Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 19 (1890-1891)

Artikel: Sur l'époque quaternaire
Autor: Ritter, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88301

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SUR
L'ÉPOQUE QUATERNAIRE

PAR M. G. RITTER, INGÉNIEUR

(Communication faite dans la séance du 14 mai 1891)

La plupart des membres de notre Société des sciences naturelles me trouveront sans doute bien hardi d'oser, après tant de savants illustres ou de chercheurs infatigables, depuis Playfair, Venetz, de Charpentier, Rendu, Studer, Agassiz et Guyot, initiateurs du système de l'extension des glaciers à l'époque quaternaire, jusqu'aux savants continuateurs de l'œuvre, Desor, Martens, Dollfus, Lyell, Tyndall, Heer, de Saporta, Chantre, Falsan, de Lapparent et tant d'autres, venir les entretenir d'un sujet déjà si travaillé et certainement le plus intéressant de beaucoup du vaste domaine de la géologie et de la climatologie.

Je me plais toutefois à espérer qu'après l'énoncé de ma thèse, et la curiosité aidant, ils voudront bien entendre ma démonstration avec quelque indulgence.

Voici cette thèse. Elle se divise en trois points :

1° Les précipitations aqueuses, ainsi que les courants d'eau et les glaciers de l'époque quaternaire, sont le résultat normal dû au refroidissement de la Terre, ensuite de la diminution à sa surface des effets de la chaleur centrale, et nullement le

résultat d'un refroidissement exceptionnel ou d'une autre cause passagère ou accidentelle quelconque;

2° La phase glaciaire a été une et non divisée en périodes distinctes et séparées: elle a été seulement variable en intensité;

3° Le phénomène glaciaire proprement dit n'est point périodique : il a eu lieu et ne se reproduira plus sur notre Terre.

J'aurais dû, depuis une dizaine d'années que je suis arrivé à ces conclusions, les énoncer en les appuyant de mes démonstrations; mais le désir de mieux compléter celles-ci et de présenter cette action finale de la chaleur centrale décroissante comme la terminaison des actions joviennes dont j'ai pris la liberté d'entretenir notre Société l'année dernière, m'ont toujours fait renvoyer cette communication.

L'inconvénient de ces renvois, lorsqu'on ne peut, vu les nécessités de la vie, se vouer exclusivement aux études que l'on aime, c'est de voir apparaître par bribes et parties, dans d'autres publications, ce que l'on avait, avec force recherches et réflexions, enfanté et découvert soi-même.

Ainsi en est-il avec l'ouvrage de M. Falsan sur les glaciers, et la récente publication de notre aimable collègue, M. Hermite, qui renferment, le premier du moins, un grand nombre d'appréciations et de facteurs sur lesquels j'espérais attirer le premier l'attention.

Toutefois, ce qui va suivre vous démontrera que divers analystes, d'accord sur un point, le basent souvent sur des appréciations fort variables et sur des faits vus sous des jours absolument différents. Au

surplus, il me reste un contingent assez important d'idées nouvelles et de faits, laissant un désaccord assez complet sur toute la théorie glaciaire entre MM. les chercheurs qui ont fouillé les mêmes sillons et moi, pour me justifier de la prétention de vouloir apporter ma petite pierre à l'édifice de cette théorie.

Cela dit, j'entre en matière.

D'abord, il est une base que certains savants contestent absolument, que d'autres veulent hâtivement déjà rendre impuissante et sans action à l'époque quaternaire et même tertiaire : c'est la chaleur centrale, fondement, selon moi, du système glaciaire qui, je le crois, doit être le véritable entre tous les systèmes imaginés pour expliquer les phases de cette époque. C'est cette base qui serait ou imaginaire, ou impuissante !

Chaleur centrale.

La chaleur centrale, résultant du travail mécanique de concentration des matières cosmiques ayant formé tous les astres de notre système planétaire, serait donc un mythe?

La chaleur que l'on observe dans les couches terrestres, et à laquelle Arago attribuait une valeur croissante de *un degré* centigrade par 31 à 32 mètres de profondeur des couches perforées, aurait pour cause non plus le processus mécanique de l'enfantement de notre planète, mais :

1° La chaleur développée par les réactions chimiques des matières internes constitutives de notre globe; les volcans seraient les cheminées des immenses creusets souterrains où se travaillent et se

combinent les matières engendrant ainsi cette chaleur; voilà l'idée des uns.

2° D'autres, avec M. Robert Mallet, croient à l'écrasement de diverses parties souterraines de l'écorce terrestre, ensuite des déformations et contractions de celle-ci; cet écrasement développerait une certaine chaleur et serait la cause de la chaleur souterraine observée.

3° M. Hermite émet une autre opinion; dans son remarquable opuscule sur l'époque quaternaire, il dit textuellement, page 63 :

« La chaleur interne aurait pour origine, suivant nous, les mouvements du sol déterminés par l'enfoncement des bassins sous le poids des accumulations sédimentaires. »

Voilà donc les hypothèses de ceux qui contestent l'origine de la chaleur centrale du globe comme résultant de la concentration des matières cosmiques qui l'ont formé.

Quant aux autres, qui suppriment la chaleur interne comme facteur actif des âges tertiaire et quaternaire, et par suite comme cause encore agissante lors des précipitations aqueuses congelées de l'époque glaciaire, ceux-là sont légion. Depuis MM. Faye et de Lapparent à MM. Falsan et de Saporta, etc., tous remplacent purement et simplement la chaleur centrale disparue par le Soleil de 47 degrés de M. Blandet, Soleil primitif qui aurait à la fois uniformisé la température d'un pôle à l'autre sur notre Terre, depuis l'époque primaire jusqu'à l'époque tertiaire, et valu, lors de cette dernière, la production considé-

rable de vapeurs, aliment des précipitations de l'époque quaternaire.

Voilà certes des hypothèses qui font honneur à l'activité intelligente des chercheurs; malheureusement beaucoup d'entre eux croient, en se basant sur des faits souvent secondaires dans la question, faits auxquels ils attribuent une valeur de premier ordre, avoir trouvé l'argument péremptoire qui donne raison à leur système.

D'autre part, la question se complique d'autant plus que les faits cités sont en général authentiques, ou peuvent être admis comme tels, et que les démonstrations qui en résultent sont en partie admissibles; c'est la valeur seule qu'on leur attribue qui est mal mesurée et qui fait naître la confusion.

On conçoit qu'il importe avant toute chose d'étayer sur des bases solides et indiscutables le fait de l'existence de la chaleur centrale, et surtout d'examiner si les autres systèmes proposés pour la remplacer peuvent expliquer mieux et plus rationnellement ce que l'on observe aujourd'hui et ce qui s'est passé aux divers âges géologiques des temps anciens.

Tous les savants sont d'accord sur le fait que l'écorce terrestre accuse, avec son accroissement en profondeur, un accroissement de sa température généralement assez peu variable, ou s'il y a des variations accentuées, elles n'infirment jamais l'accroissement et sont en tout cas exceptionnelles. Partout sur la Terre, dans n'importe quelle région, les excavations profondes, les foncements de puits, perforations de tunnels et travaux de ce genre, exécutés même, comme dans certaines mines, sous la mer, ont démontré, sans une seule exception, un accroissement

de température avec l'augmentation de profondeur des points auxquels se rapportent les observations.

Des sources thermales innombrables viennent sourdre partout et accusent des températures diverses; on en cite même de 80 degrés, comme à Chaudes-Aigues, en Auvergne, de 84 degrés comme au mont Olympe, et enfin même de 96 degrés pour des sources existant en Amérique.

Sous une autre forme, cette chaleur interne nous apparaît dans toutes les éruptions volcaniques actuelles et, mieux que cela, les terrains anciens de la croûte terrestre offrent partout, soit sous forme de trachytes et de basaltes, soit sous forme de filons divers, des masses épanchées qui présentent le caractère d'une fusion complète qu'ils ont subie et, pour certains, une division prismatique qui ne peut résulter que du refroidissement d'une masse liquide.

Tous les terrains primitifs présentent, ainsi que les substances d'un grand nombre de filons, une cristallisation enveloppée plus ou moins de gangue amorphe, qu'une action autre que celle de la chaleur ne saurait avoir formée.

Enfin la flore et la faune de tous les terrains des temps géologiques anciens, jusqu'au tertiaire, nous démontrent que la température sur le globe terrestre était élevée et la même partout, du pôle à l'équateur, que cette température fut d'autant plus élevée qu'il s'agit d'une époque plus ancienne, fait dont l'action solaire, ainsi que nous le verrons plus loin, fut absolument innocente comme action unique aux époques dont il est ici question.

En admettant que tout cela ne prouve pas encore le fait d'une action calorifique centrale de la nature

de celle qu'on lui attribue, il reste à examiner comment, avec les systèmes avancés, on arrive à mieux expliquer tous les faits constatés. Si ces explications sont impossibles ou de moindre valeur, alors il faudra pourtant accepter celle qui l'emporte sous ce rapport.

Procédons par ordre, et prenons l'hypothèse des réactions chimiques.

Pour produire les mêmes effets, il faut les mêmes causes, ou tout au moins des causes similaires.

Pour produire une même chaleur généralement progressive en profondeur partout dans la croûte terrestre, il faudrait, à une certaine profondeur, partout à la fois des réactions chimiques de même valeur, dégageant du calorique uniformément réparti et de même intensité, ou s'il y a variation d'intensité dans le développement de ce calorique, en raison de la concentration des opérations chimiques en divers points ou foyers, il faudrait alors une propagation et une transmission latérale si prompte et si complète de la chaleur produite dans les couches terrestres adjacentes aux foyers producteurs, que l'uniformité de chaleur pour une même profondeur pût en résulter.

Or, énoncer de semblables conditions c'est, on le comprend, démontrer leur impossibilité. On ne saurait invoquer une si puissante conductibilité pour son propre système, alors qu'on en conteste la valeur pour combattre les systèmes concurrents.

Des réactions chimiques, il y en a, il y en a toujours eu; nous, partisans de la chaleur centrale originelle, nous les faisons aussi intervenir, et grandement, mais elles sont aujourd'hui accidentelles, réparties au hasard comme les facteurs qui les pro-

duisent, et ne peuvent donc être la cause d'un phénomène général qui agit partout indistinctement comme la chaleur interne.

Comment donc se fait-il qu'au centre d'immenses plaines, à des centaines de kilomètres de tout foyer volcanique, comme au puits artésien de Paris ou au centre de la Russie, on constate la même température croissante qu'au mont Cenis, au Gothard, à l'Arlberg, ou aux Andes, et ce seraient des réactions chimiques qui produiraient ces effets identiques dans des pays et des terrains si différents, enfin à des altitudes si diverses?

Cela n'est pas admissible, et je passe au second système, celui des écrasements de matériaux dus à la contraction de la masse interne et à l'effondrement de la croûte solide enveloppante.

La même objection se présente ici. Le profil des masses enveloppantes démontre que l'écrasement n'a pu avoir lieu que par place et irrégulièrement près des lignes de fracture; de là même irrégularité de production de chaleur, et même impossibilité de transmission latérale de la chaleur produite en ces points d'écrasement.

Donc l'irrégularité, une très grande irrégularité, serait la règle en fait de chaleur interne, si telle était la cause génératrice de cette chaleur, et bien des points de l'écorce terrestre ne devraient présenter aucune chaleur, comme dans les massifs granitiques montagneux, ou dans certains plateaux qui, au lieu de s'effondrer, se sont élevés par des actions orogéniques lentes; il ne s'est, à coup sûr, produit aucun écrasement de matière dans les premiers, pas plus que dans les strates plates des seconds. Or, dans les

massifs surélevés ou dans les couches des grands plateaux, c'est encore une chaleur d'environ un degré par 31 à 32 mètres de profondeur que l'on y constate, et non une absence de chaleur.

Reste enfin le système de notre honorable collègue, M. Hermite, sur lequel j'insisterai un peu plus, car il repose sur quelque chose de plus effectif et répond mieux à l'exigence d'une répartition de chaleur un peu partout.

M. Hermite, paraît-il, n'admettrait donc pas la formation de notre planète par voie de concentration de matière cosmique ayant, par le fait même de ce travail, engendré cette énorme accumulation de chaleur si bien démontrée récemment par la thermodynamique.

Par contre, l'auteur de la récente publication sur la phase quaternaire admet, chose curieuse, l'application de la thermodynamique aux couches superficielles de l'écorce terrestre. Il dit :

« La dépression des bassins et les bombements correspondant à la périphérie seraient le résultat du travail mécanique ayant engendré la chaleur interne.

« L'enfoncement des bassins, déterminé par le poids des accumulations sédimentaires, serait la cause de cette chaleur interne. » (Page 63 du mémoire.)

Concluant sur ce système, M. Hermite s'exprime encore comme suit :

« *Les strates, quelle que soit leur cohésion, sont obligées de suivre le mouvement d'ensemble des déformations et par suite d'acquérir sur leur emplacement même des températures aussi variables que la résistance qu'elles ont opposée.* » (Page 65.)

Evidemment, tout cela est relativement exact; l'énergie, sous quelque forme qu'elle disparaisse dans la nature, n'est point perdue; elle change de forme seulement et peut, de mécanique qu'elle était, reparaître ici en chaleur. L'énergie mécanique est devenue calorifique, c'est bien certain, nous sommes d'accord !

Mais la valeur du produit dû au facteur transformé est-elle en rapport avec les existences constatées? Nullement, et c'est là que, malgré l'évidence de l'action transformatrice des kilogrammètres en calories, cette action donne au total un résultat trop dérisoire à mettre en ligne pour expliquer victorieusement l'état de choses constaté.

L'élévation moyenne des continents est, d'après de Lapparent, comprise entre 500 et 600 mètres sur mer (page 65 de sa Géologie). La profondeur moyenne des océans est de 4000 mètres environ.

En outre, la Terre émergente représente les $^{100}/_{275}$ de la surface immergée ou les $^{100}/_{375}$ de la surface totale du globe. Si l'on détermine y, hauteur dont les masses continentales ont été soulevées, on trouve au-dessus du niveau moyen primitif 3300 m. et 1200 m. pour la hauteur x dont les masses immergées sont en moyenne descendues, car $1200 \times 275 = 3300 \times 100$ (voir fig. 1 et 2).

Le travail mécanique, pour des roches de 2,5 de densité moyenne, se résume, pour un décimètre cube de matière émergée, à $3300 \times 2^{kg},5 = 8250$ kilogrammètres : en calories $\frac{8250}{425} = 19,4$ calories, puisque 425 kilogrammètres équivalent à une calorie.

Pour le décimètre cube de matière immergée, on aura $2,5 \times 1200 = 3000$ kilogrammètres $= 7$ calories

La masse soulevée aurait produit moins de 20 calories et la masse immergée 7. La moyenne, en tenant compte des étendues, n'est que de 10,5 calories, car $7 \times 275 + 19{,}4 \times 100 = 375 \times 10{,}5$.

Or, la température constatée jusqu'ici par les observations des mines les plus profondes et des sources thermales les plus chaudes, sans parler des volcans, est de 60 degrés pour les premières et de 90 pour les secondes, en chiffres ronds.

En admettant une capacité calorifique moyenne de $^1/_3$ et que la progression cesse à 500 degrés seulement, il faudrait que la masse solide de la croûte du globe terrestre entière eût accompli environ 15 ou 16 fois son voyage oscillatoire, et cela pour ne perdre superficiellement qu'une fois sa chaleur, alors que pendant plus de 20 millions d'années la source centrale a, jusqu'au quaternaire, constamment renouvelé sa provision à la surface.

La géologie, telle que nous la connaissons, avec ses cinq époques depuis les terrains azoïques au néozoïque et même quaternaire, avec ses faunes et flores correspondantes, qui permettent de suivre pas à pas la configuration des mers de chaque époque examinée, la géologie n'autorise assurément en aucun cas semblable hypothèse, car cela en est bien une d'hypothèse.

Si la croûte terrestre avait fait partout 15 ou 16 fois le voyage oscillatoire en question, la surface du globe serait à l'état de chaos indescriptible et ne présenterait point l'harmonieux spectacle actuel.

Mais ce n'est pas tout : si cette cause, productrice de quelque chaleur, j'en conviens, était la principale ou la seule, le refroidissement dans les massifs primitifs soulevés les premiers (il y a, disent certains

géologues, 15 ou 20 millions d'années), devrait être presque complet.

Les îlots de granit ou de silurien, qui sont restés tels quels depuis leur éruption ou leur émergence, devraient assurément, d'après cette théorie, accuser dix fois moins de chaleur pour une même profondeur perforée que les terrains tertiaires ou crétacés de Paris, qui sont émergés sur mer de quelques dizaines de mètres seulement depuis leur formation plus récente de 15 ou 19 millions d'années.

La variation existerait donc partout sur une large échelle et ne serait point une exception rare, comme à Sperenberg ou dans certaine mine de Saxe que l'on cite constamment; l'exception serait assurément la règle, et la règle très générale; celle d'Arago serait l'exception.

Il n'est au reste pas difficile d'expliquer les faits accidentels qui font exception à la règle d'accroissement de la chaleur avec la profondeur.

Il y aurait bien d'autres facteurs à examiner que la conductibilité citée par M. Hermite, comme agissant en faveur de l'augmentation de la variation : les questions de densité des masses soulevées, de leur imprégnation, de leur structure, voisinage de cavités, de sources chaudes, leur capacité calorifique variable, toutes circonstances qui eussent dû modifier encore la disposition de la chaleur produite et accentuer les différences, mais je ne puis m'étendre indéfiniment sur ce sujet, de crainte de trop allonger cette communication.

Toutefois, il est un argument péremptoire bien plus puissant, qui donnera probablement raison indéfiniment aux partisans de la chaleur centrale provenant

de l'origine ignée de notre globe. Voici cet argument :

Les partisans de la chaleur centrale ont à leur actif une théorie de la formation de notre système planétaire, qui est basée sur des faits, des observations et même sur des formations similaires, en voie d'enfantement aujourd'hui.

Les nuages de matières cosmiques engendrent des nébuleuses de toutes formes, avec ou sans noyaux, ceux-ci avec ou sans satellites, voire même avec des anneaux qui sembleraient un acheminement vers un système condensé comme celui de Saturne; tout cela existe, se passe sous nos yeux et constitue des faits apparents dans l'espace céleste, et non des hypothèses, faits sur lesquels se base cette théorie de concentration des matières cosmiques qui ont formé la Terre. Puis, toutes les admirables découvertes astronomiques, lois et calculs qui ont permis même d'aller, que l'on excuse l'expression, dénicher avec le compas dans le ciel des planètes manquant à la série satisfaisant à ces lois, c'est là un ensemble qui n'autorise pourtant pas le doute avant d'avoir quelque chose d'autre à mettre en place.

Si la chaleur centrale est un mythe, alors les théories astronomiques de la formation de notre système planétaire tombent, et les lois si bien démontrées de la thermodynamique sont une erreur; la force que l'on transforme à volonté et si admirablement aujourd'hui en chaleur aux rayons obscurs, ou en lumière aux rayons apparents, serait une transformation due à des causes et à des lois encore à découvrir, et non à la grande loi de la conservation de

l'énergie, quelque latente ou inapparente qu'elle puisse parfois se présenter.

C'est au moment où ces lois fécondes de la thermodynamique viennent expliquer victorieusement et définitivement l'accumulation du calorique solaire, qui existe et fonctionne incontestablement, que l'on refuserait la même faculté et la même propriété d'accumulation de chaleur aux éléments de notre Terre, sortis des mêmes masses cahotiques par voie de concentration semblable !

C'est assurément étrange, et je me résume en émettant timidement l'opinion que tant que les adversaires de la chaleur centrale ne nous apporteront pas, non une nouvelle théorie toute faite de la formation du système planétaire, mais au moins une mauvaise ébauche ayant quelque apparence de vérité, en regard des lois indiscutables pour nous qui régissent la mécanique céleste, ébauche qui permettrait de fouiller dans une direction nouvelle, ces adversaires de la concentration des matières avec accumulation de chaleur centrale perdront entièrement leur temps et n'arriveront jamais à rien de définitif sous ce rapport.

Nous sommes donc encore loin de l'anéantissement cruel de la doctrine de la chaleur centrale annoncé par M. Mohr, ou de sa transformation en avatar de l'ancien mythe du Tartare, proclamée par M. Vogt, ensuite des quelques variations d'accroissement de température constatées dans le forage de Sperenberg. (Voir page 60 du mémoire de M. Hermite.)

Si l'on ne trouve rien de mieux à objecter à leur théorie, les partisans de la chaleur centrale auront encore longuement le temps d'en étudier les effets. C'est ce que je vais me permettre de faire, en pas-

sant à l'étude du rôle de cette chaleur comme agent formateur de vapeur d'eau, depuis les âges les plus anciens de notre globe jusqu'à l'époque actuelle.

Cette étude me permettra de réfuter l'opinion de ceux qui attribuent au Soleil seul agrandi les effets climatologiques sur notre planète, dès les anciens temps de la géologie, et la nullité de l'action de la chaleur centrale dans ce domaine.

Du rôle de la chaleur centrale comme cause des actions orogéniques et de la formation des condenseurs montagneux.

Passons donc au rôle de cette chaleur centrale, depuis les temps anciens de sa formation jusqu'à l'époque actuelle, sous le rapport de la production par elle de vapeur d'eau. J'ai eu l'honneur, l'année dernière, d'entretenir la Société du rôle de cette chaleur comme agent formateur de notre globe, par la conservation dans l'atmosphère de masses de vapeurs diverses, même après la première solidification de l'écorce terrestre. J'ai également, par diverses déductions résultant des lois de l'association et de la dissociation des éléments des corps, établi que la température des premières eaux condensées sur la croûte des terrains primitifs, devait être supérieure à 412 degrés et inférieure à 1100 degrés; j'ai rappelé encore qu'il s'est écoulé une période de temps énorme depuis cette apparition première de l'eau, jusqu'à ce que, d'une part, toutes les matières encore à l'état de vapeurs eussent été condensées et précipitées, et que, d'autre part, la température de l'eau

des mers fût tombée suffisamment pour permettre l'apparition et le développement de la vie sur la Terre.

Or, l'histoire de la vapeur d'eau sur la Terre nous conduit directement aux phénomènes de l'époque quaternaire et glaciaire. Essayons d'ébaucher cette histoire de notre mieux.

Rappelons d'abord que la croûte terrestre, pendant sa formation, fut soumise deux fois à des actions orogéniques considérables et plus intenses que pendant les périodes intermédiaires. Ces phases critiques correspondent, l'une à l'apparition de l'eau sur la Terre en voie de refroidissement, l'autre à la disparition inégale de la chaleur centrale dans les couches supérieures de l'écorce terrestre, ou mieux, à la disparition d'une température uniforme des pôles à l'équateur, sur la surface terrestre. Il faut, pour qu'un soulèvement de montagne se produise, le travail mécanique de divers agents. L'un, et c'est le premier qui ait agi, est le refroidissement de la croûte terrestre et la différence d'étendue ou de volume donnée aux couches par ce refroidissement successif, opérant de plus en plus profondément dans le massif interne. C'est la cause première de la formation de vides, où les couches supérieures purent s'affaisser d'un côté, tout en se relevant de l'autre, fait que le savant Elie de Beaumont a si bien établi et analysé. Mais, quel ne dut pas être l'accroissement de mobilité de ces couches effondrées d'un côté et soulevées de l'autre, lorsque l'eau vint s'introduire dans les fissures et cavités produites, et les charger, grâce à des centaines, si ce n'est des milliers de degrés de chaleur, d'un gaz énergique et expansible comme la vapeur d'eau à de hautes températures.

Avec l'apparition de l'eau sur la Terre, il y eut donc un surcroît d'activité dans le travail interne, et formation de condenseurs montagneux suffisants pour produire, à l'époque primaire, malgré leur peu d'élévation due à la faible épaisseur de l'écorce terrestre, des chutes de pluie assez abondantes pour engendrer les courants qui ont formé les cailloux roulés, les graviers et les sables nécessaires à la formation des diverses couches arénacées ou gréseuses de cette époque.

Certains géologues veulent voir déjà d'anciennes terrasses dans les couches formées de matériaux roulés et réunis en atterrissements, et attribuer leur formation à des cours d'eau alimentés par des glaciers; ils sont même disposés, grâce à certains matériaux striés, à admettre une action de transport direct de ces matériaux par voie glaciaire.

C'est assurément aller un peu vite et il s'agirait de savoir si les auteurs de semblables théories ont suffisamment tenu compte, dans leurs appréciations, des lois qui régissent la saturation de l'air par la vapeur d'eau. Si ces savants géologues avaient peut-être fait des calculs et supputé exactement la masse d'eau condensée qui résulte d'un abaissement de chaleur lorsqu'il s'agit de températures élevées comme celles qui régnaient alors, ils n'auraient peut-être pas eu besoin de rechercher ni d'inventer, au moyen de glaciers, un surcroît d'activité dans les précipitations et les ruissellements de l'époque.

Lorsque la pluie se produit sur une montagne, ce n'est pas la couche froide terrestre du massif montagneux qui agit seule, à la façon d'une carafe d'eau fraîche attirant à elle et condensant par contact la

vapeur d'eau des couches voisines de l'air, mais bien la tension de saturation des gaz par la vapeur d'eau, qui ne reste point en relation parallèle ou proportionnelle avec celle de leur température; c'est ainsi que, pour l'air, une température :

						mm
de	—	19°	correspond à une tension en millimètres de mercure, de			1,0288
pour	—	10°	elle correspond à une tens. de			2,1514
»		0°	»	»	»	4,5687
»	+	10°	»	»	»	9,1398
»	+	20°	»	»	»	17,3632
»	+	30°	»	»	»	31,5096
»	+	40°	»	»	»	54,8651
»	+	50°	»	»	»	91,9780
»	+	60°	»	»	»	148,8848
»	+	70°	»	»	»	233,3079
»	+	80°	»	»	»	369,5075
»	+	90°	»	»	»	525,4676
»	+	100°	»	»	»	760,00
»	+	110°	»	»	»	1075,37
»	+	120°	»	»	»	1491,280
»	+	130°	»	»	»	2030,28
»	+	140°	»	»	»	2717,63
»	+	150°	»	»	»	3581,23
»	+	200°	»	»	»	14324,80

Il en résulte que le massif montagneux, d'autant plus froid qu'il est plus élevé en altitude, la température de l'atmosphère s'abaissant d'un degré pour 190 mètres de hauteur environ (selon Gay-Lussac, d'un degré pour 187 mètres et selon Humboldt, d'un degré pour 195 mètres), rafraîchit l'air qui arrive de la plaine, et ce dernier ainsi refroidi condense les va-

peurs de la quantité surnuméraire due au chiffre de la saturation primitive.

Cette quantité surnuméraire, dont la résolution en eau est ainsi forcée, est d'autant plus considérable pour une différence donnée qu'il s'agit de températures plus élevées. De là, les fameux chapeaux de vapeur des montagnes, précurseurs de la pluie et qui sont de si excellents hygromètres.

A l'époque primaire, lors de l'apparition des premiers animaux vivants, la température uniforme de la Terre ne devait pas être de beaucoup supérieure à 50 ou 60 degrés, si les conditions de résistance des organes des êtres vivant alors étaient similaires à celles des êtres d'aujourd'hui, en raison de la solidification de la gélatine à une température plus élevée, fait que l'on invoque pour raisonner ainsi, car au-delà cette solidification eût rendu la vie impossible aux animaux de l'époque[1].

Or, à 50 degrés, la tension de la vapeur dans l'air saturé est de	$91^{mm},9780$
En admettant que les montagnes d'alors eussent atteint des couches rafraîchies de 10 degrés, et, par suite, rafraîchi elles-mêmes l'air des plaines de cette différence, par mélange et contact, la tension pour 40 degrés devenait, pour la vapeur d'eau, de	$54^{mm},8650$
La précipitation dut alors être de la vapeur correspondant à l'excès de tension, soit	$37^{mm},1130$

[1] Je suis loin d'accepter une semblable conclusion, car aujourd'hui nous constatons que des microbes résistent à 100 et même 120 degrés de température ; les animaux d'espèces inférieures du Cambrien pouvaient fort bien être constitués comme ces derniers, avec des substances autres que des gélatines se solidifiant à 60 degrés de chaleur et leur rendant par suite la vie possible à de plus hautes températures.

Or, cette tension correspond à peu près à celle de l'air saturé à 32,9 degrés, qui est de $37^{mm},15$; c'est donc absolument comme si de l'air saturé à 32,9 degrés avait perdu toute son eau.

On conçoit par ces chiffres combien une faible chute de température peut fournir d'eau condensée, lorsqu'il s'agit de masses d'air saturé à des températures élevées. C'est pourquoi certaines régions du globe, le Bengale, par exemple, et les régions voisines du golfe du Mexique, sont sujettes à des précipitations considérables, grâce au voisinage des montagnes et de la mer, et vu la température élevée de l'air humide.

En effet, ces régions fournissent une chute d'eau annuelle formidable avec des différences de température assez peu considérables, en tout cas infiniment moindres que d'autres régions froides, comme la Sibérie, le nord de la Russie ou de la Suède, par exemple, où les chutes d'eau sont cependant beaucoup moins abondantes malgré des différences de température sept ou huit fois plus fortes.

Cela explique donc suffisamment la production considérable de courants d'eau à l'époque primaire, sans qu'il soit utile ou nécessaire de faire intervenir l'existence de glaciers, chose difficile à concevoir et surtout à expliquer avec des montagnes peu élevées, une atmosphère chaude, saturée de vapeur immensément riche en acide carbonique et probablement d'autres vapeurs, donc aux couches froides beaucoup plus élevées en altitude que de nos jours.

Tel est un premier point qu'il était bon d'établir en passant. Donc pas de glaciers considérables et permanents aux époques géologiques anciennes du

globe, mais actions orogéniques facilitées par la vapeur d'eau, détruisant la régularité des couches terrestres en voie de refroidissement et, par suite, répartissant inégalement les eaux sur la surface terrestre.

Une fois cette première phase des âges anciens du globe accomplie par un refroidissement de plusieurs centaines de degrés de la couche primitive et une fois l'eau chaude des mers en place, l'action sédimentaire commence, activée par la fissuration des bas-fonds et, par suite, par une mise en contact un peu partout de cette eau avec les couches profondes internes et très chaudes de la croûte terrestre.

La dissolution, la désagrégation et la tenue en suspension des matériaux provenant de cette dernière action durent être singulièrement favorisées par cette pénétration facile de l'eau dans les profondeurs de l'écorce et par la production de vapeurs travaillant énergiquement dans le fond fissuré et effondré des mers.

Aussi s'explique-t-on aisément la puissance des massifs sédimentaires de l'époque primaire, trois ou même quatre fois plus considérable que celle de tout le reste des formations neptuniennes postérieures.

Cette puissante sédimentation couvrant par le fait même tout le relief sous-marin et obstruant ainsi finalement les innombrables cavités et fissures d'où étaient sortis, par des érosions bouillonnantes, les premiers matériaux sédimentaires, il dut s'ensuivre une séparation complète des couches internes encore brûlantes d'avec les eaux des mers, et de là est née la période des formations dites secondaires, à température des mers plus modérée, mais encore générale et uniforme d'un pôle à l'autre. Cette unité est démon-

trée par la faune et la flore de ces terrains, aux sujets presque identiques et les mêmes partout. Pour la même raison, les phénomènes ou actions orogéniques de l'époque secondaire et crétacée furent restreints par cette absence toujours plus grande du contact entre les eaux et les couches chaudes et profondes de la Terre; les chances de contact diminuaient ainsi de plus en plus au fur et à mesure que l'épaississement des strates sédimentaires annulait toujours plus la possibilité de fissurations profondes[1].

Le refroidissement lent et progressif de la croûte terrestre aurait ainsi suivi un cours normal sans graves complications et accidents, et l'époque tertiaire eût été aussi calme et paisible que les époques secondaire et crétacée, avec formations sédimentaires aux couches régulières, à matériaux fins et uniformes, résultant eux-mêmes d'actions érosives continues et uniformes aussi.

Mais une seconde période critique devait fatalement et nécessairement se produire et remettre en scène la chaleur centrale, avec une intensité d'autant plus remarquable que ce fut son dernier acte, acte que l'action solaire n'eût pu produire.

L'influence du Soleil jusqu'à la fin de l'époque secondaire ou mésozoïque fut presque nulle sur la

[1] Les géologues ont une tendance à attribuer à l'époque secondaire un climat tempéré et sec, parce que cette période n'a pas produit de roches détritiques pour la formation desquelles il faut des courants d'eau érosifs puissants. C'est une manière de voir contestable: tempéré, oui, mais sec, non, car les condenseurs peu élevés de l'époque primaire, bons pour précipiter abondamment des vapeurs d'eau saturant un air de 50 à 60 degrés, ne produisaient plus le même effet à l'époque secondaire sur un air saturé de 30 ou 40 degrés. De 60 à 50 degrés, la tension de la vapeur diminue de 57 millimètres. De 40 à 30 degrés, la tension de la vapeur diminue seulement de 23 millimètres; la désaturation n'était donc point activée par cette condensation moins forte.

Terre, quoi qu'en disent les partisans du système Blandet ou du Soleil de 47 degrés, Soleil auquel ils attribuent, dès les premiers âges, toutes les vertus thermiques, sans plus rien laisser à la chaleur centrale en fait d'opérations calorifiques sur la croûte terrestre.

Or le Soleil, dont l'intensité d'action sur la surface de la Terre est variable, produit des dilatations et contractions superficielles de l'écorce terrestre presque insensibles aujourd'hui : au plus une dizaine de mètres de variation annuelle de latitude pour un point comme Berlin, par exemple, dont la situation géographique doit être favorable à une grande variation, puisque l'écart de sa température moyenne est de 18,19 degrés, alors que l'écart de Paris est de 14,42 degrés, celui de Londres de 13,35 degrés, seulement. Voilà tout ce que le Soleil peut produire comme mouvement horizontal de la croûte terrestre; d'autre part, son action calorifique en profondeur s'arrête à 10 ou 15 mètres sous notre latitude, et à plus de la moitié moins, si ce n'est presque à 0 mètre en Sibérie, par exemple. Son action comme contraction et dilatation se réduit donc à faire aller et venir 10 000 kilomètres d'étendue de la croûte superficielle sur une dizaine de mètres au plus, soit de provoquer un mouvement annuel de $^{10}/_{10\,000\,000} = {}^{1}/_{1000}$ de millimètre par mètre, chiffre absolument impuissant à produire autre chose que des craquelures superficielles de l'écorce terrestre, et probablement en raison de l'élasticité de la matière, de ne produire parfois que des vibrations de faible intensité à peine sensibles à nos seismomètres.

Le mouvement annuel oscillatoire de la colline du

Mail, observé par notre savant collègue M. Hirsch, résulte encore d'une de ces faibles actions due au Soleil.

La colline de l'Observatoire de Neuchâtel danse si bien chaque année que l'axe de la lunette méridienne, de $1^{m},10$ de longueur, se déplace horizontalement de $0^{mm},102$ de l'O.-S.-E. pendant 163 jours d'hiver, et de $0^{mm},106$ pendant 163 jours d'été dans le sens E.-S.-O., soit $0^{mm},208$ au total en moyenne pendant l'année.

En passant, je dois dire que le mouvement constant du même axe tient, selon moi, à des causes internes ou géologiques.

Revenons à la période critique dont je parlais tout à l'heure ; c'est celle des mouvements orogéniques considérables de l'époque tertiaire, que l'action du Soleil de 47 degrés ne peut avoir produits, puisqu'il en provoque encore moins aujourd'hui, bien qu'il soit cependant plus puissant que jamais sous ce rapport, et qu'il chauffe assurément plus inégalement la Terre que lorsqu'il actionnait celle-ci sous un angle de 47 degrés.

La chaleur centrale, au contraire, explique tout, et voici comment :

Jusqu'à la fin de l'époque secondaire, la chaleur est presque uniforme sur la Terre d'un pôle à l'autre. Cela est démontré par la faune et la flore du crétacé. Les palmiers, les camphriers et les plantes similaires croissent à cette époque au Nord comme dans les régions tempérées, ou comme ils croissent et prospèrent aujourd'hui dans la région torride et équatoriale. La faune aussi est identique partout, cela est démontré par les fossiles. Les mêmes animaux habitent le Nord comme le Midi. Pendant l'éocène et le

miocène tertiaire, le sensible palmier se trouve, ainsi que le camphrier et une foule d'autres plantes de la flore tropicale, en pleine prospérité au Nord comme au Sud.

La flore de la fin de l'époque miocène toutefois commence à montrer une certaine faiblesse d'expansion, une tendance à diminuer dans les régions polaires pour les espèces végétales appartenant comme climat à la zone torride de nos jours.

Enfin, à l'époque pliocène, si la faune aux plantes plus résistantes à une différence climatérique appréciable fournit encore dans le Nord certaines espèces des climats tempérés, en revanche la flore de ces mêmes contrées du Nord perd ses palmiers, ses camphriers et autres plantes congénères de la zone torride. Le refroidissement climatérique s'y accentue et de grands mouvements orogéniques s'accomplissent à cette époque, conséquence de la disparition toujours plus grande de la chaleur centrale dans les couches superficielles de l'écorce terrestre, en allant de haut en bas dans le sens du rayon terrestre, et du Nord au Sud dans le sens horizontal, pour l'hémisphère boréal. Le manque de chaleur s'accentue tant et si bien que, pendant le commencement du tertiaire, la chaleur, qui était probablement de 20 à 25 degrés partout au Nord, se trouve diminuée considérablement au pôle à la fin du tertiaire et remplacée quelque peu déjà par la chaleur solaire dans les régions torrides et équatoriales.

La croûte terrestre, au lieu de se trouver comme précédemment d'un pôle à l'autre sous le même régime thermique intérieur, avec température atmosphérique presque fixe pour les couches qui la con-

finent, se trouve peu à peu sous l'influence d'une disparition de la chaleur interne. Cette disparition commence au pôle où le Soleil (en admettant même la théorie de Blandet, diminuant son diamètre) est impuissant à la neutraliser; elle s'étend peu à peu jusqu'à l'équateur, où cette diminution de chaleur interne est alors neutralisée par la chaleur solaire tropicale. Donc deux raisons positives de décroissance calorifique progressive avec la latitude pour les régions polaires, savoir le refroidissement central d'un côté, et l'impuissance du Soleil se rapetissant ou déjà réduit à ses dimensions actuelles de l'autre, et une seule raison positive de refroidissement très lent pour l'équateur, avec conservation complète et entière de la chaleur superficielle due au Soleil pour cette même région.

Voilà les différences et telles sont les causes thermiques de l'accroissement des formidables massifs de condensation de l'époque tertiaire et du commencement du quaternaire, en même temps que, comme conséquence, telle est aussi la cause des phénomènes diluviens et glaciaires de cette dernière époque.

C'est ici que commencent donc les démonstrations spéciales que je me suis proposé de faire dans cette communication.

Deux causes ont provoqué la recrudescence des mouvements orogéniques de cette époque.

C'est, d'une part, le réchauffement des masses inférieures sédimentaires en proportion de leur épaisseur et, par suite, souvent la réduction en vapeur de leur eau de pénétration (ce qu'on appelle l'eau de carrière).

C'est, d'autre part, la dislocation de l'écorce ter-

restre sous l'influence des changements de température de celle-ci, changements qui ont, pendant la fin de la période tertiaire et le commencement du quaternaire, ramené au pôle une température de + 20 ou 25 degrés à — 20, si ce n'est même — 40 comme minima, tandis qu'à l'équateur cette température est restée fixe de 25 à 30 degrés en moyenne annuelle comme aujourd'hui. Cette différence, s'il ne se fût agi que de la surface, n'eût pas amené de grandes perturbations, mais il s'est agi des températures de la masse interne sur une grande épaisseur, peut-être plusieurs kilomètres de profondeur.

En effet, à 1000 mètres de profondeur, la température, au milieu de l'époque tertiaire, devait être, n'importe la latitude, uniforme ou sensiblement uniforme pour une même épaisseur de croûte terrestre, peut-être 65 degrés à l'équateur contre 60 degrés au pôle. A l'époque quaternaire, on avait au pôle, à cette profondeur, en tout cas une température de 25 à 30 degrés inférieure à celle de l'équateur, donc probablement 20 ou 25 degrés contre 60 (fig. 3 et 4). Or, qui dit variation de température dit contraction ou dilatation.

Au lieu d'un refroidissement uniforme produisant un état de tension uniforme partout, comme à l'époque secondaire et crétacée, la tension est devenue irrégulière en croissant considérablement de l'équateur au pôle, en vertu de l'abaissement considérable de température dans la masse polaire, et ailleurs proportionnellement aux latitudes, pour aboutir à presque 0 à l'équateur (voir fig. 5, 6 et 7).

Si une simple variation calorifique due au Soleil et uniquement superficielle d'une dizaine de degrés dans

les moyennes estivale et hivernale de température produit des oscillations de 10 mètres à Berlin et fait danser notre Observatoire de manière à affecter l'axe de sa lunette de $0^{mm},208$, à quelle épreuve ne dut pas être soumise une masse s'étendant du pôle à l'équateur, de quelques dizaines de kilomètres d'épaisseur et perdant irrégulièrement une trentaine de degrés de sa température, soit en longueur, soit en profondeur.

De là donc des fissurations considérables et nombreuses et, par suite, introduction de l'eau des mers dans les masses brisées internes, puis production souterraine de vapeur, force nouvelle, expansive, énorme, soulèvement de certaines masses, effondrement d'autres, et finalement accroissement considérable en étendue et en hauteur des condenseurs, cause du phénomène glaciaire. C'est naturellement près des zones montagneuses en A (fig. 8) que durent se produire au plus haut degré les actions nouvelles.

En effet, à propos des formations de montagnes de cette époque, je rappellerai ce que je disais dans ma communication sur la phase jovienne :

« A la fin de l'époque miocène, le massif alpin subit des actions internes d'une formidable puissance, qui soulevèrent même les chaînes secondaires et calcaires des Alpes. Les Pyrénées ont alors acquis leur relief définitif, et à la fin de l'époque tertiaire, après la formation du pliocène, les Apennins prennent naissance et avec elles se produisent de nombreux soulèvements de la chaîne méridionale des Alpes, ainsi que les montagnes de l'Auvergne. »

J'aurais pu ajouter, pour compléter cette nomenclature, que l'Himalaya, les Andes, les Montagnes

Rocheuses, et même notre Jura, ont, à cette époque, subi des effets orogéniques considérables, qui ont garni leurs escarpements des terrains surélevés du crétacé et du tertiaire, étages formés dans les mers qui baignaient autrefois leurs flancs et leurs vallées.

Ici encore, je me permettrai de demander aux adversaires de la chaleur centrale, qui ont une tendance à faire si vite abstraction d'un système qui explique si bien les choses, comment ils arrivent à se rendre compte de l'intensité des actions orogéniques pendant le primaire, le calme de ces actions pendant le secondaire, enfin cette recrudescence inattendue pendant le tertiaire. Ce sont là des faits qu'il faudrait pourtant expliquer mieux ou au moins aussi bien qu'au moyen de la chaleur centrale et des actions qui en sont résultées, faits bien autrement importants que les particularités sur lesquelles on se fonde pour vouloir vite tout rejeter dans le domaine du calorique interne.

L'introduction de l'eau dans les couches profondes et chaudes de l'écorce terrestre a donc été favorisée par la fissuration de cette écorce, provoquée par les différences de température produites par l'inégal refroidissement de cette masse du pôle à l'équateur.

Mais ce n'est pas tout : les masses sédimentaires déposées pendant l'époque secondaire et tertiaire prirent une épaisseur très grande, quelques milliers de mètres, et la transmission de la chaleur centrale au travers de ces masses y produisit, dans les parties profondes, un exhaussement de température considérable et, pour de grandes épaisseurs, si considérable que l'eau primitive de carrière dut chercher à s'échapper en vapeur. De là, augmentation des ten-

sions dans le sein des masses chaudes profondes, suraccroissement de force expansive dans tous les sens, qui dut singulièrement favoriser le craquellement des couches dont je viens de parler, craquellement dû aux différences de température produites entre le pôle et l'équateur, à cette époque d'irrégulier refroidissement.

Cela explique encore pourquoi les bancs rocheux de l'époque secondaire sont si considérablement fissurés, pourquoi ceux de l'époque crétacée le sont à un degré moindre, enfin comment il se fait que ceux du tertiaire ne le sont presque pas Leur fissuration est en raison de leur profondeur. Les bancs de l'époque primaire sont ici hors de cause, ayant été ébranlés et craquelés lors des soulèvements dus à l'apparition directe de l'eau sur la croûte terrestre.

C'est ainsi que des causes, petites en apparence, devaient donner aux vides produits par la diminution de volume du noyau pâteux, inférieur aux couches solides du globe, le moyen de produire des effets plus considérables que lors des époques précédentes, bien que ces vides fussent plus restreints.

Comme effet dynamique, la chaleur centrale a donc opéré à l'époque tertiaire et surtout vers la fin de cette époque :

1° Comme précédemment, par la formation de vides résultant de la contraction des matières fluides existant sous l'écorce solide du globe ;

2° Par les efforts de tension et même de torsion résultant de la différence d'abaissement de température pour une même profondeur des couches solides entre le pôle et l'équateur ;

3° Enfin, par l'introduction de l'eau de carrière dans les masses sédimentaires, acquérant avec l'épaisseur de celles-ci une température telle que sa tendance à la vaporisation dut mettre les masses elles-mêmes dans un état de tension très grand.

Il ne faut pas oublier que l'air était et est resté saturé de vapeur d'eau jusqu'au moment où les condenseurs nouvellement formés purent l'en décharger, et que la plus grande perte de chaleur interne dut se produire lorsque l'air fut en mesure de se débarrasser par condensation de la masse des vapeurs qu'il contenait, en donnant ainsi lieu à ce mouvement rotatoire perpétuel de formation et précipitation de vapeur d'eau dû aujourd'hui à l'action solaire seule.

Un calcul approximatif donnera une idée de la masse de vapeur d'eau contenue dans l'air à l'époque du miocène tertiaire, avant la formation des condenseurs.

Admettons 30 degrés comme température moyenne du pôle à l'équateur, on aura comme tension de vapeur à cette température $31^{mm},5096$ de mercure et par mètre cube d'air, 30 grammes en chiffres ronds, (le chiffre exact est $28^{g},51$). Le calcul donne donc une lame d'environ $1^{m^3},500$ d'eau pour 50 kilomètres d'atmosphère saturée en hauteur et, pour 20 kilomètres, $0^{m^3},600$ seulement.

La vapeur d'eau actuellement dans l'atmosphère n'atteint pas $0^{m},05$, soit $^1/_{30}$ de celle qui devait exister à l'époque tertiaire supposée saturant l'air à 50 kilomètres de hauteur, ou $^1/_{12}$ avec saturation à 20 kilomètres seulement.

D'autre part, la capacité calorifique d'un mètre cube de matière de l'écorce terrestre, compté à 2500 kilog.

et 0,200 calorie pour sa capacité par kilogramme, soit à peu de chose près celle des calcaires, cette capacité calorifique sera de 500 calories par mètre cube. La capacité calorifique d'un mètre cube d'air chargé de vapeur d'eau à 30 grammes étant égale à 0,37 calorie, on aura donc le rapport des capacités entre l'air saturé à 30 degrés et le calcaire par $\frac{500}{0,37} = 1350$, c'est-à-dire que la chaleur d'un mètre de calcaire est égale à celle de 1350 mètres d'air saturé à cette même température.

Cela établi, on voit immédiatement quelle action calorifique énorme et longue a dû produire sur l'enveloppe atmosphérique la croûte terrestre pendant la disparition des 30 degrés de chaleur, perte complète affectant au pôle une épaisseur considérable, mais devenant moindre à l'équateur, en raison de l'action solaire.

Cette chaleur perdue a passé évidemment au travers des mers et des terres, enfin au travers d'une atmosphère saturée, pour aller se perdre dans l'espace par rayonnement, car enfin cette chaleur constatée par la flore est allée quelque part de bas en haut; elle n'est pas rentrée sous terre, assurément.

Donc, de cette époque tertiaire à l'époque quaternaire, la croûte terrestre a perdu en moyenne $^{30}/_{2}$ degrés du pôle à l'équateur, soit 15 degrés avant le refroidissement du fond des mers et 30 degrés au complet après le refroidissement des eaux profondes sous-marines, aujourd'hui très froides partout, n'importe en quelle latitude. Cette perte de chaleur s'est faite sur une épaisseur formidable de l'écorce terrestre, malgré un remplacement de chaleur rapide

d'abord, puis plus lent il est vrai, remplacement opéré par la chaleur interne venant de couches plus profondes. Cela pourrait être difficilement contesté, quelle que soit la faible conductibilité des matières stratifiées de la croûte terrestre. Or, une perte de 15 degrés de chaleur sur 1000 mètres d'épaisseur, représente de quoi fournir 15 degrés de chaleur à 1 350 000 mètres cubes d'air, ou la même température à cent renouvellements d'une colonne d'air de 13 $^1/_2$ kilomètres. Pour 2000 mètres de matières perdant ce calorique, la chaleur de la colonne d'air serait renouvelée cent fois aussi comme calorique identique à 27 kilomètres de hauteur, et ainsi de suite pour de plus grandes épaisseurs.

Si, maintenant, on considère qu'il a fallu tout l'espace de temps de l'époque formatrice des roches primitives pour abaisser la température de l'écorce terrestre aux fins de permettre la précipitation de l'eau à 4 ou 500 degrés, si ce n'est plus, et la réduire à 50 ou 60 degrés, température compatible avec l'apparition de la vie sur la Terre, et qu'il a fallu tout l'espace de temps des époques primaire, secondaire et en partie tertiaire pour abaisser cette température de 60 à 30 degrés en moyenne, il est assurément permis de conclure que les arrivages souterrains de chaleur pendant cet abaissement ou perte de 15 degrés ont dû être assez abondants et durables pendant la fin du tertiaire et le commencement du quaternaire pour assurer une saturation de l'air suffisante et susceptible d'engendrer par précipitation les courants quaternaires les plus formidables, et plusieurs fois les masses glaciaires de l'intéressante période qui nous occupe.

Du mode de formation des vapeurs d'eau de l'époque quaternaire et glaciaire.

La période tertiaire ayant pour caractère physico-météorologique essentiel la disparition de la chaleur centrale par quantités progressivement croissantes de l'équateur au pôle, et géologiquement la dislocation des couches de l'écorce terrestre, grâce à un état de tension formidable de ces couches, dû à l'introduction des eaux dans les fissures et cavités produites, comme aussi à la haute température des eaux incluses dans les roches et les strates inférieures des masses sédimentaires; toutes ces eaux surchauffées devaient produire des vapeurs à expansion énorme, et soumettre les eaux de surface à une évaporation considérable en s'y condensant ou en les traversant.

N'oublions pas que le fond des mers n'était pas encore rafraîchi par les courants d'eau glacée provenant du dégel de la calotte de glace des pôles, et que la température y était alors celle des couches terrestres sous-marines thermiquement influencées par la chaleur interne ou centrale.

L'action solaire, à l'époque quaternaire et fin du tertiaire, devait être approximativement ce qu'elle est aujourd'hui et ajouter son contingent d'action à celui fourni inférieurement; mais cette action, partout où la température solaire était inférieure à celle de l'écorce terreste à sa surface, ne pouvait agir qu'en chauffant les masses de vapeur des régions élevées de l'atmosphère, où elles se refroidissaient par suite moins vite et, par conséquent, cela augmentait d'au-

tant l'épaisseur ou la hauteur de l'air saturé. On comprend aisément que, prise entre deux feux ou sollicitée par une double action, l'évaporation des mers dut produire des épaisseurs d'air saturé d'une puissance et d'une activité qui devaient encore satisfaire facilement à n'importe quelle demande ou absorption des immenses condenseurs nouvellement formés.

Depuis la disparition de l'une des causes, tout a changé, et les condenseurs sont, dès lors, devenus presque inoccupés.

Les adversaires de la chaleur centrale opposent souvent l'argument que, pendant l'époque primaire, c'est-à-dire à l'époque de formation des houilles, dont on retrouve des gisements du pôle à l'équateur, la température, sous l'influence de la double source de chaleur solaire et interne, aurait dû être de 90 à 100 degrés à l'équateur, pour être de 50 degrés au pôle[1].

Cela n'est pas possible, car un corps sollicité à se chauffer par deux sources de chaleur de 50 degrés diagonalement placées l'une par rapport à l'autre, ne porteront pas ce corps à une température de 100 degrés, pas même à 60, elle restera à 50 degrés; toutefois, si le corps est épais, il s'échauffera à 50 degrés de deux côtés à la fois, et jusqu'à ce que les effets des deux sources de chaleur se rencontrent; s'il s'agit d'un liquide, il fournira à l'évaporation des deux côtés à la fois, mais la vapeur produite sera toujours correspondante à 50 degrés et son volume seulement sera plus considérable. Cet argument n'a donc pas grande portée, car les effets en vapeur s'ad-

[1] Hermite, principes de géologie, page 71. — De Lapparent, géologie, page 1464.

ditionnent, mais non les températures pour en former une plus élevée.

Voilà donc la Terre arrivée à la fin du tertiaire, avec une température polaire s'abaissant de plus en plus, des massifs de montagnes s'élevant toujours davantage à de grandes hauteurs un peu partout dans l'hémisphère boréal et, à l'équateur, deux actions calorifiques encore en pleine vigueur et saturant l'atmosphère d'une masse formidable de vapeur d'eau.

Dans ces conditions, est-il vraiment urgent ou utile de faire intervenir l'action volcanique pour expliquer les choses et faire sortir les vapeurs nécessaires aux précipitations aqueuses de l'époque, de cratères activés par des réactions chimiques seulement?

Assurément non! Si la chaleur centrale n'existe pas, la masse interne du globe est alors solide, et, si elle est solide, on se rend difficilement compte des effets d'oscillation du sol s'abaissant d'un côté sur d'immenses étendues pour s'élever d'un autre à des hauteurs souvent formidables. Il faudrait que la matière solide interne de support fût terriblement élastique, pour permettre ces changements orographiques.

Les volcans, avec leurs réactions chimiques, creuseront bien quelques cavités que le foisonnement des matériaux éboulés aura plus ou moins vite comblés, mais sous une Méditerranée ou un Océan qui se forment, il ne suffira jamais de quelques vides pareils pour faire place aux couches effondrées d'une si immense étendue. N'est-il donc pas plus simple d'admettre des diminutions générales de volume formatrices de vides provoquant l'effondrement sur une matière fluide facilement ascensionnelle ou déplaçable, équilibrant par une surélévation les masses effondrées et permet-

tant aux masses supérieures soumises à tension de se mouvoir aisément, tout cela grâce à une fluidité interne dont on a tant de preuves? Tous ces efforts internes et orogéniques sont facilement expliqués par les tensions formidables dont je viens de parler.

La chaleur originelle du globe terrestre explique donc, par la thermodynamique, non seulement les phénomènes de formation de celui-ci, ainsi que les grandes variations d'intensité des oscillations du sol, le soulèvement des montagnes pendant les époques primaires agitées, le calme relatif des temps secondaires, enfin ceux très agités des époques tertiaire et quaternaire; mais elle explique aussi victorieusement la production des vapeurs et des précipitations de ces dernières époques.

L'analyse des systèmes concurrents et leur critique ajoutera, je l'espère, à la valeur de mes démonstrations.

Systèmes divers des causes auxquelles sont attribuées les précipitations quaternaires et les formations glaciaires.

C'est ici le moment d'aborder l'hypothèse de la chaleur solaire comme agent formateur des phénomènes glaciaires.

Cette théorie de la décroissance du Soleil, qui est entrée récemment en ligne, est celle du Dr Blandet, basée sur la théorie de Laplace et attribuant au Soleil, pendant les époques anciennes de la géologie, un diamètre énorme et décroissant. Lorsque son diamètre apparent eut atteint 47 degrés au lieu des 32′ et 3″ qu'il présente aujourd'hui, soit un diamètre

87 fois plus grand, les régions polaires étaient comme le reste de la Terre inondées de lumière; la partie obscure du globe était réduite à un segment de la sphère et les nuits polaires n'existaient pas (fig. 9).

Avec cette hypothèse fort admissible, si le Soleil provient effectivement d'une concentration des matières cosmiques, ce qui est généralement admis aujourd'hui, on aurait eu un Soleil déjà très chaud, occupant à peu près l'espace compris entre Mercure et le Soleil actuel, c'est-à-dire environ les $^2/_5$ de l'espace compris entre la Terre et le Soleil.

Cet astre, dont les rayons, au solstice d'été, eussent enveloppé la Terre jusqu'au cercle polaire dans l'hémisphère boréal, tout en rasant son pôle austral, aurait, grâce à une chaleur ainsi enveloppante, plus modérée il est vrai, mais plus rapprochée, réparti son action assez uniformément partout. De là, absence de saisons, température favorable à une production de vapeurs considérables et suffisantes pour fournir encore à l'époque tertiaire et quaternaire l'élément calorique nécessaire à la formation d'abondantes vapeurs, source des précipitations aqueuses et froides de l'époque glaciaire.

Ce système, pour expliquer l'uniformité de température, paraît au premier abord si attrayant, qu'il est admis par bien des géologues, notamment par M. de Lapparent et même par M. Falsan dans sa récente publication sur les glaciers; mais ce système, passé au crible de l'analyse, ne remplit plus, à l'époque quaternaire, que fort imparfaitement le but cherché, et je dirai même qu'il ne le remplit plus du tout.

D'abord, en supposant une répartition de la richesse du Soleil en calories, dans une sphère de 87

diamètres de celle d'aujourd'hui, il faudrait pouvoir connaître la relation entre les chaleurs spécifiques du corps dilaté et de celui d'aujourd'hui, ce qui est impossible, établir le pouvoir rayonnant du gaz de la surface dans les deux cas et ainsi de suite pour une foule de facteurs ; il faudrait connaître tout cela pour se rendre compte de l'effet, comme température, du Soleil de 47 degrés sur la Terre d'autrefois ; mais cela n'est nullement nécessaire pour prouver ce que je viens d'avancer comme action inutile au but cherché à l'époque quaternaire. En effet, il saute aux yeux que la quantité de calorique transmise alors aux régions polaires l'était au détriment de celle transmise aux régions équatoriales. La somme de chaleur fournie depuis cette époque peut être considérée comme ayant toujours augmenté, puisque la chaleur du Soleil provient précisément du travail mécanique de la concentration et que cette concentration continuera jusqu'à ce que l'astre soit devenu liquide, ce dont il est probablement, vu sa faible densité, encore fort éloigné.

Mais en fournissant de moins en moins de sa chaleur aux régions polaires, le Soleil, en se concentrant et devenant par le fait de ce travail de concentration plus chaud et actif là où il agissait, fournissait donc de plus en plus de la chaleur aux zones torrides et équatoriales, et aujourd'hui il leur en fournit donc évidemment le maximum de ce qu'il leur en a jamais donné (fig. 10).

Or, la masse des vapeurs d'eau produites par le Soleil dans ces chaudes régions serait donc actuellement un maximum ; mais, chose curieuse, ces vapeurs avec les mêmes condenseurs polaires et montagneux

que ceux de l'époque glaciaire, aussi étendus et froids qu'à cette époque, précisément à cause de la concentration solaire qui défavorise leurs latitudes, ces vapeurs, avec les mêmes appareils de réduction, ne produisent plus que des névés rachitiques et des glaciers minuscules comparés à ceux de jadis.

La force active du Soleil, comme production de vapeur, enrichit l'atmosphère des $^{45}/_{10000}$ de son poids, correspondant sur la Terre à une couche d'environ 5 centimètres d'eau, et ce n'est pas avec une base aussi minime de rotation de vapeur, nourricière aujourd'hui des précipitations aqueuses et neigeuses, qu'il faut assurément tenter de vouloir expliquer les grands phénomènes quaternaires et glaciaires.

Les massifs montagneux ont vite fait chaque année, comme je l'ai dit dans ma précédente communication sur la phase jovienne, pour réduire par condensation les vapeurs produites, et la saison sèche succède partout rapidement et longuement à celle des pluies.

Le Soleil agrandi, mais déjà dans un état très concentré, n'a pu produire d'action calorifique utile et agissante sur la Terre en voie de refroidissement, que lorsque la chaleur propre et interne de celle-ci ne l'emportait pas en intensité sur celle lui arrivant de l'astre central, cela est incontestable. Jusqu'à cette époque, il n'y eut donc pas de saisons possibles à la surface de la Terre.

Lorsque la croûte terrestre avait une température de 300 à 500 degrés, par exemple, limites entre lesquelles la vapeur d'eau put se réduire en eau et occuper le sol terrestre, grâce aux formidables pressions des vapeurs atmosphériques de l'époque, le Soleil ne donnait alors assurément aucune chaleur à

la Terre qui n'avait que faire d'un appoint calorifique qui ne lui eût pas même valu comme aujourd'hui une température moyenne générale d'environ 15 à 16 degrés, soit le trentième environ du calorique qu'elle possédait alors en propre à sa surface. Ce fut là la fin de l'époque primitive, alors que les gneiss et les micaschistes, c'est-à-dire les roches cristallines et feuilletées étaient en voie de formation sous l'influence des deux agents, chaleur interne et mers très chaudes.

Lorsque la température de la croûte terrestre et de ses eaux descendit à 50 degrés et au-dessous et que la vie put apparaître, l'apport calorifique utile fourni par le Soleil ne dut pas être plus considérable. Pendant l'époque des terrains primaires, la Terre se passa donc aussi d'un apport de chaleur équivalant à peine au quart ou au cinquième de sa température superficielle propre.

Avant de dire, comme le prétendent certains géologues, qu'aussitôt après la solidification de la première croûte terrestre, la transmission de la chaleur interne devint presque nulle[1], il faudrait établir d'abord la quantité de cette chaleur, puis dire par où a passé ce calorique des 70 000 mètres d'écorce terrestre réduite, comme température, à presque 0 degré à sa surface et dont la masse primitivement liquide est devenue solide, ce qui suppose une perte de quelques mille degrés en moyenne.

Cette perte de chaleur s'est donc effectivement produite peu à peu, laissant l'écorce terrestre dans les conditions thermiques actuelles. Après les 40 à 50 degrés de chaleur, la température de la surface est descendue à 30, à 25 degrés et, plus tard, à

[1] De Lapparent, géologie, page 1464.

20 degrés, et ainsi de suite. Est-ce montrer une hardiesse bien extraordinaire que d'attribuer ces dernières températures aux époques secondaire, puis tertiaire qui ont suivi l'époque primaire? Le peu de conductibilité des couches terrestres ne prouve pourtant pas l'absence de conductibilité, mais seulement que la masse énorme de calorique intérieur qui a disparu a mis un temps très long à s'en aller, en maintenant égale d'un pôle à l'autre la température de la surface de la Terre pendant de très longues périodes de temps. Cela s'est produit tant que la chaleur du Soleil n'a pu, faute de puissance, rompre cet équilibre par l'apport de sa chaleur si inégale suivant les latitudes.

Enfin est arrivée cette période critique de la fin du tertiaire, qui devait fatalement se produire, où le refroidissement interne de la croûte, activé au pôle par le manque d'appoint en calorique solaire, était ralenti dans les zones torrides et équatoriales par l'apport d'un calorique solaire relativement considérable et qui, peu à peu, a remplacé à la surface l'apport décroissant de chaleur interne.

Nous avons déjà vu et nous verrons encore, à propos de la formation des vapeurs d'eau, que c'est sollicitée par des actions mécaniques dues à cette inégalité de chaleur interne, que la croûte terrestre a dû subir ces formidables actions orogéniques de l'époque tertiaire, dont jusqu'ici les géologues n'ont su, pas davantage que pour celles de l'époque primaire, expliquer le *comment* et le *pourquoi*.

L'admirable théorie de la formation des mondes de Descartes, non moins admirablement corrigée et complétée par Laplace, rend compte non pas seulement de la concentration du Soleil, que l'on invoque aujourd'hui

pour expliquer l'absence de saisons sur la Terre aux époques anciennes de notre globe, mais aussi la concentration des éléments de notre planète, qui explique bien mieux que le système précédent basé sur le Soleil: 1° les décroissances de la température aux diverses époques géologiques; 2° les actions orogéniques, ainsi que leurs dates forcées dans l'histoire des révolutions de notre planète; 3° l'impuissance du Soleil, jusqu'à une certaine époque, à pouvoir faire régner sur la Terre le système météorologique des saisons dont il est la cause; 4° enfin les phénomènes si étranges de la période quaternaire et glaciaire.

En résumé, le Soleil, quelque agrandi fut-il, a toujours opéré comme aujourd'hui inégalement sur la Terre, vu l'obliquité de son orbite sur l'écliptique; les saisons se sont toujours produites, d'abord à la surface de l'atmosphère, puis plus bas, se rapprochant de la surface terrestre au fur et à mesure que la chaleur interne diminuait, enfin sur cette surface même lorsque la chaleur interne ne supplanta plus celle du Soleil. La concentration du Soleil dans ses phases de prolixité a pu aider à favoriser la Terre de différences de température moins grandes entre les saisons là où celles-ci régnaient, mais elle n'a jamais été la cause de leur absence primitive.

La vraie et grande cause est conséquemment tout autre.

Donc impuissance complète comme formation extraordinaire et exceptionnelle de vapeur, tel est, au point de vue de la théorie des glaciers quaternaires, le résultat du système Blandet.

On objectera peut-être que l'époque des grandes formations de vapeurs et de neige correspondait au

moment où le Soleil agrandi chauffait encore de plus grandes surfaces sur la Terre et y produisait donc plus de vapeurs qu'aujourd'hui.

Mais, plus les régions polaires étaient chauffées, plus les condenseurs l'étaient et moins ils rafraîchissaient l'air, ce qui est prouvé par ce qui se passe actuellement avec les condenseurs en hiver et en été; les deux choses sont incompatibles, car il suffit d'une très petite augmentation de la température moyenne pour mettre les glaciers en retrait. Il serait vraiment étrange que la région polaire, aujourd'hui abandonnée par le Soleil pendant six mois et ne condensant de vapeur en neige que ce qu'elle condense actuellement, eût pu en condenser davantage sous forme de neige avec l'action d'un Soleil chauffant cette même région annuellement pendant deux ou trois mois de plus. La longueur annuelle de temps pendant laquelle les abondantes vapeurs fussent tombées en eau au lieu de tomber en neige eût augmenté, et voilà tout.

En résumé, si le système d'un Soleil agrandi et en voie de concentration pouvait, à la rigueur, expliquer jusqu'à un certain point une égalité partielle des climats de l'époque primaire et secondaire, il est radicalement impuissant à expliquer les précipitations de l'époque glaciaire, car si sa force vaporisante était suffisante, il chauffait par contre trop les condenseurs et les régions froides pour y provoquer la chute des vapeurs sous forme de neige, élément nécessaire à la formation des immenses glaciers de l'époque.

Autres systèmes divers.

Je ne m'étendrai pas sur les innombrables hypothèses émises pour expliquer le phénomène glaciaire.

En général, ce qui a préoccupé les chercheurs, c'est le froid; ils pensaient et croyaient que le phénomène était dû à un refroidissement de la Terre, vu la basse température qui régnait alors, envahissait peu à peu des régions tempérées, surprenait même des troupeaux de mammouths et d'autres animaux dont les restes se trouvent ensevelis dans les amas de glace du nord de l'Asie, etc., etc.

En cela, ces naturalistes confondaient l'effet avec les causes. C'est l'accumulation des glaces qui a refroidi les contrées occupées par les glaciers et rafraîchi par la fusion des glaciers les mers et leurs lits sous-marins, activant ainsi presque partout le refroidissement de l'écorce terrestre.

Ce refroidissement mit fin à l'abondante provision des vapeurs nécessaires pour alimenter les précipitations neigeuses; et ces précipitations, agents nourriciers des névés, devenues insuffisantes pour compenser la fusion due à l'action solaire, la grande période glaciaire prit fin en se réduisant, faute de vapeurs alimentaires, aux minuscules glaciers contemporains.

La preuve de ce que j'avance est facile à faire; en effet, les condenseurs actuels suffisent pour condenser en très peu de jours tout ce que le Soleil produit actuellement de vapeurs, et l'air saturé est assurément l'exception dans la masse atmosphérique. Une diminution de température diminuerait l'évaporation

des mers au lieu de l'augmenter et, en outre, la tension de la vapeur diminuerait aussi ; par suite, une même différence de température entre l'air chargé et celui des condenseurs produirait une condensation bien moindre de vapeur d'eau.

Entre 20 et 10 degrés, la perte de tension est de $17^{mm},363 - 9^{mm},139 = 8^{mm},224$; entre 30 et 20 degrés, cette perte est de $31^{mm},509 - 17^{mm},363 = 14^{mm},146$, presque deux fois plus forte, et comme le poids de vapeur croît considérablement avec sa tension, on voit immédiatement qu'un abaissement général de température irait à l'encontre d'un accroissement de vapeurs condensées et, par suite, il renverse les hypothèses suivantes :

a) Refroidissement dû à la précession des équinoxes (qui produit 36 jours d'été de plus dans un hémisphère en défaveur de l'été de l'autre).

b) Taches du disque solaire, neutralisant ses effets calorifiques complets.

c) Déplacement de l'axe terrestre, changeant les régions polaires.

d) Changement de direction du Gulf Stream, n'amenant plus la chaleur au nord.

e) Rupture de l'isthme de Panama, produisant le même effet.

f) Submersion du Sahara, rafraîchissant l'atmosphère.

g) Traversée d'espaces célestes très froids, abaissant la température sur toute la Terre.

Toutes ces hypothèses ne peuvent, pour les raisons indiquées, être acceptées et ne sont pas capables de résoudre la question.

La question ne peut trouver sa solution que dans un accroissement de production de vapeur d'eau suffisant pour faire travailler les condenseurs actuels avec toute leur puissance, comme autrefois.

Il ne reste donc dans cette direction que les systèmes : 1° de la chaleur centrale ; 2° du Soleil agrandi, système Blandet ; 3° ou enfin la production volcanique des vapeurs, système auquel se rallie M. Hermite.

Nous avons vu ce qu'il fallait penser du second ; il reste donc celui de l'action volcanique en concurrence avec celui de la chaleur centrale.

Or, chacun sait que la précipitation de la vapeur d'eau des volcans se produit généralement dans leur voisinage, et la situation des volcans, soit anciens, soit actuels, ne saurait expliquer l'extension des glaciers là où elle s'est produite. En effet, tandis que les Andes, massifs montagneux très élevés et riches en volcans, ne présentent aucune trace d'extension considérable de grands glaciers ; les Alpes, où les volcans furent toujours inconnus, ont présenté le phénomène glaciaire sur une immense étendue.

Les 300 volcans actuels, quelque formidables que soient parfois leurs éruptions, sont absolument impuissants à modifier le régime climatérique, non pas du globe, mais même celui des contrées voisines et, fussent-ils en nombre décuple, leur influence serait absolument insignifiante.

Comme nulle part on ne trouve trace d'un nombre assez considérable de bouches volcaniques pour expliquer la période glaciaire, il est donc permis de reléguer cette hypothèse au rang des autres.

Je n'étendrai pas outre mesure cette communica-

tion en examinant un à un et en détail les systèmes réfrigérants que je viens de rappeler, imaginés pour expliquer la période glaciaire, je ne ferais que répéter ce que l'on trouvera dans les publications sur la matière, notamment dans l'ouvrage récent de M. Falsan *(La période glaciaire)* qui en fait l'historique, les résume le mieux, et réduit toutes ces hypothèses à leur juste valeur.

Tous ces systèmes ne résolvent donc pas le problème de la formation des masses de vapeurs qui ont d'abord alimenté par condensation les courants d'eau quaternaires, puis provoqué la formation des immenses amas de neige et de glace de l'époque, amas qui couvraient le $^1/_{10}$ au moins de l'hémisphère boréal.

L'imagination de chercheurs à vouloir trouver absolument les causes d'un froid excessif était-elle au moins justifiée par la nécessité de ce surcroît de froid ? Pas le moins du monde, ainsi que je vais le démontrer dans le chapitre suivant, en prenant pour base ce qui se passe aujourd'hui et ce qui devait se passer alors avec les mêmes massifs de condensation.

De la condensation des vapeurs en eau et en neige. Formation des massifs glaciaires.

La quantité de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air saturé diminue considérablement avec la température. Il en est de même des tensions.

Ainsi, à diverses températures, un mètre cube d'air à la pression atmosphérique ordinaire est saturé en grammes de vapeur avec tension de mercure, comme suit :

				g			mm
A	0°	l'air est	saturé pr	5,2	avec	tension de	4,56
	5°	»	»	7,2	»	»	6,50
	10°	»	»	9,5	»	»	9,13
	15°	»	»	12,83	»	»	12,67
	20°	»	»	16,78	»	»	17,36
	25°	»	»	22,01	»	»	23,51
	30°	»	»	28,51	»	»	31,50
	35°	»	»	37	»	»	41,78
	40°	»	»	46,40	»	»	54,86
	45°	»	»	58,60	»	»	71,36
	50°	»	»	72	»	»	91,97
	60°	»	»	105	»	»	148,88
	70°	»	»	141	»	»	233,30
	80°	»	»	199,24	»	»	369,50
	90°	»	»	251,34	»	»	525,46
	100°	»	»	295	»	»	760

Ce tableau permet de suivre assez exactement ce qui s'est passé aux diverses époques géologiques en matière de condensation de vapeur d'eau.

Condensations de l'époque primitive.

Pendant l'époque primitive, la vapeur d'eau de l'atmosphère put finalement, après la précipitation de la grande masse des vapeurs d'autres corps, commencer par se condenser et former les premières mers d'eau très chaude, en laissant cependant dans l'atmosphère la majeure partie de l'eau en vapeur. La tension de cette vapeur devait être énorme; à 412 degrés, la vapeur d'eau ne se condense plus et reste en vapeur à n'importe quelle pression sous

laquelle les physiciens ont pu jusqu'ici opérer, mais ces pressions d'expérimentation ne sont rien en comparaison de celles qui devaient exister dans l'atmosphère, lors des premiers âges géologiques.

L'eau des mers de 4000 mètres de profondeur en moyenne représentait originairement sur la surface du globe, en vapeur, près de 300 atmosphères de pression à elle seule. L'atmosphère contenait encore alors tout l'acide carbonique correspondant à une trentaine d'atmosphères ; elle contenait aussi des bromures, des chlorures, des fluorures, ainsi qu'une foule de vapeurs sulfureuses et d'autres corps dont la température élevée de la croûte terrestre ne permit la précipitation qu'au fur et à mesure de sa diminution d'intensité.

C'est le moment de rappeler le développement pris par l'acide carbonique, dont la chaleur spécifique est de 0,184, comparée à celle de l'eau prise pour unité, et qui, aujourd'hui, au total, serait représentée par une couche de charbon uniformément répartie sur la Terre de moins de 2 millimètres d'épaisseur (car l'atmosphère n'en contient en poids que $^{5}/_{10000}$ contre $^{45}/_{10000}$ de vapeur d'eau). M. Hermite donne, comme poids du carbone existant dans l'air avant l'époque houillère, 1000 kilog. par mètre carré, correspondant en acide carbonique à 730 fois $^{5}/_{10000}$ ou $^{1}/_{3}$ d'atmosphère. Mais à ce chiffre il faut ajouter celui des masses calcaires formées depuis, soit celui d'au moins 1000 mètres d'épaisseur calcaire renfermant $^{275}/_{625}$ d'acide carbonique, soit plus du $^{1}/_{3}$ de leur poids : en défalquant l'eau de carrière et les matières mélangées à compter pour $^{1}/_{2}$ il reste au moins $^{1000}/_{2}$ $\times$ 2000 kilog. $\times$ $^{1}/_{3}$ = $^{2000000}/_{6}$ = 333 333 kilog. par

mètre carré, soit plus de 30 atmosphères de pression[1].

L'influence du Soleil ne se faisait sentir que sur les couches supérieures de cette atmosphère très dense et épaisse, et si elle y provoquait quelques courants aériens, ceux-ci n'avaient assurément aucune action dynamique sensible sur les couches inférieures.

Les précipitations d'eau de cette époque ne peuvent donc en général résulter que du refroidissement par radiation du système atmosphérique et l'eau condensée dans les hautes régions dut, pour sa grande masse ou sa majeure partie, se résoudre de nouveau en vapeur dans les régions basses et chaudes pour remonter derechef dans les régions élevées en enlevant ainsi et portant à la surface de l'atmosphère une masse de calorique qui s'y perdait là plus aisément que dans les couches inférieures, la radiation y étant plus facile et plus active.

J'ai exposé dans ma communication sur la phase jovienne en géologie que l'association et la dissociation des corps fut l'agent qui transmit le calorique interne à la surface de la masse cosmique en voie de concentration; à l'époque géologique primitive, ce fut l'évaporation et la condensation de la vapeur d'eau qui en fut l'agent transporteur principal.

La température de l'atmosphère en voie de diminution rapide régla la tension de la vapeur d'eau et provoqua peu à peu la condensation et la chute de

[1] Ce chiffre n'a de valeur que si le carbone des masses calcaires ne dérive pas de la décarburation de masses carburées en fusion sous l'action oxydante de l'eau de pénétration introduite par les innombrables fissures des premières couches solides de l'écorce terrestre. Cette production d'acide carbonique aurait ainsi pu avoir lieu à diverses reprises et enrichi l'atmosphère peu à peu et non d'une seule fois.

tout ce qui excédait la saturation correspondant à ces températures.

Condensations de l'époque primaire.

A l'époque primaire, la croûte terrestre ayant acquis une épaisseur suffisante, les affaissements de celle-ci se produisirent pour combler les vides laissés entre elle et la masse pâteuse interne ; les efforts orogéniques furent favorisés par l'introduction de l'eau des mers dans les profondeurs de la masse craquelée, et il se forma des massifs surélevés assez considérables, mais dont l'altitude, comparativement à celle de nos montagnes actuelles, fut modérée. La croûte effondrée ou soulevée était encore peu épaisse et les fractures peu distantes les unes des autres. Ces massifs soulevés et devenus condenseurs par leur refroidissement agissaient alors sur des couches d'air et de vapeurs à températures relativement énormes, peut-être 50 degrés à la surface de la Terre ; les moindres différences de température de l'air occasionnaient des diminutions de tension considérables, correspondant à des chutes d'eau très abondantes. Je l'ai déjà indiqué précédemment par des chiffres. C'est à cette époque que les mers continuent par conséquent à augmenter jusqu'à atteindre presque leur volume d'eau définitif.

L'action du Soleil, motrice des courants aériens, se fait sentir dans des couches atmosphériques de plus en plus basses et accessibles aux condenseurs montagneux récemment formés ; l'action résolutrice de

ceux-ci sur la vapeur d'eau fut donc favorisée par les courants et devint, par suite, très considérable.

Cette condensation de vapeur d'eau, par suite de la température relativement élevée de l'atmosphère saturée et de l'action de condenseurs travaillant, grâce aux courants aériens, sur des arrivages d'air si riches en vapeur, explique la puissance des courants d'eau de l'époque et la formation des roches arénacées de cette période.

La masse des vapeurs réparties presque uniformément partout avant l'époque primaire est, grâce aux condenseurs de cette époque, considérablement diminuée, le refroidissement par radiation dans les zones polaires atteignant, vu l'action inégale du Soleil, des couches atmosphériques plus basses, accentua encore l'action des courants, et, par suite, des condenseurs.

Toutefois, l'action des condenseurs diminue d'intensité avec l'abaissement général de la température; entre 60 et 40 degrés, les condenseurs précipitaient, par exemple, 58g,60 d'eau par mètre cube d'air saturé rafraîchi, alors qu'entre 40 et 20 degrés, par exemple, cette précipitation n'était plus que de 29g,62, différence 100 %.

Condensations de l'époque secondaire.

A l'époque secondaire, on a une diminution des précipitations de l'eau atmosphérique, car elle est réduite du côté des condenseurs, trop peu élevés pour entraîner, avec des températures moins fortes que pendant l'époque primaire, les chutes d'eau considérables de cette dernière époque. Les courants d'air dus au

Soleil travaillent comme pendant la fin du primaire, mais ne mélangent plus, à la hauteur des condenseurs, que des couches d'air plus froides, et dont les différences de température sont moins agissantes, comme précipitations de vapeurs; dès lors, les condensations sont réduites et moins importantes. La vapeur de l'air saturé des couches basses de l'atmosphère est moins pompée et aspirée, faute d'activité dans les condensations. Il eût fallu des condenseurs plus élevés, affectant des couches à températures plus différentes, pour produire de grandes précipitations et activer la rotation entre la formation des vapeurs et leur réduction en eau. De là, je le répète, ce climat tempéré de l'époque secondaire, mais, selon moi, non sec comme beaucoup le prétendent.

Les partisans du Soleil, système Blandet, se fondent aussi sur l'apparition aux époques précédentes, primaire et secondaire, de certaines espèces de la flore qui aiment l'ombre et une lumière modérée, pour en conclure que leur Soleil agrandi, à la lumière diffuse, fut naturellement, en raison de cette diffusion, la cause du développement de ces végétaux.

Mais est-ce que la grande hauteur ou épaisseur de l'atmosphère à l'époque primaire, chargée probablement encore d'une quantité de vapeur d'eau correspondant à plusieurs atmosphères de pression, ainsi que d'une masse encore énorme d'acide carbonique, absorbée plus tard par la formation des houilles, lignites et calcaires des masses sédimentaires postérieures, enfin chargée peut-être d'autres gaz, est-ce qu'une atmosphère pareille ne devait pas produire l'effet d'un brouillard épais, rendant diffus les rayons

lumineux du Soleil, tout en absorbant dans les hauteurs ses rayons caloriques obscurs.

A l'époque secondaire donc, les condensations étaient réduites comparativement à ce qu'elles étaient à l'époque primaire, mais ce n'est pas faute de production possible de vapeur d'eau, puisque la chaleur régnante était encore considérable et presque égale du pôle à l'équateur, que la décroissance de la température du bas au haut de l'atmosphère devait, comme toujours, favoriser la montée de l'air chaud saturé, et qu'enfin, dans les hautes régions, sous l'action solaire, les courants eussent pu transporter cette vapeur vers les condenseurs qui l'eussent absorbée. C'est donc la puissance de ces condenseurs qui était réduite, faute d'altitude et, par suite, d'action efficace sur des couches d'air à températures assez différentes. Tout cela s'explique assurément jusqu'ici avec autant de simplicité que de clarté.

Condensations de l'époque tertiaire.

Les premières périodes du tertiaire sont la continuation du secondaire sous le rapport des condensations, tant que l'écorce terrestre n'est sollicitée d'un pôle à l'autre que par des efforts thermiques presque uniformes d'abaissement de température; il y eut même calme dans la formation et la précipitation des vapeurs d'eau.

Mais, dès le milieu du tertiaire, les apports du calorique interne deviennent insuffisants pour alimenter les pertes de la radiation dans les contrées polaires, tandis qu'à l'équateur, où la perte est neutralisée par l'action solaire qui y agit avec toute sa

puissance, la perte de calorique interne est moindre, plus lente; l'air y est encore toujours chargé d'un épais matelas de vapeurs dues à ces deux actions calorifiques travaillant les mers.

Cet écart, de plus en plus considérable dans les actions calorifiques sur la croûte terrestre, provoque des efforts de dilatation, de tension et même de torsion, sur lesquels je n'ai pas à revenir, efforts auxquels la croûte, cependant très épaissie par la sédimentation et le refroidissement, ne résiste pas.

Les actions orogéniques recommencent avec plus d'intensité que pendant l'époque primaire. Les dislocations une fois produites, la force centrifuge qui anime notre planète active ou provoque également des déplacements de matières dans le sens vertical; un nouvel arrangement des terres et des mers devient nécessaire à l'équilibre de la masse agitée.

Des massifs montagneux très élevés prennent naissance, en raison même de l'épaisseur si grande de la croûte solide du globe, et des efforts souterrains sont engendrés dès les premières dislocations par la tension des vapeurs dues à l'eau de pénétration. Dès ce moment, tout va changer et la plus formidable révolution que le globe ait subie, au point de vue de son relief et au point de vue climatérique, va se produire. Au lieu d'une sédimentation régulière s'opérant partout paisiblement, sans grandes perturbations, ce que démontrent la flore et la faune, à peu près les mêmes partout, de l'époque secondaire et du commencement du tertiaire, la fin de cette dernière époque nous présente cataclysme sur cataclysme, des soulèvements multiples et considérables, enfin la formation de condenseurs montagneux gigantesques.

La zone marine équatoriale et torride aux eaux chaudes dans toute leur profondeur, d'une part, encore sous l'action de la chaleur interne qui s'y est moins vite usée que dans les régions polaires, d'autre part, sous l'action du Soleil y agissant extérieurement comme aujourd'hui, avec une grande intensité, cette zone est susceptible de fournir une masse indéfinie de vapeurs, quelle que soit l'absorption provoquée par les nouveaux condenseurs montagneux.

En effet, les régions polaires presque sevrées de tout arrivage notable de chaleur interne, maigrement dotées par la radiation solaire, ajoutent leur action de condensation à celle des montagnes gigantesques nouvellement formées et le régime des formidables précipitations de cette fin d'époque tertiaire et de l'époque quaternaire prend définitivement naissance.

Ces précipitations de vapeur d'eau étaient aussi énormes en intensité qu'actives à dévorer le maigre calorique encore amené dans ces régions polaires, soit par voie interne, soit par voie solaire; en effet, l'eau, pour se vaporiser dans les régions équatoriales et torrides, dévorait de la chaleur à la Terre et au Soleil, et ne rendait, comme nous le verrons plus loin, absolument aucune trace de ce calorique à la Terre, là où elle allait se précipiter en neige.

Tels sont, selon moi, les simples faits qui expliquent toute l'histoire de la formation glaciaire.

Revenons maintenant à la perte de chaleur:

Admettons que la vapeur dans la zone équatoriale se soit formée à la fin du tertiaire à 50 degrés, par exemple: son poids par mètre cube était de 72 grammes et sa tension de 91 millimètres de mercure. L'air saturé contenant cette vapeur était sollicité à monter

dans les hautes régions et à prendre dans les courants qui y conduisaient la route des régions où sa vapeur était dévorée et précipitée par condensation; cette vapeur perdait dans ce trajet considérable sa chaleur par rayonnement et sa densité par expansion et diminution de pression.

Les 72 grammes de vapeur à 50 degrés arrivaient ainsi peu à peu dans les régions polaires, répartis par exemple dans 8 mètres environ d'air saturé à 10 degrés, et renfermant chacun 9 grammes d'eau à la tension de 9^{mm} de mercure. Les 72 grammes de vapeur à 50 degrés étaient donc réduits par l'expansion à huit fois 9 grammes de vapeur, soit 72 grammes à 10 degrés: perte 40 degrés en route. Arrivée au condenseur, la vapeur d'eau, pour se condenser, ne perdait pas sa chalenr de vaporisation sur la Terre en réchauffant celle-ci, mais bien dans sa chute, vu le long trajet à parcourir dans les espaces célestes, avant d'arriver à la Terre. Donc, premier point: perte complète de chaleur originelle de la vapeur pendant son trajet horizontal et sa chute verticale.

J'ai supposé, pour ne pas compliquer les choses, que les 72 grammes d'eau étaient conservés jusqu'au point extrême d'arrivée dans leur volume primitif d'air dilaté, mais ce n'est pas ainsi que les choses se passaient réellement. Il pleuvait ailleurs aussi bien que sur les condenseurs, car si, par des mélanges avec de l'air des hautes régions, un mètre cube d'air à 50 degrés et 72 grammes de vapeur se mélangeait, par exemple, avec deux volumes égaux d'air à 20 degrés saturés à $16^{g},78$ de vapeur, on avait alors sensiblement trois volumes d'air à 30 degrés en moyenne, avec une saturation de 28 grammes d'eau par chaque

mètre cube, soit 74 grammes au lieu de 72 + 2 × 16,78 = 105,5 grammes que possédaient avant le mélange les trois volumes réunis; la différence se résolvait alors en pluie sur le trajet. Si ces mélanges d'air ne s'effectuaient pas en route, c'était avec l'air froid voisin des condenseurs montagneux qu'ils s'opéraient, et en raison des différences de tension qui en résultaient, il se produisait ainsi des chutes d'eau ou de neige d'autant plus considérables sur ces montagnes.

Jusqu'ici, on s'explique donc aisément la masse des précipitations d'eau de la fin du tertiaire et du quaternaire par la continuité de production dans les régions équatoriales des vapeurs dues à deux causes thermiques indiscutables, et par l'action des condenseurs formidables des régions tempérées en même temps que par celle des régions polaires définitivement refroidies par la disparition de la chaleur interne; mais ce qu'on s'explique plus difficilement, c'est la production des masses de neige et de glace, qui furent le résultat de ces chutes d'eau à une époque plus chaude que la nôtre.

A cet égard, ce qui se passe actuellement dans les glaciers va nous renseigner suffisamment, et, en l'appliquant aux conditions des précipitations de l'époque quaternaire, nous aurons alors la clef du mystère.

La production des vapeurs était alors perpétuelle été et hiver, du fait de l'une des sources de chaleur, celle interne, qui était presque fixe; du fait de la chaleur solaire, la production était variable comme aujourd'hui, en plus dans un hémisphère, aux dépens de sa production dans l'autre, ou vice-versa, sauf aux équinoxes. Or, nos glaciers actuels sont alimentés et entretenus, parce que pendant les six ou huit mois

de l'année, suivant les altitudes, il tombe de la neige au lieu de pluie, sur les hauteurs qui portent leurs névés alimentaires; mais cette neige est limitée en quantité par la vapeur d'eau, limitée elle-même par l'action variable du Soleil, et chose naturelle, les glaciers croissent ou décroissent suivant qu'il tombe plus ou moins de neige pendant un certain nombre d'années consécutives. Pour la croissance des glaciers, il faut des années à hiver humide; un cycle d'hivers secs produisant moins de neige vaut aux glaciers actuels une période de décroissance.

Toute la question consiste à savoir si en hiver l'action du Soleil, formateur des vapeurs à l'équateur et, par suite, des neiges, l'emporte ou non pendant quelques années sur l'action du Soleil ablateur des glaciers en été.

Si donc nous avions uniquement des années à hiver humide, les glaciers actuels croîtraient indéfiniment et reprendraient peu à peu et sans s'arrêter une extension considérable; leur accroissement deviendrait énorme, les massifs montagneux seraient rapidement couverts, et les hautes vallées seraient remblayées totalement par des amas de neige incessants; finalement, il n'émergerait plus de la masse montagneuse que les hauts sommets et l'action du Soleil sur la partie pierreuse des massifs disparaissant, l'envahissement de la région par un froid persistant en serait la conséquence. Le Soleil userait alors toute sa force et sa puissance sur la masse neigeuse et glacée, pour produire uniquement une fusion superficielle, engendrant des séracs et finalement de la glace en voie d'écoulement. Dès le moment où le terrain, suffisamment caché du massif glaciaire, ne serait

plus attaquable par les rayons solaires, l'accroissement du glacier serait considérablement accéléré. Or, avec la formidable production perpétuelle de vapeurs vers la fin du tertiaire et au début du quaternaire, il suffit relativement de peu de temps, une fois les condenseurs créés, pour arriver à ce recouvrement des terres et montagnes par l'abondante neige des hivers, et atteindre ce moment où l'action du Soleil s'usait en ces lieux, non plus à chauffer de la masse minérale rocheuse, et à y emmagasiner de la chaleur, mais simplement et uniquement à transformer les névés en fleuves de glace. C'est, à mon sens, on ne peut plus concluant et simple; il ne faut pas oublier que le calorique absorbé pour réduire 1 kilog. de neige en eau à 0 degré est de 79 calories, calorique entièrement usé en pure perte comme valeur réchauffante de la masse, cette eau à 0 degré ne restituant plus jamais aux mers, dans lesquelles elle se rendait, le calorique latent usé pour produire le changement d'état.

Voilà pour la période croissante des glaciers.

Voyons maintenant l'apogée du phénomène et sa période de décroissance ou de son déclin final.

Tant que la chaleur centrale put, en hiver, par son appoint d'action réchauffante et vaporisante sur les mers, contrebalancer la diminution de production de vapeur due au Soleil pendant son action minimum dans l'hémisphère boréal, et y suppléer, de manière à neutraliser largement, par d'abondantes chutes de neige, l'action ablative du Soleil pendant l'été dans le même hémisphère, la période glaciaire fut en voie d'accroissement, et vice-versa pour l'hémisphère austral.

Lorsque l'action décroissante de cette chaleur centrale ne fit plus en hiver, en matière de production de vapeur dans les contrées chaudes, que l'appoint nécessaire pour neutraliser la différence entre l'action du Soleil, productrice des vapeurs pendant la saison des neiges, et son action ablative pendant la saison chaude, les glaciers de l'époque arrivèrent à leur apogée et leur augmentation cessa.

Enfin, l'action décroissante de la chaleur centrale ne constituant plus qu'un appoint de plus en plus insuffisant pour neutraliser cette différence entre l'action du Soleil formateur en hiver des vapeurs et des neiges, et son action ablative en été, les glaciers décrûrent peu à peu, faute d'une alimentation suffisante de leurs névés nourriciers, et ils furent réduits finalement aux minuscules et chétifs glaciers tels que nous les possédons et en jouissons aujourd'hui, alimentés qu'ils sont par le travail du Soleil seulement.

Ainsi donc, avec la chaleur centrale on explique toute la formation glaciaire avec une certitude incontestable, en se fondant sur des faits qui se passent sous nos yeux encore aujourd'hui, ou sur des lois physiques dont les opérations dans le domaine glaciaire, pendant cette intéressante période quaternaire, ne furent que l'application.

On conçoit la différence de probabilité, pour ne pas dire de certitude, entre les deux systèmes, celui du Soleil agrandi et celui de la chaleur centrale.

D'un côté, c'est-à-dire de celui du Soleil, augmentation fort problématique de vapeur en hiver, puisque pour l'affirmer, il faudrait être certain que sa plus faible énergie calorifique était suffisamment compen-

sée par la surface terrestre plus étendue sur laquelle il travaillait et produisait des vapeurs; en outre, échauffement des régions polaires et de leur atmosphère, ainsi que des condenseurs, fait venant à l'encontre de la formation et de la précipitation de neiges plutôt que de pluies abondantes.

De l'autre côté, régions équatoriales et torrides encore chauffées souterrainement par la chaleur interne, et superficiellement par le Soleil, et régions polaires presque indemnes des deux sources de chaleur: faits favorables tous deux à la fois à une production considérable de vapeur et à leur précipitation sous forme de neige en hiver.

Je termine cette défense du système de la chaleur centrale, à laquelle j'attribue le phénomène de la période glaciaire, par une figure graphique donnant d'une manière bien rudimentaire et très hypothétique pour les valeurs attribuées, une démonstration visuelle et schématique de ce que j'ai voulu dire (fig. 11):

Sur un axe horizontal représentons les époques géologiques, savoir:

Pour l'ère plutonienne, une longueur représentée par 30 millions d'années.

Pour l'ère primitive, une longueur représentée par 20 millions d'années.

Ces deux chiffres peuvent être quelconques, mais à coup sûr considérables.

Pour l'ère primaire, une longueur représentée par 15 millions d'années.

Pour l'ère secondaire, une longueur représentée par 4 millions d'années.

Pour l'ère tertiaire, une longueur représentée par 2 millions d'années.

Ces trois chiffres admis approximativement par divers géologues[1].

Pour l'ère quaternaire, une longueur représentée par 1 million d'années.

Au-dessus de l'axe figurent deux courbes, une des températures moyennes de la surface terrestre (courbe *a*), et une autre de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère (courbe *b*).

En dessous de cet axe figurent également deux lignes, l'une *c* indiquant l'étendue des mers, l'autre *d* marquant les massifs émergés ou condenseurs montagneux.

La façon dont se comportent les quatre courbes rend compte de ce qui s'est passé aux diverses époques géologiques.

La courbe *a* des températures commence à — 273 degrés, zéro absolu, ascende à 8000 ou 9000 degrés pendant le maximum de chaleur plutonique, descend à la fin du primitif à 400 ou 500 degrés avec l'apparition de la courbe *c*, passe de l'ère primitive à l'ère primaire vers 130 degrés, arrive à 80 degrés, puis à 60, enfin au-dessous, date de l'apparition de la vie dans la première moitié du primaire, descend vers 40 degrés à la fin du primaire et s'infléchit de moins en moins, traverse le tertiaire et vers 30 degrés arrive au quaternaire et le franchit au-dessous de 20 degrés, aboutit enfin à l'époque actuelle, où la courbe reste horizontale vers 15 ou 16 degrés, température moyenne, grâce au Soleil, de la surface du globe[2].

[1] Voir de Lapparent, page 1466.

[2] Il s'agit ici de moyennes.

Passons à la courbe *b* des vapeurs d'eau.

La vapeur se forme pendant le plutonique par association de l'hydrogène et de l'oxygène dans les hautes régions de l'atmosphère, puis elle traverse le primitif sans diminution jusqu'à l'apparition de l'eau sur la Terre, point correspondant au commencement de la courbe *c* des mers; elle tombe ensuite très rapidement pendant le primaire, avec la croissance de la courbe *d* des massifs émergeants et celle de la courbe *c* des mers.

Les condenseurs (courbe *d*) n'augmentant pas pendant le secondaire, la réduction des vapeurs (courbe *b*) cesse, et l'augmentation des eaux *c* également. Vient ensuite la recrudescence des vapeurs pendant la fin du tertiaire et le quaternaire, en raison des contacts de l'eau des mers avec les couches chaudes internes du globe, grâce aux ébranlements et aux soulèvements considérables de l'époque, indiqués par la courbe *d*. Puis chute formidable pendant la fin du quaternaire et réduction à la quantité fixe de $^{45}/_{10000}$ dans une atmosphère stable et définitivement débarrassée d'une saturation générale. C'est ce qui est indiqué par cette courbe dès le moment où elle passe sous la courbe des températures au point *s*. Avant *s*, saturation presque permanente; après *s*, disparition de cette saturation générale.

La courbe *c* de la masse des eaux et des mers commence par les premières précipitations de la fin du terrain primitif, lors de la formation des gneiss et des micaschistes, premiers terrains portant des indices de strates; de là cette courbe s'éloigne de l'axe horizontal jusqu'à l'époque secondaire, en raison de l'augmentation des précipitations de vapeur, et dès le

secondaire, plus d'augmentation sensible, si ce n'est à la fin du tertiaire et quaternaire, où la condensation finale des vapeurs saturant l'air achève de donner par une très faible augmentation leur volume définitif aux masses liquides des mers.

La courbe *d* des massifs de condensation commence un peu avant la précipitation des premières eaux; elle croît par soubresauts pendant le primaire, est stationnaire pendant l'époque secondaire, augmente prodigieusement pendant la fin du tertiaire et le commencement du quaternaire, décroît à peine à la fin de celui-ci par les érosions et dénudations, et reste presque fixe à partir de cette époque.

Il est regrettable que les courbes ne puissent en l'état des choses être établies exactement avec des échelles concordantes en valeur, cela faute de données suffisantes, et vu la masse considérable de recherches et d'expériences encore à faire.

Malgré cette incertitude, il n'en est pas moins vrai que, d'après les données déjà obtenues, l'allure générale des courbes peut être considérée comme exacte et démontre clairement que l'époque fin tertiaire-quaternaire fut naturellement et forcément l'époque des grandes précipitations neigeuses, vu le degré de la température suivant la latitude, vu la masse de vapeurs saturant l'atmosphère, vu l'intensité des condenseurs, tous facteurs dans les meilleures relations pour produire ce phénomène.

Partout ailleurs, l'un des facteurs fait toujours défaut, ainsi après le quaternaire il en manque deux; la température et les vapeurs sont en arrière, et, chose curieuse, ce n'est pas du froid qu'il faudrait pour reproduire la période glaciaire, mais de

la chaleur agissant là où les condenseurs seraient hors de sa portée ou de son influence. En cela, M. Falsan est bien d'accord avec la base de cette théorie, lorsque, citant à l'appui Tyndall, il dit, page 208 : « Rien n'est plus précis que le langage de Tyndall (*la période glaciaire,* page 151). Il était si naturel d'associer l'idée de glace à celle de froid que même des hommes célèbres ont admis que pour assurer un grand accroissement de nos glaciers, il ne faut autre chose que l'abaissement de la température du Soleil. S'ils avaient réfléchi, ils auraient probablement demandé PLUS DE CHALEUR et non pas moins, pour produire une ÉPOQUE GLACIAIRE. Ce qui est réellement nécessaire, ce sont des condenseurs assez puissants pour congeler la vapeur produite par la chaleur solaire. »

Ceci est admirable d'exactitude et il peut sembler naïf aux yeux des profanes de voir des savants de premier ordre réclamer de la chaleur pour produire de la glace ; mais cette naïveté ne le cède assurément en rien à celle de ces mêmes savants, qui réclament des condenseurs pour précipiter et congeler les vapeurs produites par le Soleil, alors que celui-ci est déjà si impuissant à alimenter et à nourrir les condenseurs actuels ordinairement inoccupés et qui par suite ne produisent que les maigres et chétifs névés et glaciers que nous connaissons de nos jours.

Le chapitre de l'ouvrage de M. Falsan, *Sur les conséquences d'une surélévation nouvelle des montagnes,* est à cet égard d'un illusionisme poussé à sa dernière limite (voir page 209).

Possibilité de transmission de la chaleur centrale et quantité transmise au travers de l'écorce terrestre à l'époque tertiaire.

Mes études ne sont point suffisamment avancées pour pouvoir étayer sur des chiffres précis et indiscutables la quantité de chaleur fournie par la croûte terrestre pendant la fin du tertiaire.

Toutefois, il est aisé de comprendre ce qu'un sol perpétuellement chaud à 30 degrés ou plus dans les contrées équatoriales et torrides devait communiquer de chaleur aux mers, et, par suite, activer l'évaporation. Si nos mers profondes, au lieu d'être à 0 degré comme c'est généralement le cas aujourd'hui, et cela précisément depuis l'époque glaciaire, où les courants glacés sous-marins ont pris naissance et ont été pendant longtemps les agents actifs du refroidissement de l'écorce terrestre dans les parties recouvertes d'eau; si nos mers actuelles étaient à 30 degrés au fond et reposaient sur des bassins à pareille température, on peut se figurer aisément de combien l'action évaporante des eaux par le Soleil serait augmentée.

Le percement du Gothard a duré dix années, et jamais la température de 30 à 36 degrés des parois de son tunnel n'a diminué d'une minime quantité de degré de chaleur, de même au mont Cenis, à l'Arlberg, etc. Malgré une ventilation perpétuelle de plusieurs vingtaines d'années dans certaines mines et tunnels, jamais on n'a remarqué la moindre décroissance dans l'action rayonnante et réchauffante des parois de ces

excavations ou dans leur température ; il est donc bien permis de penser qu'une masse énorme comme la Terre, chauffée à la même température que les parois du Gothard et jusqu'à sa surface, qu'une masse pareille a dû fonctionner comme transmission calorifique avec la même intensité au moins que les dites parois, sur toute la surface de contact du fond des mers avec l'eau de celles-ci.

La croûte terrestre des trois quarts du globe était donc dans des conditions pareilles à celle des parois du tunnel du Gothard. On peut se représenter quel fourneau formidable cela devait constituer et quel travail monstrueux de production de vapeur cela devait opérer. Je me permettrai donc d'insister avec quelque détail sur cette question.

J'ai déjà donné les chiffres qui prouvent que la capacité en calorique d'un mètre cube de calcaire à 30 degrés peut chauffer 1350 mètres cubes d'air saturé à la même température. En admettant que le refroidissement de l'écorce ait pénétré à 70 kilomètres seulement et que la capacité calorifique de la masse soit seulement la même que celle du calcaire, de 0,200, on voit qu'une seule fois 30 degrés de chaleur perdue sur cette masse eût suffi pour produire 70 000 fois cette mise en température de 0 à 30 degrés de 1350 mètres cubes d'air contenant donc 28,5 grammes d'eau par mètre cube, c'est-à-dire ensemble 38,5 kilogrammes, soit 70 000 × 38,5 kilog. d'eau, ou 2695 mètres cubes par mètre carré de surface terrestre ; c'est un cube correspondant presque aux trois quarts du volume moyen des mers.

Voilà la force thermo-climatérique de cette disparition de chaleur traduite en eau vaporisée. Or, comme

c'est la masse centrale qui a fourni cette chaleur, combien de fois ne l'a-t-elle pas renouvelée avant que la conductibilité devenue de plus en plus difficile ait réduit à presque zéro, comme ils le sont aujourd'hui, les arrivages à la surface de la chaleur des couches plus profondes qui en recèlent encore une si grande quantité.

De nos jours, la rotation annuelle entre l'évaporation des mers et la précipitation des vapeurs correspond à 10 mètres d'épaisseur environ au plus en moyenne, comme enlèvement de l'eau des mers dans les contrées où le phénomène de formation des vapeurs est le plus intense; par conséquent, une seule fois la perte de 30 degrés de chaleur des 70 kilomètres d'écorce terrestre a produit une évaporation sur la Terre entière, correspondant à celle maximum actuelle due au Soleil de 300 années au moins[1].

On voit immédiatement ce qu'avec le renouvellement de la chaleur, ou l'afflux dû à une sphère de 6366 kilomètres de rayon, chauffée à peut-être 3000 ou 4000 degrés, pour ne pas dire 8000 ou 9000 degrés, une croûte de 60 à 70 kilomètres d'épaisseur, soit $^1/_{100}$ de son rayon, a dû transmettre de fois 30 degrés de chaleur au travers de son épaisseur, avant d'en venir à ce qui existe aujourd'hui, où cet afflux à la surface est presque nul.

L'objection que les géologues mettent en avant à propos de la possibilité d'une influence interne sur la température uniforme de la Terre aux époques anciennes, où la chaleur était uniformément répartie, est fondée sur le peu de conductibilité de l'écorce

[1] Ce calcul fait en tenant compte de l'étendue proportionnelle des mers et de la surface du globe.

terrestre pour amener à la surface cette chaleur interne et par conséquent parer au refroidissement rapide de la surface.

D'abord, la conductibilité n'est point si faible qu'elle ne soit suffisante pour résoudre le problème; quelques expériences restent à faire pour pouvoir donner les résultats exacts du calcul, mais dans cette conductibilité faible et modérée réside précisément, comme je l'ai déjà démontré à propos de l'action solaire, la cause qui a rendu le phénomène de la vaporisation et des précipitations long et durable, et produit, par suite, les éléments utiles à la formation des glaciers de l'époque[1].

[1] Les géologues citent ordinairement, pour démontrer l'impuissance de conductibilité de l'écorce superficielle terrestre à transmettre la chaleur centrale à la surface, le fait que la lave incandescente se refroidit si lentement que sa croûte refroidie supporte la neige sans que celle-ci fonde très rapidement sous l'action de la chaleur perdue de la lave en fusion sous-jacente.

On est vraiment surpris que des arguments d'une pareille faiblesse puissent être avancés. Ces savants devraient au moins supputer la valeur des deux facteurs, cause de froid et valeur de la chaleur des quelques mètres d'épaisseur de la lave en question, et ils verraient tout de suite qu'il n'y a aucun rapport entre le eas indiqué et celui d'une Terre de 13 kilomètres de diamètre, ayant à sa surface une température supérieure à celle que le Soleil peut lui donner aujourd'hui et une atmosphère continuellement en contact avec cette masse chaude.

Dire qu'aucune transmission de chaleur ne peut être effective dans ces conditions, autant vaudrait prétendre qu'un poêle chauffé dans un appartement est incapable de chauffer l'air de cet appartement ou que les parois du tunnel du Gothard n'ont jamais chauffé l'air de cette galerie souterraine.

Pour une pareille masse chauffée à environ 30 degrés à l'équateur avec des mers chaudes, tandis qu'au pôle elle devint à la surface rapidement froide, la lenteur et la faible intensité de la conductibilité de la croûte terrestre sont précisément des arguments en faveur d'une longue durée du phénomène de l'égalité de température primitive sur la Terre et de sa lente disparition, et par conséquent expliquent aussi d'autant mieux celui de la phase glaciaire au lieu de l'infirmer.

Entre l'époque où la perte de chaleur interne se produisait partout avec la même intensité d'un pôle à l'autre, et celle où cette perte est devenue presque nulle comme aujourd'hui, il y a eu une période de transition, où la perte s'opérait encore à une température notable à l'équateur et dans la zone torride, alors qu'elle était devenue prématurément presque nulle et à température très basse aux pôles. C'est à cette période critique de transition que nous devons à la fois et suffisamment de vapeur d'eau d'un côté, et suffisamment de condensation de celle-ci pour alimenter les énormes glaciers d'autrefois.

Un phénomène semblable à celui de la période glaciaire exigeait nécessairement un temps très long, dont la faible conductibilité des matières composant l'écorce terrestre était le premier facteur, tandis que si la conductibilité eût été pareille à celle des masses métalliques centrales de la Terre, ce facteur eût manqué et la transition eût été trop courte. Si la période pendant laquelle la chaleur centrale persistante produisit des masses de vapeurs dans certaines zones, alors que son absence permit la condensation de ces vapeurs dans d'autres, si cette période eût été courte, elle n'eût produit que de rapides chutes d'eau, mais nullement les masses de glace accumulées pendant des siècles sur les condenseurs de l'époque.

Au reste, je reviendrai, je l'espère, bientôt avec des démonstrations chiffrées sur cette question.

La phase glaciaire a été une et non divisée en périodes distinctes et séparées; elle a été seulement variable en intensité.

La cause que j'indique des formations glaciaires une fois démontrée, la thèse que j'énonce ici n'en est plus qu'une conséquence.

La disparition de la chaleur interne aux pôles, longtemps avant sa disparition à l'équateur, l'arrivage dans cette dernière région de la chaleur interne, comme aussi l'action du Soleil, produisant lui-même extérieurement, par sa propre influence sur les mers, un surcroît de vapeurs, sont des faits obéissant à des facteurs fixes, continus et sans variation sensible autre que la décroissance progressive régulière de la chaleur interne. Dès lors, les effets de ces causes fixes et continues en décroissant régulièrement, devaient être eux-mêmes fixes, continus, et marcher parallèlement avec le phénomène de la décroissance.

Donc, du côté de la formation des vapeurs, pas de variations considérables possibles, mais de petites variations dues aux taches du Soleil ou à des causes refroidissantes météorologiques passagères, voilà tout.

Du côté des condenseurs, c'est autre chose. Le soulèvement des montagnes s'est fait par soubresauts et irrégulièrement, un massif par-ci, un massif par-là est surélevé, de même pour divers plateaux et vallées; les fonds de certaines mers s'étendaient, d'autres s'approfondissaient. L'érosion des massifs montagneux fut aussi un agent de variabilité, en déplaçant l'altitude moyenne des condenseurs.

Tous ces accidents et variations durent, en certaines régions, accélérer, détourner ou même suspendre les condensations glacées.

Le Soleil avait sans doute comme aujourd'hui non seulement ses taches, mais encore ses projections de matière incandescente faisant varier sa puissance calorifique et son influence électrique.

Pour toutes ces causes, le phénomène général glaciaire a subi des variations d'intensité parfois considérables, mais jamais une suppression complète.

Cela a été suffisamment démontré par MM. de Lapparent et Falsan, pour que je n'aie pas à en recommencer ici les démonstrations.

Recherchant dans le Soleil, qui est immuable, la cause de la formation des vapeurs et constatant la non disparition des condenseurs, puisqu'ils existent encore aujourd'hui, mais seulement leur variation de travail, les démonstrations faites par ces auteurs sont d'autant plus solides pour le système que je défends que, pour ce dernier, il s'agit d'une source de chaleur non existant encore et fixe comme le Soleil, mais d'une source qui a disparu peu à peu et régulièrement. Donc, ce qui *a priori* est vrai pour eux, avec leur Soleil agrandi, l'est *a fortiori* pour le système que je préconise.

Je n'en dirai donc pas davantage là-dessus et constaterai avec ces mêmes géologues que les dépôts de lignites trouvés entre deux formations de terrasses ou de moraines (faits sur lesquels, entre autres, on se base pour admettre diverses phases glaciaires distinctes) proviennent, ou de lacs glaciaires ayant produit les formations suspectes, ou d'érosions ayant emporté des lambeaux de forêts et formé des radeaux

producteurs dans ces lacs des lignites constatés. Ces lignites furent ensuite recouverts par des arrivages morainiques dus à une recrudescence d'action du glacier. Parfois aussi des éboulements ont emporté des terrains stratifères avec leurs fossiles et les ont déposés dans ces lacs, et ainsi de suite.

Les variations d'intensité du phénomène glaciaire sont, à une échelle gigantesque, ce que les phases de retrait ou d'avancement des glaciers actuels sont à une petite échelle, et pas autre chose.

Le petit lac glaciaire du Champ-du-Moulin, sur lequel j'ai eu l'honneur de faire une communication à notre Société, est également un lac qui a laissé des dépôts végétaux qui permettraient, à la rigueur, d'attribuer sa formation à une période interglaciaire, mais un examen approfondi n'autorise pas d'en tirer cette conclusion.

A propos des terrasses ou anciennes rives que des travaux de levés de profils ou sondages ont constatées sous les mers, ou celles surélevées des fiords scandinaves ou d'ailleurs, n'oublions pas qu'avant la production des glaciers, les formidables actions orogéniques auxquelles nous devons, pendant l'époque tertiaire, tant de gigantesques montagnes, ont, de par la rotation de notre Terre, exigé une variation dans la distribution des mers et, par suite, de leur niveau. Puis est venue la masse des glaces quaternaires, surchargeant une vaste étendue de la surface terrestre, et changeant la densité de l'eau de certaines mers par les énormes courants d'eau douce provenant de leur dégel.

Or, en raison de cette surcharge et du changement du poids des eaux de certaines mers, la gravitation et

la force rotative qui gouvernent notre planète exigèrent encore des changements de forme et de niveau des mers pour se mettre en équilibre; de là encore des surélévations ou des abaissements qui influencèrent les phénomènes glaciaires et, par suite, le niveau de ses moraines, celui des dépôts argileux de ses torrents, ou enfin des graviers et cailloux charriés lors des crues par ceux-ci.

De la multiplicité des terrasses glaciaires, on ne saurait donc conclure à plusieurs phases glaciaires, mais à des fluctuations seulement, dues à des variations d'intensité et à des exigences d'équilibre de la masse terrestre.

Le phénomène glaciaire n'est point périodique. Il s'est produit une fois et ne se renouvellera plus.

Si l'on admet que la chaleur centrale aujourd'hui disparue ait joué un rôle prédominant dans le phénomène glaciaire, cette chaleur une fois disparue, toute chance de reproduction du phénomène se trouve écartée par le fait même de cette disparition.

Impossible de trouver ou d'imaginer un fait ou accident astronomique, météorologique ou géologique qui puisse reconstituer un facteur calorifique agissant similairement en l'occurrence comme l'a fait jadis la chaleur centrale.

Un réchauffement cosmique agira sur la Terre entière, par conséquent sur les condenseurs aussi, ou peut-être même davantage sur ces derniers; donc vapeur en masse, si l'on veut saturation encore, peut-être quelques pluies abondantes, comme à l'é-

poque primaire, mais de la glace point, les condenseurs étant réchauffés comme le reste ou même davantage.

En météorologie, une cause réchauffante est difficile à trouver, le Soleil donnant tout ce qu'il peut fournir; une cause refroidissante, oui, mais il est inutile d'y revenir, j'en ai déjà démontré l'inanité et l'impuissance. Augmenter la puissance en condenseurs est chose inutile; c'est de la vapeur qu'il faut et non du froid, les condenseurs sont déjà actuellement inoccupés les neuf dixièmes du temps.

En géologie, peut-être dira-t-on qu'une cause volcanique ou un nouveau refroidissement d'une nouvelle zone des terrains de la croûte terrestre sous-jacente à celle déjà refroidie pourrait, par une livraison nouvelle de chaleur, produire des vapeurs et, par suite, des phénomènes glaciaires analogues à ceux déjà obtenus par le refroidissement des couches supérieures de l'écorce terrestre.

Hormis ces deux cas à examiner, la reconstitution des actions dues à la chaleur centrale ne saurait être produite par aucune cause possible et accessible à l'esprit. Examinons donc les deux hypothèses précédentes.

Cause volcanique, éruptions ou rupture profonde de l'écorce terrestre.

Pour créer des ruptures générales assez intenses et durables, pouvant engendrer de nouveau des masses de vapeurs capables de saturer généralement l'atmosphère au point de mettre en activité complète la puissance de condensation des massifs montagneux

qui jouent ce rôle, il faudrait une cause à ces ruptures, et laquelle pourrait-on imaginer?

Des vides occasionnés par un refroidissement des couches centrales et la contraction comme conséquence des masses liquides internes et inférieures? Mais il est établi que la transmission de la chaleur interne à la surface est presque nulle aujourd'hui. Les calculs donnent pour résultat de $^1/_{50}$ à $^1/_{30}$ de degré, pour l'influence climatérique qui résulte à la surface de la Terre de cette perte actuelle de chaleur. Avec une perte aussi restreinte, il faudrait non pas des millions, mais des milliards d'années pour produire par contraction un vide capable de faire place à des effondrements continentaux nouveaux, mettant en contact généralement et longuement les eaux des mers avec les couches chaudes intérieures, cela d'une manière suffisante pour produire les vapeurs nécessaires à la formation de milliers de mètres d'épaisseur de glace sur la surface autrefois couverte par les glaciers.

L'intensité des phénomènes volcaniques est pour cette cause en décroissance complète depuis l'époque tertiaire, et le peu qui en reste est dû en majeure partie à l'introduction, dans les profondeurs, d'eau provenant des pluies et de sources, plutôt qu'à des infiltrations marines ou de celles-ci par des fissures réduites et de pénétration difficile et lente; de là, le temps très long qu'il faut pour produire la charge de vapeur expansible qui met de temps à autre ces éruptions en activité nouvelle. La grande masse des volcans a passé par les phases explosives et bouillonnantes ou stromboliennes, comme les appelait Sainte-Claire Deville, ainsi que par les phases solfatoriennes, et ils sont éteints aujourd'hui. Tous les volcans actuels

et il y en a 323, d'après M. Fuchs, dont un quart d'activité plus ou moins récente, n'ont, lors de leurs éruptions les plus longues et les plus formidables, jamais provoqué une perturbation *météorologique quelque peu générale* ou universelle au point de vue de l'hygrométrie de l'atmosphère et des condensations de vapeurs; celles-ci se précipitent en général dans le voisinage immédiat des volcans.

Pour produire les vapeurs d'une période glaciaire avec tous ses phénomènes, il faudrait plusieurs milliers de fois l'intensité des plus formidables éruptions connues et réparties un peu partout; en outre, il faudrait leur durée permanente pendant un grand nombre de siècles. Est-ce possible, dans les conditions de stabilité si grandes de la croûte terrestre et des eaux qui la recouvrent?

Evidemment non; passons aux ruptures de l'écorce terrestre!

Actuellement, l'action refroidissante de la Terre se traduit par des ruptures internes presque insensibles de l'écorce, et si ce n'était l'introduction de l'eau dans celles-ci, provoquant ces innombrables vibrations enregistrées par les seismomètres, il y aurait calme presque complet. D'autre part, les affaissements ou exhaussements lents de certaines contrées, dus à la dénudation du relief des terres par les eaux et la sédimentation inégale des mers, en vertu de la rotation du globe, modifient le niveau de ces dernières, mais ne sauraient provoquer avec le temps aucune perturbation sérieuse dans les couches chaudes et profondes du globe.

Pareil phénomène est donc, pour cette cause comme pour la précédente, hors de toute probabilité.

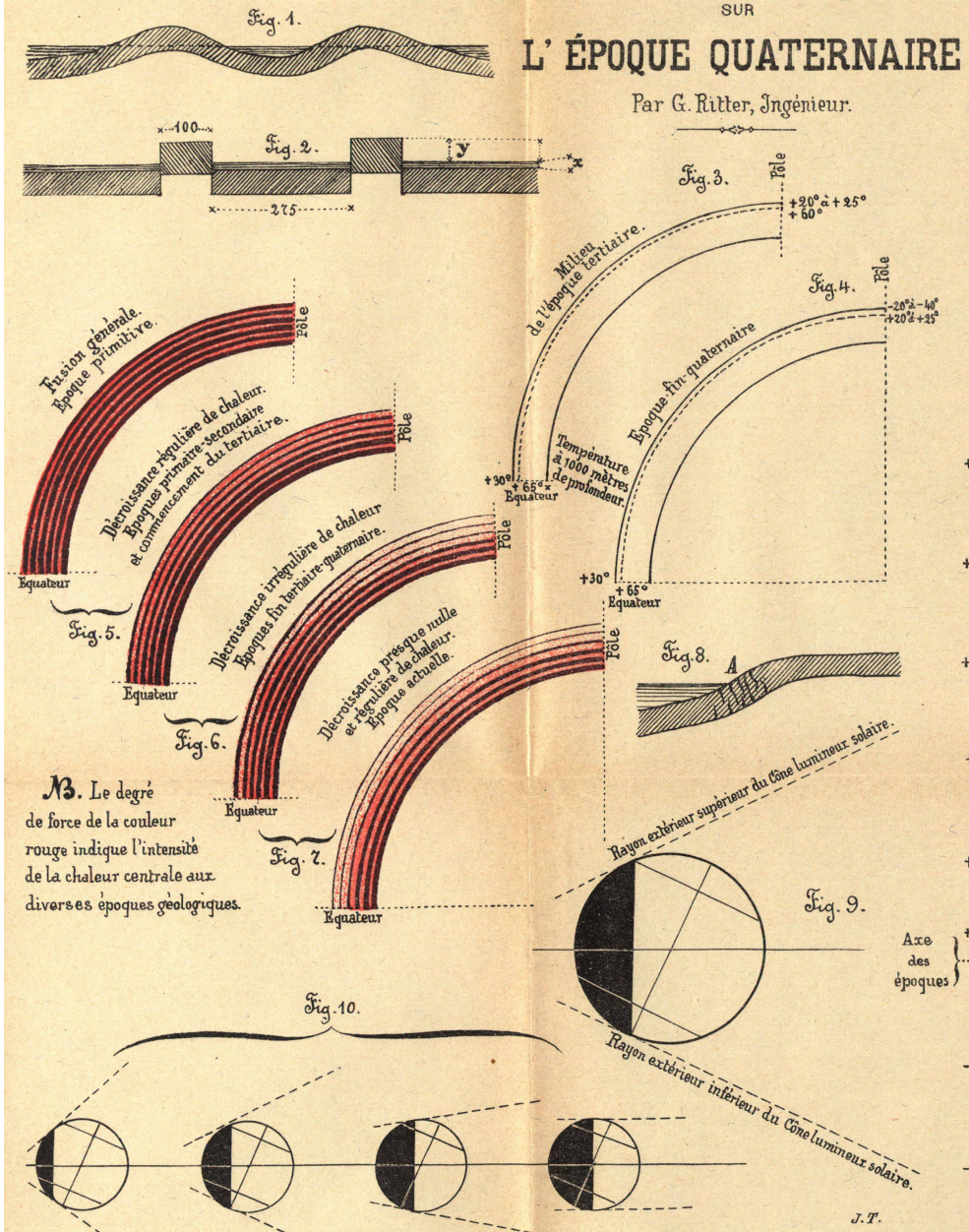
Résumé et conclusion.

Il résulte donc clairement et nettement des faits astronomiques et géologiques, soit actuels, soit de formation de notre planète et de constitution de ses couches, comme aussi des lois physiques et météorologiques qui régissent la formation de la vapeur d'eau à la surface du globe et sa précipitation en des points de condensation fixés par son orographie actuelle, il résulte, dis-je, que tous ces éléments, de quelque manière qu'on tenterait de les combiner, ne pourraient reproduire le phénomène glaciaire de l'époque quaternaire et ne l'ont produit qu'une fois. Tout ce qui pourrait reproduire les masses de vapeurs nécessaires au phénomène diminuerait ou annulerait l'effet des condenseurs, qui produiraient de l'eau et non de la neige.

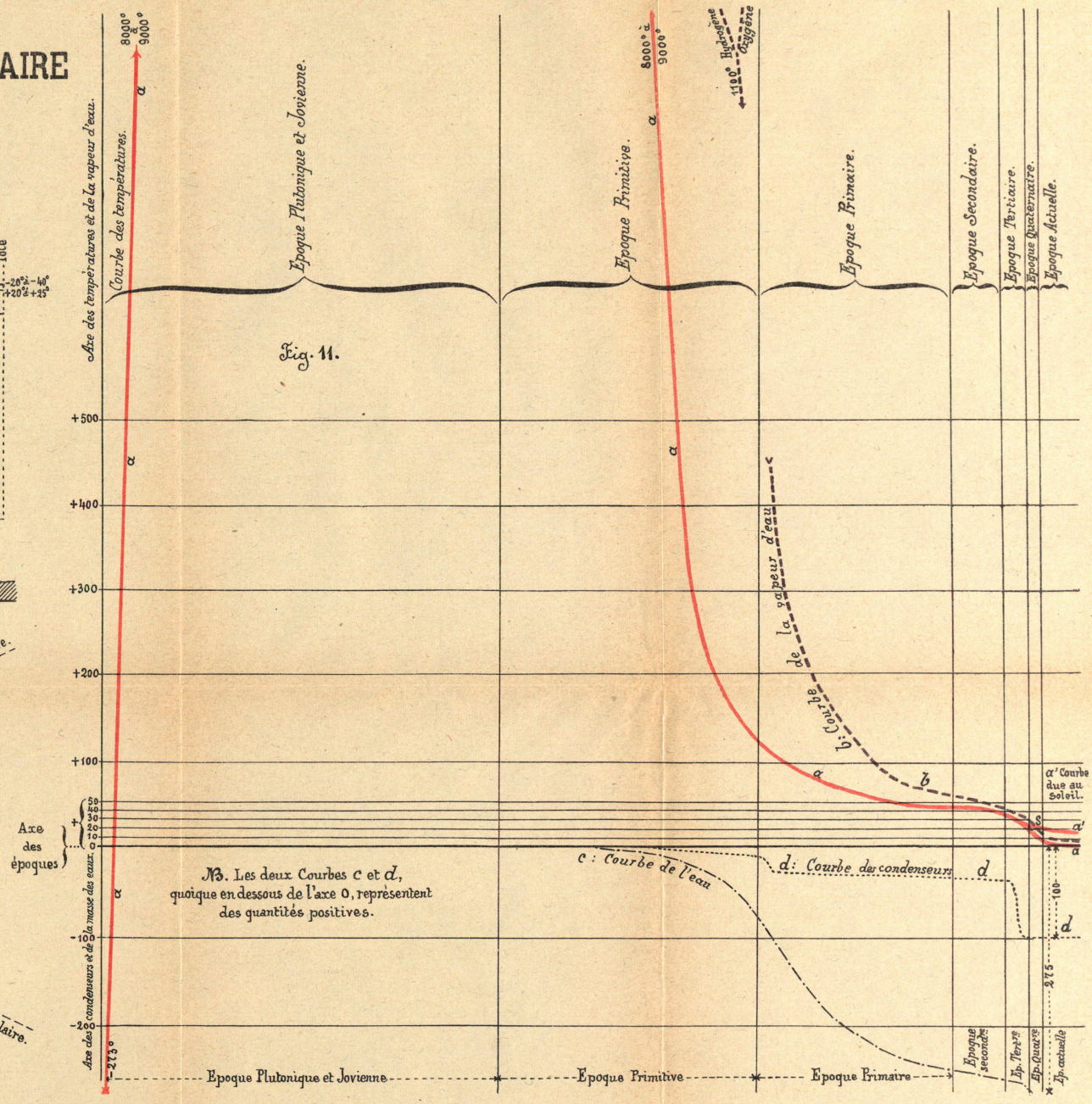
Tout ce qu'on voudrait imaginer inutilement pour activer les condensations diminuerait, par contre, la production des vapeurs, déjà si restreinte actuellement. La phase glaciaire est donc due à une force à jamais disparue, à la chaleur centrale. Avec celle-ci, qui n'est que le résultat thermodynamique forcé de la concentration des matières cosmiques qui ont formé notre globe, on explique aisément : 1° tous les mouvements orogéniques qui ont travaillé l'écorce terrestre depuis l'époque primitive à l'époque actuelle ; 2° l'uniformité de température décroissante sur le globe aux époques primaire, secondaire et en partie tertiaire, malgré la variabilité d'action du Soleil due à l'obliquité de l'écliptique sur l'orbite terrestre ; 3° avec la chaleur centrale décroissante et devenue

COMMUNICATION
SUR
L' ÉPOQUE QUATERNAIRE

Par G. Ritter, Ingénieur.



N.B. Le degré de force de la couleur rouge indique l'intensité de la chaleur centrale aux diverses époques géologiques.



impuissante, à la fin de l'époque tertiaire, à neutraliser les différences ou variations calorifiques solaires pour maintenir encore partout la fixité de température sur la Terre d'un pôle à l'autre, on explique avec non moins de facilité cette curieuse phase des formidables actions orogéniques tertiaires, formatrices de condenseurs puissants, ainsi que le refroidissement polaire, en même temps qu'on démontre le maintien pendant un temps encore très long d'une énorme production de vapeurs dans les zones équatoriales et torrides; en d'autres termes, on explique victorieusement ce qui constitue le phénomène des grands courants et des grands glaciers de l'époque quaternaire; 4° enfin, avec la disparition presque complète aujourd'hui des arrivages de chaleur interne, on se rend compte de la stabilité générale toujours plus grande de l'écorce terrestre, de la décroissance des actions éruptives et volcaniques, et finalement on explique encore avec facilité les actions si restreintes aujourd'hui, comme ampleur, du phénomène glaciaire.

J'ai pensé que ces conclusions, fruit de plusieurs années d'études et de réflexions, pour l'annotation et la démonstration complète desquelles il faudrait un volume, valaient la peine, malgré les publications parues depuis, qui en admettent certaines parties, d'être exposées ici brièvement, et qu'elles aideront à prouver dans une modeste mesure au monde savant que notre Société s'occupe toujours des recherches concernant la période glaciaire, recherches auxquelles se sont intéressés si vivement chez nous les Agassiz, les Guyot, les Desor, les Lesquereux et tant d'autres Neuchâtelois.