, savoir la décomposition des minéraux de la croûte terrestre.

Les espèces minérales qui arrivèrent à la surface du globe après le premier durcissement des masses fondues, de ce qu'on a appelé le magma, étaient des combinaisons de silice avec l'alumine, la chaux, la magnésie, avec un peu de fer et de soude. Ces minéraux ont peu à peu subi l'attaque de l'acide carbonique de l'air et de l'eau contenant ce même acide en dissolution. La chaux, la magnésie et les sels alcalins, puis, à un moindre degré, le fer, ont formé des carbonates solubles qui ont été entraî-

nés par les fleuves dans l'océan. Là, les êtres vivants, animaux ou algues, se sont emparés de ces combinaisons de chaux et de magnésie. Ils les ont assimilées et les ont laissées dans leurs résidus, en sorte que l'acide carbonique s'est déposé sans cesse dans les couches sédimentaires. Högbom a calculé que les calcaires et les dolomies du globe contiennent environ 25 000 fois plus d'acide carbonique que n'en contient l'atmosphère. Chamberlin arrive à un résultat analogue – de 20 000 à 30 000 fois –, mais dans son calcul il néglige les couches précambriennes. Ces estimations sont probablement encore bien trop faibles.

Tout l'acide carbonique qui se trouve aujourd'hui accumulé dans les couches sédimentaires a passé par l'état gazeux dans l'atmosphère. Un processus différent, par lequel il est absorbé, est l'assimilation qu'en font les plantes terrestres. Elles forment à son aide, en l'absorbant, des combinaisons de carbone, et rendent à la circulation de l'oxygène.

Tout comme l'attaque des minéraux, l'assimilation par les plantes est intensifiée par l'augmentation du pourcentage atmosphérique en acide carbonique. E. Godlewski, le botaniste polonais, a démontré déjà en 1872 que certaines plantes absorbent par unité de temps une quantité de ce gaz qui est tout d'abord proportionnelle à la teneur atmosphérique. Telles sont les *Typha latifolia* (ou massette) et la *Glyceria spectabilis* (autre plante des marais) Quand l'air dans lequel elles vivent arrive à contenir 6 p. 100 d'acide carbonique pour la première, 9 p. 100 pour la seconde, elles en assimilent un maximum. Dans une atmosphère plus chargée leur pouvoir assimilant régresse. Mais jusque-là, leur pouvoir absorbant est proportionnel à la teneur. Si, en même temps, la température s'élève, par exemple de 4 degrés, la vitalité de la plante augmentera de 1 à 1,5 p. 100, de sorte qu'un doublement de l'acide carbonique de l'air, joint à une augmentation de température, entraînerait par suite de la combinaison des deux causes distinctes, une majoration dans l'absorption, dans la proportion de 1 à 3.

Il en est à peu près de même pour l'attaque des substances minérales par l'acide carbonique. Son doublement triplera à peu près l'intensité des échanges aussi bien dans le monde végétal que dans le monde inorganique.

Considérons la production de la matière végétale par le sol qui la nourrit. Liebig s'est occupé de l'estimation de cette production par les champs, par les prairies et par la forêt. Il est arrivé à cette conclusion, qu'en moyenne, un hectare de surfaces de ce genre produit annuellement 2 500 kilogrammes de matière organique sèche. Ce chiffre s'applique à l'Europe centrale, de climat moyen. En beaucoup de points du globe la production est bien plus forte, sous les tropiques par exemple. Ailleurs elle est moins grande, dans les déserts comme dans les régions arctiques.

On peut, sans erreur grossière, prendre le chiffre de Liebig comme une moyenne pour la surface de la Terre, déduction faite des océans.

Dans les matières végétales ainsi produites, qui consistent principalement en cellulose, le carbone représente environ 40 p. 100 de leur poids. On en déduit facilement que la production annuelle de carbone par la végétation, à la surface de notre globe, est d'environ 13 000 millions de tonnes Cela représente près de dix fois la consommation annuelle de houille que nous faisons. C'est un cinquantième de la quantité totale de l'acide carbonique de l'atmosphère. Si donc toutes les plantes existantes étaient déposées dans des tourbières, l'air serait bientôt privé de tout son acide carbonique. Mais une fraction seulement de tout ce produit de la végétation est mise en réserve pour l'avenir. La majeure partie, et de beaucoup, retourne dans l'atmosphère par suite de combustion, de décomposition, de pourriture, etc.

Chamberlin raconte qu'il s'était posé, de concert avec cinq autres géologues américains, le problème de déterminer combien il faudrait de temps pour absorber, par la décomposition des roches, l'acide carbonique de l'atmosphère. Des procédés divers les conduisirent à des chiffres qui variaient de 5 000 à 18 000 années, avec une moyenne assez probable de 10 000 années. On peut admettre que la formation des tourbières demande une durée à peu près égale à celle prise par la décomposition des minéraux. L'ensemble des deux causes n'absorberait donc que le dixième environ de l'acide carbonique fourni par la combustion du charbon fossile à l'atmosphère dès aujourd'hui.

Or les deux causes d'absorption que nous venons d'indiquer sont les plus importantes qui, actuellement, produisent encore leurs effets. Il semble donc que la teneur en acide carbonique de l'air doive augmenter constamment et d'une façon assez sensible, par la consommation industrielle toujours croissante de la houille, du pétrole, etc., telle que la statistique nous l'indique. Cette progression augmentera encore avec l'emploi toujours croissant des combustibles minéraux.

La quantité totale d'acide carbonique qui se trouve emmagasinée dans les calcaires et les dolomies sédimentaires, est environ vingt-cinq mille fois celle qui actuellement existe dans l'atmosphère. Elle a passé tout entière par l'air à l'état gazeux. Comme il faut environ 10 000 années pour que la désagrégation des roches absorbe une quantité équivalente à celle qui existe, si l'on suppose que cette désagrégation s'est toujours faite avec une égale intensité, on arrive à attribuer une durée de 250 millions d'années au dépôt des sédiments qui contiennent de l'acide carbonique. Comme on le voit, cette estimation concorde très bien avec celle faite plus haut sur d'autres bases.

Ce qui précède nous permet de nous rendre compte dans une certaine mesure, de l'énorme développement qu'avait pris, à certaines époques géologiques, la végétation du globe, notamment pendant l'ère carbonifère.

Cette ère nous est connue par la masse énorme de restes végétaux qui se sont trouvés enfouis dans les marais argileux, pour s'y carboniser lentement, et qui maintenant, par le fait de leur exploitation, restituent à sa condition primitive, par la combustion, l'acide carbonique qui les a formés. Une proportion notable de ce corps, contenu dans l'atmosphère, avait disparu et s'était déposée dans le sein de la Terre à l'état de charbon, de lignite, de tourbe, de pétrole ou d'asphalte. L'oxygène qui en faisait partie intégrante avait été libéré et restait à l'état gazeux. On a pu faire l'estimation de cet oxygène encore contenu dans l'air. On l'a évalué à 1 216 billions de tonnes. Et on a reconnu que cette quantité correspond approximativement à la quantité de carbone qui se trouve fixé, solidifié, dans les couches sédimentaires.

De là à conclure que tout l'oxygène de l'air a été produit aux dépens de l'acide carbonique de l'atmosphère il n'y a qu'un pas. Cette idée a été énoncée pour la première fois en 1856, par Koene, de Bruxelles. Elle a été l'objet de vives discussions et elle a gagné en vraisemblance. Il est vrai qu'une certaine quantité d'oxygène a certainement dû disparaître dans la décomposition des minéraux, par exemple dans l'oxydation des pyrites et des sels de protoxyde de fer. Sans cela la teneur en oxygène de l'air serait plus grande encore. Mais d'un autre côté il existe dans les dépôts sédimentaires un nombre considérable de corps désoxydés. Les pyrites même se sont parfois reconstituées, par exemple, par l'intermédiaire du carbone, sous forme de matières organiques. Un nombre considérable de corps se sont décomposés primitivement sous l'influence d'un procédé oxydant, qui devait son oxygène à une décomposition végétale de l'acide carbonique. Ils n'ont donc fait que retourner, par l'oxydation, à leur forme primitive. Il nous suffit de pouvoir constater que l'oxygène de l'air correspond environ à la quantité de carbone déposée dans les couches sédimentaires. I1 y a par conséquent probabilité que tout l'oxygène libre est dû à la vie végétative.

Une autre raison encore nous conduit à la même conclusion. Nous savons de source certaine, qu'il existe, dans l'atmosphère solaire, de l'oxygène libre, mais que toutefois l'hydrogène s'y trouve en quantités prépondérantes. M. Slipher, astronome de l'observatoire de Lowell, dans l'État d'Arizona, a constaté l'existence de grandes quantités d'hydrogène dans les atmosphères des planètes les plus éloignées du Soleil, Neptune et Uranus. À l'origine des choses, l'atmosphère terrestre était sans doute de composition analogue, et par suite du refroidissement graduel, ces deux gaz se sont combinés pour former de l'eau, une certaine

quantité d'hydrogène restant en excès. Il est possible que la première atmosphère terrestre ait contenu aussi des carbures d'hydrogène, car ces gaz existent dans les masses gazeuses des comètes. L'intérieur du globe expulsait, et joignait aux gaz sus-indiqués de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. L'azote, en vertu de sa grande inertie chimique, s'est vraisemblablement maintenu à peu près tel quel. Or, un chimiste anglais, Phipson a cru démontrer que des plantes d'organisation supérieure aussi bien qu'inférieure (la gesse des champs et certaines bactéries) peuvent vivre et se développer dans une atmosphère privée de tout oxygène mais contenant de l'acide carbonique et de l'hydrogène. Il serait donc possible qu'il y eut déjà sur la Terre, certains organismes végétaux, avant que l'air ne contint de l'oxygène. Ces plantes ont dû extraire ce gaz des produits carboniques provenant des volcans. À son tour cet oxygène a dû transformer, peut-être sous l'influence de décharges électriques, l'hydrogène et ses carbures en eau et en acide carbonique. Cette transformation a pu se continuer ainsi jusqu'à ce que l'oxygène subsistât presque seul, à peu près conformément à la composition actuelle de l'air[3].

Cet oxygène est d'une nécessité absolue pour l'existence de la vie animale. Nous considérons les animaux comme plus élevés que les plantes dans l'échelle des êtres vivants : ils ont de même apparu sur la Terre à une époque plus récente. Les végétaux n'ont besoin pour vivre que d'une température appropriée, d'acide carbonique et d'eau. Ces gaz existent vraisemblablement dans l'atmosphère de toutes les planètes, attendu qu'ils sont les produits de dissociation de leurs masses incandescentes, soumises à un lent refroidissement. Le spectroscope a prouvé qu'il existe effectivement encore de l'hydrogène dans l'atmosphère d'autres planètes que la nôtre : Vénus, Jupiter et Saturne. Cela est démontré indirectement aussi pour Mars[4]. M. Slipher a fait, en 1908, des mesures de l'intensité de certaines bandes d'absorption qui sont caractéristiques de la vapeur d'eau, et qui existent dans la lumière réfléchie par la planète Mars. La lumière réfléchie par la Lune servait d'élément de comparaison. J'ai soumis au calcul le résultat de ces mesures, et j'ai trouvé que l'air de Mars, dans le voisinage de son équateur, doit contenir environ 2,14 gr. d'eau en vapeur, par mètre cube. Les régions équatoriales de cette planète ont sans doute, à un très haut degré, un climat continental, analogue approximativement à celui de Salt-Lake City (Utah), en été, où l'humidité relative n'est que de 33 p. 100. Au point auquel se rapporte l'observation faite sur Mars, la température serait d'environ 5 °C. On l'avait précédemment évaluée à 10 degrés à l'équateur et zéro degré aux pôles, en été, à cause de la disparition, observée parfois, des glaces polaires, ainsi qu'il a été indiqué déjà plus haut.

[3] D'après un de mes collègues, botaniste, les résultats des expériences de Phipson seraient très douteux, et il faudrait, selon lui, toujours une certaine quantité d'oxygène pour que la vie végétale puisse exister. On pourrait alors se représenter comme suit ce qui s'est passé. Lors de la séparation entre la masse terrestre et le brouillard solaire la partie périphérique de notre planète se trouvait à une température très élevée. Elle ne pouvait retenir des gaz ultra-légers comme l'hydrogène et l'hélium. Par contre, des gaz denses comme l'oxygène et l'azote, s'y trouvaient retenus. L'excèdent primaire d'hydrogène, comme l'hélium, disparurent avant que la croûte du globe pût se former. Lorsque cette croûte se fut constituée il restait donc une masse principale d'azote, une proportion faible d'oxygène, puis de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. À partir de ce moment, le monde végétal puisant dans la masse d'acide carbonique, produisit à nouveau de l'oxygène, et il se forma ainsi la quantité actuellement existante d'oxygène libre.

C'est à Johnstone Stoney que nous devons l'hypothèse que les corps célestes perdent peu à peu leur enveloppe atmosphérique. Ces gaz s'en vont d'autant plus rapidement que leurs molécules sont plus légères, et que la masse du corps lui-même est plus faible. Cela expliquerait pourquoi les petits globes, tels que la Lune et Mercure, ont perdu à peu près totalement leur atmosphère. La Terre, par contre, n'a perdu que l'hydrogène et l'hélium, qui subsistent encore dans le Soleil.

[4] Par l'existence de la neige.

La spectroscopie a fourni encore des indices de l'existence d'autres gaz, par exemple pour Jupiter et Saturne. On remarque en effet une raie intense dans la partie rouge du spectre de ces planètes (de 0,000618 mm. de longueur d'onde). D'autres composés, de nature encore inconnue, ainsi que beaucoup d'hydrogène, selon Slipher, ont été trouvés dans les spectres d'Uranus et de Neptune. Par contre la Lune et Mercure n'ont aucune atmosphère, ou tout au plus y en a-t-il une absolument insignifiante.

Ces faits sont aisés à expliquer. À la surface de Mercure, le côté opposé au Soleil est à une température très voisine du zéro absolu. Tous les gaz de l'atmosphère de ce corps doivent s'y réunir et s'y condenser. Si donc Mercure a eu primitivement une véritable atmosphère il doit l'avoir perdue lorsqu'il a cessé d'avoir une rotation propre, pour tourner perpétuellement vers le Ssoleil une même face. Des arguments analogues peuvent s'appliquer à notre satellite, pour rendre compte de l'absence d'atmosphère.

Si, comme le soutiennent un grand nombre d'astronomes, Vénus tournait toujours, comme Mercure, un même hémisphère vers le Soleil, elle ne pourrait avoir aucune atmosphère, ni aucun nuage flottant. Or nous savons que cette planète a au contraire une atmosphère très importante[5]. Ce fait constitue l'argument le plus puissant contre l'hypothèse que Vénus se comporte comme Mercure au point de vue de la rotation autour de son axe.

Les époques chaudes et les époques glaciaires ont alterné sur notre globe depuis que l'homme y a fait son apparition.

La question s'impose donc : est-il probable que dans les prochaines époques géologiques, nous soyons menacés d'une nouvelle période glaciaire ? Il ne semble pas que cela soit à craindre. La consommation du charbon pour des besoins industriels est de nature à augmenter sensiblement la teneur de l'air en acide carbonique. En outre, il semble que le volcanisme, dont les méfaits ont été particulièrement violents dans les temps récents – on se souvient des éruptions de Krakatoa en 1883 et de la Montagne Pelée en 1902 –, soit encore en progrès. Il semble donc probable que l'acide carbonique augmente plutôt, et même assez rapidement, dans l'air. Nous en avons un indice dans ce fait que l'océan semble absorber de l'acide carbonique de l'air, car dans son voisinage la teneur de l'air de ce gaz est d'environ 10 p. 100 plus faible qu'à l'intérieur des continents.

Si en effet la proportion d'acide carbonique de l'air était depuis longtemps constante, l'eau qui en tient en dissolution devrait avoir mis en équilibre celui qui est dissous avec celui qui est libre. Si, au contraire, la mer continue à absorber l'acide carbonique de l'air, cela indique que l'é-

[5] Cela est prouvé par la très forte réfraction qui se produit à sa surface quand cette planète passe devant le Soleil lors du phénomène connu sous le nom de passage de Vénus.

quilibre s'est trouvé précédemment établi avec une atmosphère qui en contenait moins qu'aujourd'hui. Il faudrait donc en conclure que la proportion de ce gaz est en voie d'augmentation dans l'océan atmosphérique.

On entend souvent exprimer des craintes parce que les réserves de houille existant sur notre globe sont attaquées et consommées par la civilisation actuelle, sans qu'on ait aucune prévoyance ni égards pour l'avenir. On s'effraie en même temps des énormes pertes de vies et de biens qui sont la conséquence des phénomènes volcaniques de nos jours. Peut-être trouvera-t-on qu'il convient de se rasséréner en se rappelant qu'il n'y a ici, comme souvent, qu'un dommage d'un côté pour un bien de l'autre. Par suite de l'augmentation de l'acide carbonique dans l'air, il nous est permis d'espérer des périodes qui offriront au genre humain des températures plus égales et des conditions climatériques plus douces. Cela se réalisera sans doute dans les régions les plus froides de notre Terre. Ces périodes permettront au sol de produire des récoltes considérablement plus fortes qu'aujourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapidement que jamais.