

MARSDEN-MANSON et T.-C. CHAMBERLIN. — L'évolution des climats
et les périodes glaciaires (1).

Parmi les nombreuses questions qui intéressent à la fois les naturalistes, les astronomes et tous les esprits curieux, celle des modifications climatériques à travers les âges et du refroidissement général du globe à l'époque glaciaire est une des plus obscures. Les savants anglais et américains se sont particulièrement attachés à cette question et ont imaginé de nombreuses théories pour la résoudre.

L'une des plus simples a été développée récemment par M. Marsden Manson. Après avoir constaté l'échec de toutes les théories proposées, il en conclut que des fautes de raisonnement ont été commises, et, très sagement, il revient aux données fondamentales, définitivement acquises. La Terre était probablement, à l'origine, une masse fluide dont la température était supérieure à 400°. L'eau et quelques autres substances étaient volatilisées et formaient tout autour du globe une épaisse enveloppe gazeuse. On admet généralement que la chaleur initiale de la Terre a progressivement diminué. On admet aussi que deux sources de chaleur, la chaleur interne et la chaleur solaire, ont influencé les climats. A l'origine, la première source intervenait seule, car la chaleur solaire ne pouvait pas traverser l'épaisse atmosphère qui protégeait la Terre; aujourd'hui, la seconde source est à peu près exclusivement seule active. On pourra donc envisager deux phases climatériques, séparées par une période de transition qui, d'après l'auteur, coïnciderait avec l'époque glaciaire. M. M. Manson s'efforce d'abord de résoudre le problème suivant : Étant donné un globe constitué comme l'était la Terre, avec une température initiale supérieure à 400°, prouver qu'avant de passer sous la dépendance de la

(1) MARSDEN MANSON, *The Evolution of Climates*. (THE AMERICAN GEOLOGIST, vol. XXIV, 1899, 92 pages, 1 carte.)

T. C. CHAMBERLIN, *On attempt to frame a working hypothesis of the cause of glacial periods on an atmospheric basis*. (JOURNAL OF GEOLOGY, vol. VII, nos 6, 7 et 8. Chicago, 1899.)

chaleur solaire : 1° les changements de climats sont indépendants de la latitude; 2° que les régions continentales peuvent avoir des glaciers. Il est bien évident que si l'on admet une seule source de chaleur efficace pendant la première phase de l'évolution de la Terre, on doit aussi admettre que les climats étaient indépendants de la latitude et ne pouvaient varier qu'avec l'altitude, les surfaces isothermes de l'atmosphère étant rigoureusement parallèles à la surface terrestre. Rien ne s'opposait d'ailleurs à l'établissement des glaciers dans les régions montagneuses, à une altitude correspondant sensiblement à l'isotherme de 0°. Cette isotherme se trouvait certainement à l'intérieur de la zone d'action de la Terre, le Soleil étant incapable de maintenir une pareille température dans un milieu raréfié. Au delà de l'isotherme 0° se trouvaient d'autres surfaces, à la température décroissante, dont les plus externes étaient sous la dépendance exclusive du Soleil, ce qui implique l'existence d'une zone neutre soustraite à la fois à l'action de la Terre et à celle du Soleil. Donc, pendant toute cette période, les climats ont été uniformes à la surface de la Terre et, le refroidissement continu provoquant l'abaissement successif des isothermes, ces climats avaient des températures graduellement décroissantes. L'ère paléozoïque représentant la période des climats extratorrides, l'ère secondaire celle des climats tropicaux, l'ère tertiaire aurait d'abord joui de climats tempérés chauds, puis de climats à température décroissante jusqu'à la fin du Pliocène. Jusqu'à cette époque, l'identité de faune et de flore sur toute la surface du globe peut être considérée comme sensiblement exacte, les variations dans la flore pouvant tenir simplement à des différences d'altitude.

A la fin du Pliocène, l'isotherme de 0° s'abaissa sur la Terre et, comme elle était sous la seule dépendance de la chaleur interne, tous les points de la surface furent atteints en même temps. La glaciation universellement constatée sur la surface du globe se trouve ainsi expliquée. A partir de ce moment, les isothermes exclusivement régies par le Soleil s'abaissent sur la Terre; leur forme étant sphérique, ce sont les régions tropicales qui sont atteintes tout d'abord. Or ces isothermes ont une température supérieure à 0°, car les rayons calorifiques du Soleil sont capturés et absorbés par l'atmosphère; leur action se manifesterait donc par une élévation de température dans la zone tropicale et la disparition des glaciers qui la couvraient. L'échauffement par le Soleil continuant, l'invasion glaciaire recule de plus en plus vers les pôles. C'est encore à cette période de régression générale des glaciers que se trouve la Terre.

L'auteur fait remarquer que les océans ont gardé plus longtemps, par suite de la grande chaleur spécifique de l'eau, la provision de chaleur emmagasinée dans leur masse, et ne sont arrivés à la température de 0° que bien après les continents. Lorsque les mers se furent refroidies jusqu'à un point voisin de leur maximum de densité, à un moment déterminé par l'universelle extension des faunes marines froides, l'évaporation s'arrêta et l'alimentation des glaciers se trouva insuffisante, ce qui accéléra encore leur régression. Le fond de l'Océan, s'étant refroidi plus tard que les continents, a subi aussi plus tardivement la contraction qui détermine les plissements et les fractures de l'écorce. La grande chaleur spécifique de l'eau nous explique la localisation actuelle de ces phénomènes orogéniques dans les zones océaniques, la température plus basse sur les côtes de l'immense masse d'eau du Pacifique et la plus grande extension ou plutôt la régression plus lente des glaciers antarctiques. L'atmosphère, purgée d'une grande partie de ses vapeurs par la glaciation, retient, par suite de son pouvoir absorbant, une proportion de plus en plus forte de chaleur solaire qui réchauffe graduellement l'atmosphère et les couches superficielles de l'écorce terrestre. Il en résulte un relèvement progressif de la température. Les phénomènes orogéniques considérables qui se sont produits pendant le Quaternaire ont pu libérer des quantités assez considérables de chaleur interne pour provoquer ces périodes interglaciaires à climat doux, qui ont été observées d'une façon si générale. Des causes particulières, locales, ont pu d'ailleurs exercer une influence marquée sur le climat. Ainsi l'*Unglaciated* (ou *Driftless Area*) de l'Amérique du Nord aurait été soustraite à la glaciation générale par les vents d'est réchauffés sur l'immense coulée éruptive qui s'épanchait dans la plaine de Colombie.

Depuis le début du Quaternaire, les climats solaires qui se sont établis diffèrent des climats terrestres par leur variabilité avec la latitude et avec les saisons; en outre, l'atmosphère emmagasinerait une partie de la chaleur solaire. La Terre marcherait donc vers des climats plus doux semblables à ceux de Mars qui n'a plus de calottes glaciaires, mais seulement des neiges disparaissant chaque été. Mars, plus petite que la Terre, s'est refroidie plus vite; elle a déjà traversé la période glaciaire et, comme elle possède aussi une atmosphère absorbante, elle jouit depuis longtemps des climats solaires. La planète Jupiter, plus grosse, s'est refroidie plus lentement; elle paraît encore se trouver à la période des climats torrides, comme semble l'indiquer son épaisse enveloppe de vapeurs.

Cette théorie cosmique, très séduisante, permet d'expliquer beaucoup de faits biologiques et orogéniques du passé de la Terre.

La plus grave objection opposée aux théories qui font intervenir la chaleur centrale dans l'établissement des climats est que cette chaleur ne peut se faire sentir jusqu'à la surface par suite de la mauvaise conductibilité des roches. Cette objection n'est peut-être pas absolument décisive; ne savons-nous pas qu'à l'époque actuelle, la chaleur interne fait sentir son action jusqu'à quelques mètres seulement de la surface, dans une zone qui conserve une température constante? En dehors de cette objection d'ordre général, il semble bien que M. Manson ne tienne pas un compte suffisant de lois physiques définitivement acquises. L'épaisse atmosphère de vapeurs qu'il suppose, un peu gratuitement peut-être, pendant les temps géologiques, était certainement traversée par les rayons solaires; la Terre était éclairée, comme le prouvent notamment les flores et les yeux si développés des animaux de ces périodes; la chaleur obscure était donc captée et le Soleil exerçait son influence sur les climats bien avant le Pleistocène.

Il est en outre regrettable que l'auteur passe si rapidement sur les rémissions interglaciaires, si embarrassantes mais cependant si bien établies.

Il eût été à désirer que cette théorie fût confirmée, car elle nous fait entrevoir pour la « machine ronde » une vieillesse prolongée et fort agréable, toute différente de la morne immobilité et du froid glacial que prédisent les théoriciens pessimistes.

Une autre théorie, tout aussi optimiste dans ses conséquences, vient d'être développée par M. T. C. Chamberlin. Un chimiste suédois, M. Svante Arrhénius, reprenant la théorie de Fournier et Pouillet, qui avaient mis en évidence le pouvoir diathermane de l'atmosphère, a montré que cette absorption sélective des rayons solaires par l'atmosphère, cette capture de la chaleur obscure, comparable à celle produite par une cloche en verre, était due à l'action de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau de l'air. Grâce à ces corps, l'atmosphère laisse passer la chaleur lumineuse du Soleil, mais, par contre, absorbe presque totalement la chaleur obscure rayonnée par le sol. D'après le physicien américain Langley, la température du sol, en plein soleil, serait à 200° si l'atmosphère n'existait pas. M. Arrhénius a calculé à son tour que si la quantité d'acide carbonique était doublée ou triplée, — et cette augmentation n'aurait aucune influence fâcheuse sur les êtres vivants, — la température moyenne s'élèverait de 8° ou 9°, ce

qui donnerait un climat semblable à celui du milieu du Tertiaire; inversement, une réduction de 55 à 62 % de la proportion actuelle d'acide carbonique abaisserait la température moyenne de 4° ou 5° et amènerait une glaciation comparable à celle du Pleistocène.

M. Chamberlin, utilisant ces données, a recherché les causes qui, au cours des périodes géologiques, ont pu provoquer des variations semblables dans la composition de l'atmosphère. Il distingue des sources de gain ou de perte permanentes ou temporaires. La principale source permanente d'enrichissement en acide carbonique est la sortie continuelle de ce gaz à travers les fissures de l'écorce; ce dégagement a été sans doute beaucoup plus considérable au moment des grandes périodes de fractures. Les agents permanents d'appauvrissement sont de deux ordres: 1° la conversion des silicates des roches exposées à l'air en carbonates, cette transformation est surtout rapide pendant les périodes de régression marine; et 2° la formation des dépôts charbonneux, qui a été si active à l'époque houillère. Ces agents permanents de gain ou de perte sont d'ailleurs considérés comme agissant avec une grande lenteur, et, en général, leurs effets se compensent.

Les sources temporaires sont beaucoup plus rapides dans leur action et produisent sans doute des effets plus intenses. Les sources de perte temporaire sont: 1° la combinaison de l'acide carbonique avec les carbonates, qui sont alors dissous à l'état de bicarbonates; 2° la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau de mer; 3° sa disparition pour la formation de la matière organique. Le premier facteur est le plus important; il intervient d'une façon très active au moment des soulèvements de continents qui augmentent la surface des roches exposées aux intempéries, activent le ruissellement sur les pentes et favorisent ainsi la dissolution des carbonates. Les sources de gain temporaire comprennent: le dégagement de la moitié de l'acide carbonique des bicarbonates dissous dans l'eau de mer soit: 1° par l'action des organismes; ou 2° par dissociation; 3° le dégagement, par suite d'une élévation de température, d'une partie de l'acide carbonique dissous; et enfin 4° la mise en liberté de ce gaz par la décomposition des matières organiques.

Ces différentes sources de variations sont en relation avec les phénomènes d'élévation et d'extension des continents d'une part et de réduction de la Terre et d'extension marine d'autre part. Durant une période d'extension et d'élévation terrestres, les silicates sont convertis en carbonates en proportion croissante, les calcaires et les dolomies, transformés en bicarbonates, sont entraînés à la mer. Ces deux processus tendent à diminuer la quantité d'acide carbonique atmosphérique. En

même temps, la zone de mer peu profonde, qui abrite surtout les organismes à test calcaire, se trouve réduite, la quantité d'acide carbonique mise en liberté par des organismes aux dépens des bicarbonates dissous est aussi atténuée. Cette diminution de l'acide carbonique de l'atmosphère provoque, comme l'on sait, un abaissement de température qui va permettre la dissolution d'une nouvelle quantité de gaz par l'océan et réduire encore la proportion d'acide carbonique atmosphérique.

Dans les périodes de transgression marine, au contraire, les organismes calcaires, très nombreux dans les mers continentales, vont mettre en liberté beaucoup d'acide carbonique et assurer une élévation de température qui facilitera le dégagement des gaz dissous et la dissociation des bicarbonates, tandis que la carbonation sera réduite au minimum sur les continents. Pendant les périodes de transgression marine, l'abondance d'acide carbonique assurait à tout le globe un climat doux, humide, uniforme, tandis que les périodes de régression marine présentaient les extrêmes d'humidité et de sécheresse, de chaleur et de froid.

L'auteur applique ensuite ces observations aux deux périodes pendant lesquelles on a observé des glaciations bien nettes : la période permienne et le Pleistocène. Nous nous bornerons à le suivre dans l'explication de la glaciation pleistocène, qui nous intéresse plus particulièrement.

Tout d'abord, quelle est la cause générale qui a déterminé la glaciation pleistocène? Elle résiderait, d'après M. Chamberlin, dans la grande extension en altitude et en surface des continents, extension qui s'est produite à la fin du Pliocène, à une période que M. Le Conte a récemment désignée par le nom d'*ozarkienne*. Tandis qu'au Miocène moyen, alors que le climat était encore très doux, la surface continentale peut être évaluée à 70 millions de kilomètres carrés, elle était de 104 millions pour la période ozarkienne et serait aujourd'hui de 87 millions environ. En outre, l'altitude moyenne des continents à la fin du Pliocène devait être deux ou trois fois plus élevée que pour le Miocène moyen. Cette extension de la zone continentale aurait suffi pour abaisser la proportion d'acide carbonique jusqu'à 0.05 % et amener ainsi, d'après les calculs de M. Arrhénius, une glaciation intense. La glaciation va s'aggraver par suite de l'intervention des causes secondaires qui, comme on l'a vu plus haut, tendent encore à diminuer la quantité d'acide carbonique. La surface gelée ou couverte de neige va s'accroître. Mais comme cette surface est désormais soustraite à l'action de l'atmosphère, elle n'absorbera plus d'acide carbonique qui va de nouveau augmenter

et provoquer un relèvement de température et la retraite des glaciers. Cette retraite s'arrête bientôt, la carbonatation reprend en effet; elle est même très active, car elle porte sur les matériaux du drift étalés par les glaciers et qui présentent une grande surface de contact avec l'air. Une nouvelle invasion glaciaire se produit alors, qui sera suivie d'une seconde retraite des glaces et ainsi de suite. Les glaces s'étendent de moins en moins, car les océans s'enrichissant sans cesse en bicarbonates, la pression de l'acide carbonique diminuant de plus en plus, la dissociation des bicarbonates s'opère très activement et vient, en régénérant l'atmosphère, relever la température. De sorte que les périodes glaciaires et interglaciaires se succéderaient et les écarts entre leurs températures iraient en s'atténuant de plus en plus jusqu'à la disparition complète de la glaciation. Un mouvement d'affaissement en restreignant le domaine continental est d'ailleurs venu accélérer cette série d'oscillations et rétablir le climat de l'époque actuelle.

Comme on le voit, cette théorie repose sur une base toute différente de la précédente; elle fait intervenir comme cause fondamentale de la variation des climats le changement de composition de l'atmosphère ou, en dernière analyse, les oscillations du sol, que M. Manson considérerait comme de simples causes secondaires. Une parcelle de vérité se trouve sans doute dans chacune des deux hypothèses. Celle de M. Chamberlin, appuyée sur les données géologiques les plus sérieuses, doit certainement se rapprocher de la vérité lorsqu'elle explique la dernière glaciation. Elle est malheureusement d'une application assez difficile dans le passé et l'efficacité des agents invoqués n'est pas suffisamment démontrée. Elle serait rassurante pour l'avenir : la quantité d'acide carbonique déversée dans l'atmosphère par la combustion journalière de masses toujours plus considérables de charbon, augmenterait assez rapidement pour nous faire espérer, dans quelques milliers de siècles, le retour des climats doux et humides du milieu de l'époque tertiaire.

(Résumé de M. J. GIRAUD dans le n° 2-3 du tome XI (1900)
de l'ANTHROPOLOGIE.)

