

LES CAUSES
DES
PHÉNOMÈNES GLACIAIRES
ET TORRIDES
JUSTIFICATIONS

PAR

JULES PÉROCHE

MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES
DIRECTEUR DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES

AVEC DEUX PLANCHES

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}

108, boulevard Saint-Germain

1878

LES CAUSES
DES
PHÉNOMÈNES GLACIAIRES ET TORRIDES
—
JUSTIFICATIONS

(Extrait des *Mémoires* de la Société des Lettres, Sciences et Arts
de Bar-le-Duc, tome VII, année 1877.)

BAR-LE-DUC, IMPRIMERIE CONTANT-LAGUERRE.

LES CAUSES
DES
PHÉNOMÈNES GLACIAIRES
ET TORRIDES
JUSTIFICATIONS

PAR

JULES PÉROCHE

MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES
DIRECTEUR DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES

AVEC DEUX PLANCHES

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}

108, boulevard Saint-Germain

1878

LES ÉLÉMENTS

PHYSIQUES

ET

STATISTIQUES

DE

PAR

M. J. L. L.

LES CAUSES

DES

PHÉNOMÈNES GLACIAIRES ET TORRIDES

JUSTIFICATIONS



DANS une précédente étude, nous avons exposé ce que nous croyons être les causes des grandes variations de température qui se sont empreintes dans les formations minérales. Pour nous, on le sait, ces phénomènes, plus ou moins modifiés par certaines autres actions, sont surtout le résultat du déplacement des pôles, déplacement que révèlent tout aussi bien les observations astronomiques que celles de la géologie. Nous avons à revenir sur quelques-uns des points établis. Nous signalerons en même temps un ensemble d'autres faits qui, en confirmant pleinement notre

hypothèse, donnent à notre démonstration tout son caractère et toute sa valeur.

I.

Nous avons dit en quoi consisterait le balancement de notre sphéroïde. La Terre, soumise aux attractions combinées du Soleil et de la Lune, n'oscillerait pas uniquement *avec* son axe, dans le mouvement de la précession des équinoxes, elle oscillerait en outre *sur* son axe, et c'est ce dernier balancement, corrélatif de l'autre, mais infiniment plus lent, qui, en éloignant ou en rapprochant des pôles les régions qui y confinent plus ou moins immédiatement, y déterminerait les grands changements de température que l'on connaît. Occupons-nous d'abord du mouvement considéré en lui-même.

Que faut-il pour qu'il s'accomplisse? Simplement, ainsi que nous l'avons montré, que notre globe, à part son enveloppe, soit encore à l'état fluide. Les affaissements et les relèvements polaires nous ont fait voir qu'il en est bien toujours ainsi. Les autres grandes ondulations du sol ne le démontrent pas avec une moindre évidence. En agissant sur le ménisque équatorial, les influences dont nous venons de parler ne feraient donc pas que changer la position de notre planète sur son orbite, elles entraîneraient de plus, et cela dans le même sens, en la soumettant à une sorte de torsion, une partie de la masse terrestre, sa croûte, et le déplacement des pôles n'en serait que la conséquence. On explique, à propos de la précession et de ses effets, que l'action du Soleil et de la Lune sur les molécules du bourrelet équatorial les fait rétrograder, et qu'ainsi le mouvement de rotation de la Terre s'en trouve ralenti. Le ralentissement viendrait en partie du glissement même de la croûte sur son noyau et il

se marquerait d'autant plus que l'orbite aurait plus d'excentricité.

Un des faits sur lesquels nous nous sommes appuyé pour mettre en évidence, astronomiquement, le balancement de la Terre sur son axe est justement le retard qui s'accuse dans sa rotation. Résultant d'anciennes observations d'éclipses, particulièrement de celle du 29 mars de l'an 721 avant notre ère, la différence avait d'abord été attribuée à une accélération du moyen mouvement de la Lune. Mais la théorie n'a justifié qu'à demi cette opinion, et M. Delaunay en a conclu que, pour le surplus, l'écart devait se rattacher au mouvement propre de notre globe. Le déplacement de son écorce, sur les bases que nous développerons plus loin, amènerait, à notre époque, un retard de 3 secondes $\frac{1}{2}$ de temps par siècle. Ce retard ne serait donc que très-inférieur à l'ensemble constaté, puisqu'il atteindrait 22 secondes.

On peut arriver à une démonstration plus directe de notre balancement. En 1866, à l'aide d'un appareil ingénieux, M. Évens, ainsi qu'il l'a fait connaître par une communication insérée dans les *Proceedings of the royal Society* (1), a établi la possibilité du déplacement des pôles par suite d'un glissement de l'écorce terrestre, et ce qui est surtout digne de remarque, c'est que ses conclusions théoriques se sont trouvées confirmées par celles d'un rapport de l'astronome royal d'Angleterre, montrant que le cercle méridien et les collimateurs de l'Observatoire éprouvent réellement des changements dans leur situation relative. Il est vrai qu'on s'est demandé si les variations ne seraient pas plutôt le résultat d'un glissement local du sol que d'un déplacement général. Le déplacement général, pour nous, est beaucoup plus supposable. Seulement, au lieu de se trouver dans les changements d'équilibre qu'admet le savant anglais, la cause n'en existerait que là où nous l'avons placée. Le fait ressort, du reste, également d'autres observations dont nous nous sommes déjà occupé.

(1) Tome XV, page 46.

A Greenwich, M. Maxwel a reconnu, de 1851 à 1854, une déviation des pôles de près d'une demi seconde. De son côté, M. le professeur Newcomb a relevé, à Washington, de 1862 à 1867, des variations de même nature. Là, toutefois, elles n'auraient constitué qu'une moyenne de 0''03. Mais, comme nous aurons à le rappeler, ce chiffre entre d'autant mieux dans nos justifications. Enfin, et comme autre attestation, nous mentionnerons les résultats obtenus en 1841-1842, à Pul-kowa, par M. Peters. A cette époque, et sur ce point, l'écart aurait été d'environ $3/40^{\circ}$ de seconde. Nous n'oublions pas qu'ici, dans l'un et l'autre de ces cas, ce n'est qu'à la mobilité de l'axe que les effets ont été rattachés. Mais les observations n'ont eu lieu qu'en latitude. Elles peuvent dès lors tout aussi bien justifier le simple changement des pôles dans les conditions de notre balancement. Il y a même d'autant plus de probabilité à cet égard que jusqu'ici les théories astronomiques, dans leur ensemble, n'ont en rien donné à soupçonner que l'axe fut réellement variable.

Ces constatations présentent-elles toute certitude? Elles n'ont rien, dans tous les cas, qui soit en opposition avec notre thèse. Mais les latitudes proprement dites nous offrent quelque chose de beaucoup plus positif et conséquemment de beaucoup plus concluant.

Les désaccords entre les déterminations de l'espèce ont longtemps été profonds, et il ne nous avait tout d'abord pas paru possible d'en tirer aucune induction utile. Avec le perfectionnement des instruments on est arrivé à une bien plus grande exactitude, et un regard attentif nous a fait voir que c'est encore là que nous avons à trouver les indications les plus précises. En 1808, Arago a fixé, à Formentera, à $38^{\circ} 59' 56'' 02$, la latitude du point extrême de sa triangulation de l'Espagne. En 1827, répétant les mêmes opérations, Biot n'a plus obtenu que $38^{\circ} 59' 53'' 19$. C'est une différence de $2'' 83$ (1). La latitude de l'Observatoire de Paris a été éta-

(1) Bertrand, *Journal des Savants*, année 1874, page 707.

blie, en 1815, par Bouvard. Le chiffre trouvé par lui était de $48^{\circ} 50' 16''$. Laugier l'a déterminée à son tour en 1853, et ses calculs, d'après les *Annales de l'Observatoire*, n'ont plus donné que $48^{\circ} 50' 11'' 19$. La différence est là de $4'' 81$. Enfin, de nouvelles observations faites en 1863, relativement au même point, il est résulté que sa position était alors même inférieure à la moyenne de $48^{\circ} 50' 10''$ (1). C'est une autre réduction d'au moins $1'' 19$. Toutes ces différences, on l'a remarqué, sont en moins, et ce qui est également digne d'attention, c'est que, eu égard à la période d'un siècle, les proportions sont sensiblement équivalentes. Lorsque, faites à des dates rapprochées, les observations accusent des variations très-faibles, comme celles que nous avons relatées précédemment, on peut, jusqu'à un certain point, douter de leur réalité; appliquées à des périodes relativement longues, et les comparaisons offrant des différences tranchées, comme dans le dernier cas, les résultats ne peuvent évidemment qu'être beaucoup plus acceptables. Il serait, pour le moins, fort surprenant, ici, que les erreurs se fussent toujours produites dans le même sens et dans une mesure tout à fait analogue. Pour nous, nous ne voyons là et ne pouvons y voir qu'un effet de notre balancement, qui se trouve ainsi d'autant mieux attesté. Nous aurons, au surplus, à reprendre chacun de ces chiffres, y compris les notations de Washington, et, en les rapprochant, il nous sera facile d'en faire ressortir toute la signification.

Les grandes dénivellations du sol témoignent, avons-nous dit, de la fluidité intérieure du globe. L'état de liquéfaction de la pyrosphère n'est cependant pas accepté par tous les savants. Pour quelques-uns, les fluctuations de la croûte terrestre ne seraient que la suite de réactions diverses dont ils ne précisent pas toujours très-bien ni le siège, ni la nature. Cela ne suffirait pas, de toute façon, pour donner la raison de l'uniformité des déformations dont notre région polaire a

(1) *Annales de l'Observatoire*, 2^me partie.

été le théâtre. D'où nous viendraient les grands soulèvements, les énormes ruptures des Alpes, des Andes, de l'Himalaya? D'où nous seraient venues tout aussi bien les vastes exondations de la craie après le dépôt de ses couches au fond de mers qui n'ont pu avoir qu'une grande profondeur? Mais si ces immenses changements attestent que la Terre n'a encore rien d'une entière consolidation, ils trouvent eux-mêmes leur explication, en dehors des effets de refroidissement et de contraction, dans les grands balancements dont nous nous occupons. A l'équateur monte ou descend le renflement; aux pôles avance ou recule l'aplatissement, et toutes les régions intermédiaires reçoivent forcément le contre-coup de ces évolutions, en s'élevant ou en s'abaissant elles-mêmes selon les pressions et selon la résistance des couches.

Sir W. Thomson est un de ceux qui combattent le plus vivement la théorie de la fluidité intérieure du globe, ce qui ne l'empêche pas, on le sait, d'essayer de démontrer la variabilité de son axe de rotation. Pour cela, il est obligé de recourir à des modifications d'équilibre du genre de celles de M. Evans, mais qui sont d'autant plus inadmissibles chez lui, avec ses idées, que les changements en exhaussement ou en abaissement dont il a besoin devraient être concomitants et se produire sur des points de la surface terrestre absolument opposés (1). Il y a plus, à supposer que ces changements aient lieu, on ne voit même pas comment ils pourraient lui venir efficacement en aide. Ses soulèvements proviendraient surtout d'expansions gazeuses. Ils n'ajouteraient conséquemment au poids de la partie du globe où ils se produiraient qu'en raison de ce que les terrains relevés se trouveraient dans un plus grand éloignement du centre de gravité. Mais si les exhaussements avaient pour effet de déplacer des masses d'eau plus ou moins considérables, ne pourrait-il pas se faire que la différence subsistante ne restât que très-peu sensible? Les affaissements ne seraient nécessairement que le résultat

(1) *Bulletin de l'Association scientifique de France*, tome XIX, page 151.

du comblement de vides inférieurs. Les couches, en s'abaissant, perdraient bien ici une partie de leur pesanteur relative; mais si, de ce côté, des eaux plus ou moins abondantes venaient les recouvrir, un autre genre de compensation ne se produirait-il pas? Sir W. Thomson compterait donc bien là sur des actions qui, au fond, n'auraient pour lui rien d'absolument favorable. Mais sur quoi se fonde-t-il pour prétendre et pour soutenir que la Terre, dans son ensemble, à part quelques cellules, en est arrivée à l'état solide?

Les marées lui avaient d'abord paru être un argument sérieux. Il supposait qu'elles ne se produiraient pas avec leur amplitude si le sol n'offrait pas une résistance absolue aux attractions de notre satellite. Mieux fixé à cet égard, il n'a plus vu de preuves contre la fluidité du noyau terrestre que dans certains mouvements de notre planète, principalement dans ceux de la précession et de la nutation. L'un et l'autre, selon lui, devraient être plus lents avec un état différent de celui qu'il suppose. Nous avons fait voir que le mouvement de la précession, par le fait des oscillations polaires, ne s'effectuerait pas, en réalité, dans les conditions de temps que l'astronomie a déterminées, puisqu'on aurait compris dans les supputations s'y rattachant des effets qui n'appartiennent en propre qu'au déplacement des pôles. Nous ajouterons que, de ce que la précession éprouve un retard, il ne s'en suit pas que la nutation doive forcément elle-même le ressentir d'une manière appréciable. Au lieu de se trouver dans un état de complète liquéfaction, le centre terrestre pourrait être dans un état simplement pâteux, ce qui est beaucoup plus probable, et, dans ce cas, le balancement de la nutation n'en serait que très-faiblement affecté. Une masse visqueuse obéit à une action prolongée. Il est certain, comme M. Delaunay l'a démontré, que la même masse cède beaucoup moins à une force qui ne s'exerce que dans une courte période. Avec une densité simplement sirupeuse, l'Océan aurait-il un mouvement de flux et de reflux égal à celui qu'il éprouve? Comment d'ailleurs l'éminent physicien de Glasgow n'a-t-il pas vu

qu'en admettant le déplacement de l'axe de rotation de la Terre, il apportait lui-même le trouble le plus profond dans le mouvement de la précession, qui a été calculé sur la base d'une complète fixité? S'il y a à combattre ses théories, il n'y a évidemment pas moins à repousser ses objections.

Ainsi, notre globe n'aurait réellement rien de la solidité qui lui a quelquefois été attribuée, et les déplacements polaires auraient bien leur justification, d'une part, dans son état de fluidité, d'autre part, dans les constatations de l'astronomie. Voyons maintenant en quoi les balancements de sa croûte peuvent trouver leur explication dans les faits géologiques.

II.

La science qui a pour objet l'étude du sol s'enrichit de plus en plus, et les découvertes sont telles que, dès à présent, le champ qu'elles offrent se trouve assez vaste pour qu'il y ait à y récolter sûrement et abondamment. Des figuiers, des lauriers, des palmiers ont existé en Angleterre. Un espadon, des crocodiles, des tortues, et jusqu'à des serpents y ont vécu. En Allemagne, dans le bassin de Mayence, on a trouvé des restes de testacés et de mammifères propres aux régions subtropicales. Le bassin de Vienne a présenté les débris d'un mastodonte et ceux d'un rhinocéros de la famille du *R. nugarhinus*. Les dépôts d'Oeningen, en Suisse, offrent de nombreux vestiges de plantes, toutes des climats chauds, et, entre autres, des traces de palmiers et de figuiers. Paris aussi a eu ses palmiers. Les faluns de la Touraine ne nous ont pas seulement laissé, comme ceux du Bordelais, des coquilles des mers presque équatoriales, ils nous ont aussi conservé des ossements de mastodonte et d'hippopotame. Les couches du Gers nous montrent jusqu'à des singes. Enfin, les girafes et les singes se sont multipliés en Grèce. Ces indications, rapprochées de celles que nous avons déjà données et particuliè-

rement de celles se rattachant à l'Islande, au Spitzberg et au Groënland, où on a également trouvé les preuves d'une ancienne et plantureuse végétation, attestent ce qu'ont été, à certains âges, les températures de ces parties de notre monde. Or, l'époque où elles se sont produites est celle du milieu des temps tertiaires, et la période éocène en a eu sa part comme celle du miocène. Mais des terrains antérieurs ont, de leur côté, fourni les mêmes témoignages de longues et fortes chaleurs; de sorte que l'on a actuellement la certitude que les périodes en question n'ont nullement été une exception et qu'il n'y a eu là que la reproduction d'un phénomène qui s'était déjà bien souvent accompli.

Ce n'est pas que dans le seul sens des grands réchauffements que se sont produites les variations climatologiques. Des froids rigoureux ont régné là où de fortes chaleurs se sont fait sentir. Si la Scandinavie, la Laponie, la Finlande, le Danemark ont été recouverts d'une immense couche de glace, comme le sont aujourd'hui les régions polaires, les Iles Britanniques ont eu le même manteau, et il s'est étendu à l'Allemagne, à la Hollande, à la Belgique, voir même à tout le nord de la France, en même temps que les glaciers prenaient dans toutes nos montagnes le plus formidable développement. Les Pyrénées, les Cévennes, les Vosges, le Morvan, l'Auvergne ont eu les leurs, et ceux des Alpes, les plus considérables, ont été tels qu'ils se sont étendus à de très-grandes distances de leur centre. En Suisse, ils sont allés jusqu'à Soleure, de notre côté, jusqu'au Jura et jusqu'au confluent de la Saône et du Rhône, en Italie, jusqu'au-delà des lacs Majeur et de Garde. De semblables froids ont, du reste, eu lieu dans l'Amérique du Nord, et là, ils se sont même marqués beaucoup plus bas en latitude. Mais ce qui a particulièrement caractérisé la phase à laquelle se rattachent ces extrêmes extensions de glaces, c'est l'immersion des terres à une certaine distance du pôle. Nous avons relevé et précisé les limites de ces submersions qui sont, pour l'Europe, le sud de l'Angleterre, le nord de la Hollande, celui de la Prusse, Saint-Pétersbourg

et la mer Blanche; pour l'Amérique, d'un côté, la ligne de Washington et de Saint-Louis, de l'autre, les rivages de la Nouvelle-Géorgie. Les alternatives ont donc été absolues pour un grand nombre de contrées, et ce n'est pas non plus une fois, au commencement de l'époque quaternaire, que sont survenues ces chutes de température, mais souvent, dans des âges plus ou moins reculés, et la preuve en est tout aussi bien acquise que celle de l'existence et des retours de la phase contraire.

Il n'y a naturellement pas à penser que ces grands changements thermiques soient spéciaux à notre hémisphère. De semblables états se sont produits dans les régions australes. La Patagonie, la partie sud-est de l'Australie et surtout la Nouvelle-Zélande en font foi; et il n'échappera pas que c'est l'Australie et la Nouvelle-Zélande, c'est-à-dire les points opposés aux Etats-Unis par rapport aux balancements de la Terre sur son axe, qui ont, comme ces derniers, été atteintes à la plus grande distance actuelle de leur pôle. Mais il ne suffit pas d'avoir signalé les contrées où les variations de température dont nous nous occupons se sont le plus largement manifestées, il faut aussi noter celles où des traces plus restreintes ont été observées. On pourra ainsi, plus facilement et dans son ensemble, juger de la situation.

Comme en Islande, au Spitzberg et au Groënland, des végétaux fossiles propres à un climat absolument différent de celui actuel ont été découverts à l'île Melville, dans la terre de Bank's, dans les îles Parry, à l'île de l'Ours. Ici, seulement, on se trouve en présence de restes appartenant en partie à des époques très-antérieures à celle à laquelle les autres ont été rapportés. C'est un point à retenir. Quant aux traces des anciens glaciers, il en existerait au Liban, sur les Carpathes, dans le Caucase, au flanc des Andes et jusqu'au pied de l'Himalaya. On en a même signalé jusque dans les régions équatoriales, la Colombie, la vallée de l'Amazone, de même qu'à la Plata et aux environs de Rio de Janeiro. Des doutes, il est vrai, se sont élevés au sujet de celles du Caucase et de

l'Himalaya, et les erratiques de la Plata, comme ceux de Tijuca près de Rio de Janeiro, ne seraient qu'une illusion d'Agassiz. Celles qui sont admises n'en constituent pas moins des faits qu'on n'a guère considérés jusqu'ici que comme entièrement inexplicables. Eh bien! ces mêmes faits, avec l'ensemble des autres, découlent de nos oscillations avec une harmonie que nous avons déjà essayé de faire voir, mais que nous allons montrer d'une manière bien plus évidente encore.

III.

Il nous faut rappeler dans quelle mesure s'accomplirait le balancement des pôles et quelle serait spécialement la trajectoire du nôtre.

Les pôles se déplaceraient chacun de leur côté suivant un cercle de 15° de rayon, ou, plus exactement, le balancement de la croûte terrestre amènerait successivement aux extrémités de l'axe de rotation chacune des régions qui se trouvent placées sur le parcours de ce cercle. Les points qui, de notre côté, passeraient sous le pôle sont donc, dans l'ordre même de leur translation, l'île Baring ou Bank's, la baie de Richardson, le sud de la rade de Chesterfield, la baie d'Hudson, la pointe septentrionale du Labrador, la côte ouest du Groënland vers le 63° degré de latitude et la terre de Milne, au 70° degré, sur la côte opposée, terre à laquelle nous avons d'abord donné le nom d'*Egede* (1). Selon que l'une ou l'autre de ces régions se trouvent sous le pôle, celles qui sont à leur opposé en sont nécessairement éloignées de 30° , puisque tel serait le diamètre du cercle. Ainsi, la partie de la baie d'Hudson qui est aujourd'hui à 30° du pôle ne s'en éloignerait pas davantage, et il en serait de même de toutes les autres régions de l'Amérique du Nord qui ont le même méridien.

(1) Voir la Carte.

dien ; mais elles s'en rapprocheraient d'autant. Le lieu actuellement occupé par le pôle s'en écarterait alors dans la même mesure, et la partie de la Sibérie qui se trouve aujourd'hui sous le 60° degré descendrait jusqu'au 30°. Mais étendons et précisons ces effets.

Londres se rapprocherait du pôle jusqu'au 68° degré et s'en éloignerait jusqu'au 38°. L'Angleterre, et à plus forte raison l'Irlande et l'Ecosse, pénétreraient donc à l'intérieur du cercle polaire. Les extrêmes, pour Berlin, seraient le 65° degré dans un sens et le 35° dans l'autre. Vienne remonterait au 60° degré et descendrait au 30°. Saint-Pétersbourg aurait pour limites les 67° et 37° degrés. Paris, comme Berlin, irait d'un côté jusqu'au 65° degré et de l'autre jusqu'au 35°. La plus grande distance pour le Gers serait de 60 degrés, ce qui le placerait sous le 30°, comme Vienne, et la Grèce [Athènes] atteindrait jusqu'à celle de 70°, ce qui la mettrait sous le 20°. Le Danemark, la Suède, la Norvège, la Laponie, la Finlande, l'Islande entreraient tout entières, comme les Iles Britanniques, dans la zone même du pôle. Quant aux régions qui s'y trouvent aujourd'hui, elles s'en écarteraient plus ou moins selon leur situation, et, pour le Spitzberg en particulier, l'éloignement irait jusqu'au 55° degré. On comprend toutes les fluctuations de climat qui peuvent et qui doivent résulter de semblables déplacements, et l'on a moins à s'étonner, par exemple, que le mammoth ait pu se développer en nombre si considérable en Sibérie, puisque les chaleurs de l'Hindoustan y auraient régné, ni que les girafes et les singes soient venus peupler la Grèce, puisque cette contrée aurait eu le climat de l'Afrique centrale. Il n'y a là, toutefois, qu'une action encore insuffisante pour expliquer la plénitude de ces effets. Il est certain, notamment, que ce ne sont pas nos seules oscillations qui auraient pu produire les extrêmes chaleurs de notre miocène, non plus que les végétations fossiles des contrées actuellement dans le voisinage du pôle, et que, si les grandes congélations ont leur raison d'être pour certaines régions, on ne saurait davantage prétendre qu'elles

se trouvent ailleurs complètement justifiées par le seul et unique fait dont il s'agit. Les anciens glaciers disséminés au-delà des zones tempérées sont surtout de ce nombre. Mais ce que nous n'avons pas dans ce sens se trouve pleinement dans les effets qui découlent des autres actions cosmiques et spécialement dans ceux résultant des excès d'excentricité de l'orbite de la Terre, répartis par la précession. Rendons-nous-en bien compte.

L'orbite de notre globe n'a, à notre époque, qu'une faible excentricité. Elle n'est que de 0,0168 exprimée en fraction d'une unité égale à son demi grand axe, et cependant la situation glaciaire de nos deux pôles est très-différente. Nous avons nos hivers en périhélie alors que l'hémisphère austral a les siens en aphélie. De notre côté, ils sont donc plus courts alors que nos étés sont plus longs. De l'autre, ils sont plus longs alors que les étés sont plus courts. La différence est de huit jours à notre avantage. Or, les glaces du pôle arctique sont beaucoup moins étendues que celles du pôle antarctique. Et, il y a non-seulement ce fait, il est en outre reconnu qu'à latitude égale, les températures moyennes sont généralement plus basses au-delà de l'équateur qu'en deçà (1). Nous n'ignorons pas que cet état de choses a été attribué à d'autres influences. Il coïncide trop avec la position de notre globe sur son orbite pour que nous puissions, pour nous, n'y pas voir une conséquence de cette situation même, sur laquelle, du reste, nous aurons à revenir. Mais, jusqu'à quel point les augmentations d'excentricité peuvent-elles accentuer les différences? Y a-t-il là bien réellement le complément d'action que nous cherchons? MM. James Crool, Stone et Carrick Moore nous ont donné des évaluations. Nous nous renseignerons d'après l'état climatologique d'une de nos planètes, de Mars, qui a, dans ces derniers temps, été l'objet d'études approfondies, et nous trouverons là, croyons-nous, quelque chose de plus positif et de plus précis.

(1) Becquerel, *Eléments de physique terrestre et de météorologie*, page 109.

L'axe de rotation de Mars a à peu près la même inclinaison que celui de la Terre. La différence n'est que de $1^{\circ} 51'$; mais l'excentricité de son orbite est beaucoup plus prononcée. Nous devons avoir là conséquemment un état analogue à celui qui doit se produire chez nous dans des conditions semblables; et nous nous croyons d'autant plus autorisé à nous baser sur cet exemple, que, pour Mars, la durée moyenne des jours et des nuits, leur différence selon les latitudes, leurs variations suivant le cours de l'année, en un mot, toutes les causes qui influent sur la distribution de la chaleur sont, selon M. Flammarion (1), autant de phénomènes que nous retrouvons exactement chez nous. Il n'y a qu'une différence entre les deux planètes, c'est la durée de leur année et dès lors celle de leurs saisons; mais ces durées n'en ont pas moins, sur Mars, des rapports relativement correspondants.

C'est l'hémisphère austral de Mars qui, comme celui de la Terre, a son hiver en aphélie. D'après l'observateur que nous venons de citer, les neiges s'y étendraient jusqu'au 40° degré de latitude, alors qu'au pôle nord elles ne dépasseraient guère le 60° . De plus, alors que le pôle sud conserverait, dans ses étés, la plus grande partie de ses glaces, le pôle nord perdrait presque complètement les siennes. En mai 1873, mois qui correspond à celui de septembre du calendrier de Mars, c'est-à-dire au commencement de son automne, la neige polaire boréale ne formait plus qu'un petit cercle. En 1875, après le milieu de l'automne, la tache polaire boréale était tellement réduite qu'on la distinguait à peine, tandis que les neiges de l'autre hémisphère, qui avaient dû subir l'hiver entier, étaient très-étendues. Avec un excès d'excentricité, on a donc les différences les plus prononcées dans les températures, selon que les hivers et les étés comptent un plus ou moins grand nombre de jours.

Appliquons ces observations à nos situations géologiques et supposons, pour ne prendre ici que des exemples extrêmes,

(1) *Les Terres du ciel*, 2^e édition, page 401.

que les anciens glaciers de la Colombie et de l'Amazone aient coïncidé avec une des périodes glaciaires des Etats-Unis. Ceux de ces points qui sont aujourd'hui sous l'équateur seraient remontés jusqu'au 30° degré et ceux qui sont sous le 40° degré seraient allés jusqu'au 40°. Pour ces derniers, n'est-ce pas simplement la limite des neiges hivernales de Mars? Si les anciennes actions glaciaires dont les indices se retrouvent même si loin ont ainsi leur justification dans les augmentations d'excentricité de l'orbite de la Terre, celles relevées sur des points moins écartés se comprennent d'autant plus aisément. Le Liban, le Caucase, les Carpathes sont dans ce cas. Le Liban remonterait jusqu'au 42° degré, le Caucase jusqu'au-delà du 48°, les Carpathes dépasseraient même le 55°.

Peut-être les neiges signalées sur l'hémisphère austral de Mars jusqu'au 40° degré n'auraient-elles pas été exactement reconnues. Mais cette extension ne nous est même pas nécessaire pour arriver à la confirmation de nos faits glaciaires les plus difficilement compréhensibles. Des glaciers n'existent-ils pas aujourd'hui en dehors et même très-loin des neiges persistantes? Le Chili en a qui descendent même jusqu'à la mer, et un exemple à peu près pareil nous est donné par la Nouvelle-Zélande. A plus forte raison, alors que nous n'avons à notre époque qu'une excentricité très-restreinte, devons-nous admettre de semblables effets à de plus faibles latitudes, lorsque les variations de l'orbite sont beaucoup plus tranchées. Si les anciens glaciers de Rio de Janeiro et de la Plata avaient été réels, ils auraient eu eux-mêmes leur explication dans ce que nous venons d'établir; mais, ainsi que nous l'avons indiqué, il est maintenant parfaitement reconnu qu'ils n'ont jamais existé. Les erratiques signalés sur ces points ne sont, comme M. le docteur Jules Crevaux a pu s'en convaincre, que des débris des roches sous-jacentes et la plupart des blocs adhèreraient même encore à leurs couches originaires (1).

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, tome IV, page 304.

Prétendra-t-on que ce qui a pu se produire au point de vue des grands refroidissements serait moins acceptable relativement aux grandes chaleurs. Une différence de température dans un sens, du côté d'un hémisphère, doit nécessairement, par le fait des variations d'excentricité dont nous parlons, se traduire en un effet exactement opposé du côté de l'autre, et Mars ne nous laisse non plus aucune incertitude à cet égard. Si donc les glaces du pôle austral de notre globe s'étaient avancées, comme sur la planète en question, jusqu'au 40° degré, nul doute pour nous que les ardeurs de la zone torride n'eussent reflué dans une même mesure vers notre pôle, et c'est ainsi que nos extrêmes chaleurs de la fin de l'éocène et du miocène, déjà si accentuées par notre abaissement vers l'équateur, auraient particulièrement acquis toute leur intensité. D'autres constatations peuvent, du reste, nous renseigner à cet égard aussi bien que les observations se rattachant à la planète Mars. Nous voulons parler de la détermination des lignes d'égale température à la surface de notre globe. L'équateur thermal ne coïncide pas plus, à notre époque, avec l'équateur géographique que les deux calottes polaires ne se ressemblent en étendue. Sa moyenne est au 4° degré de latitude nord (1). Avec une excentricité double elle serait vraisemblablement au 8°; avec le maximum de l'excentricité, elle irait jusqu'au 18°. Ce maximum est, à peu de chose près, l'équivalent de l'excentricité actuelle de l'orbite de Mars. Les palmiers de Londres comme les testacés du bassin de Mayence, les singes du Gers comme les coquilles si caractéristiques des faluns de la Touraine, n'auraient, par là, plus de mystère pour nous.

Une situation a besoin d'être particulièrement envisagée ici : celle de l'île de Disco où les fossiles miocéniques du Groënland ont été rencontrés. S'écartant du pôle, comme nous l'avons montré, et soumis aux mêmes influences que les autres parties de l'Europe, le Spitzberg et l'Islande n'ont pas

(1) Becquerel, *Eléments de physique et de météorologie*, planche V.

besoin d'explications spéciales. Mais avec notre trajectoire, l'île de Disco, placée aujourd'hui sous le 70° degré, ne s'écarterait guère au-delà du 67°. La végétation qui y a été découverte aurait-elle bien pu y exister ?

Les glaces permanentes, dans les périodes de chaleur, se réduisant autour de nos pôles comme autour de ceux de Mars, il n'en doit subsister, dans ce cas, que sur un espace très-circonscrit. Peut-être même disparaîtraient-elles plus complètement encore sur notre globe que sur l'autre, par cette raison que, l'aplatissement polaire y étant sensiblement moindre, l'action solaire doit y avoir plus d'efficacité. On vient de voir, d'un autre côté, dans quelle mesure remonterait l'équateur thermal avec le maximum de l'excentricité de l'orbite. Une somme de chaleur suffisante pour donner naissance à une végétation de la nature de celle qui a prospéré au Groënland aurait donc pu s'y produire. Mais les nuits de la saison hivernale sont d'autant plus longues que le pôle est plus rapproché, et dès le 66° degré, si les plus longs jours d'été ont près de 23 heures, les plus longues nuits d'hiver ont, à leur tour, la même durée. Ces conditions se concilieraient-elles bien avec une semblable flore ? Nous n'y voyons, pour notre part, aucune impossibilité. La lumière, en définitive, ne manquerait jamais aux plantes, même dans la saison la plus défavorable, et, avec la température et les soleils de l'été, elles pourraient se développer d'autant plus aisément. Le climat actuel des îles Féroë n'est même pas l'équivalent de celui dont jouirait l'île de Disco dans le cas envisagé, et cependant, malgré leur latitude qui est au 62° degré, les hivers y sont tels que les petits lacs qui y existent ne se couvrent même pas de glace. Les froids pourraient tout aussi bien n'être nullement un obstacle.

Nous reviendrons de nouveau sur les variations accusées par les lignes isothermes afin d'en tirer toutes les inductions qui doivent en découler, et nous ne manquerons pas non plus de nous occuper des autres flores fossiles de la région arctique.

IV.

On nous a demandé, au sujet de notre tracé des parcours polaires, pourquoi nous lui avons donné la forme qui lui a été assignée, et l'on nous a objecté que les immersions glaciaires, que nous avons prises pour base de nos déterminations, ne constitueraient peut-être pas des points de repère suffisants.

Du moment où notre mouvement a la même origine que celui de la précession et que ce dernier a la forme circulaire, n'y avait-il pas à penser qu'il doit lui-même se traduire en un balancement analogue? Il n'y a eu là, toutefois, pour nous, qu'un simple indice, et c'est d'après l'action polaire même que nous nous sommes fixé. Si nous nous déplaçons par rapport aux pôles, l'aplatissement se déplace nécessairement comme nous. Refoulées par leur approche, les mers doivent être ramenées plus tard par leur éloignement, et, quoi de plus rationnel que d'admettre que leur réapparition n'a lieu, à moins de causes accidentelles, que dans une même mesure et dans les mêmes limites. Prendre pour terme du déplacement des pôles, les immersions glaciaires, c'est donc bien s'appuyer sur des données positives, et il ne nous semble pas que la géologie puisse, en quoi que ce soit, en offrir de plus précises. L'aplatissement ne s'étendant pas à plus de 23° du pôle, il nous a suffi, pour trouver notre trajectoire, de nous reporter en dedans de la limite extrême des immersions à la distance de ces 23 degrés, et c'est ainsi que nous sommes simplement arrivé à notre détermination. Nous ne pouvions avoir d'hésitation sur la question de savoir de quel côté le balancement se marquerait. Alors que les mers glaciaires n'ont recouvert les terres, en Russie, à Saint-Petersbourg, que jusqu'au 60° degré, elles ont dépassé le 52° en Angleterre, et, aux États-Unis, elles sont descendues jus-

qu'au 38° pour remonter au 46° dans la Nouvelle-Géorgie, sur les côtes du Pacifique; et il est là d'autant mieux accusé que les immersions, dans la région sibérienne, ne se seraient nulles part étendues au-delà du cercle polaire actuel. Mais si nous avons en Europe, en Amérique et dans la plus grande partie de l'Asie, des indications réelles, il faut reconnaître pourtant qu'elles nous manquent encore dans l'extrême Orient, et il pourrait se faire qu'on trouvât, dans le Tchuktchi ou dans le Kamtschatka, des traces qui nous montreraient qu'au lieu d'être entièrement régulier, conformément aux autres indications, notre cercle serait peut-être un peu elliptique. La flore de Disco se comprendrait d'autant mieux. Ajoutons qu'un faible allongement de notre cercle s'expliquerait même du côté de la précession. L'obliquité de l'écliptique se modifie, et l'on doit penser, avec M. Flammarion, que ses variations ne pourraient qu'en amener d'analogues dans le balancement même de notre globe sur son orbite (1). Nous n'avons, dans tous les cas, aucun besoin d'insister à cet égard et nous ne le faisons pas.

Nous nous sommes attaché, dans notre premier travail, à bien faire ressortir toute la concordance de notre situation glaciaire avec l'action polaire. Peut-être ne nous sommes-nous pas assez arrêté sur ce point.

« Au commencement de la période glaciaire, dit Sir Ch. » Lyell, avec M. Jamieson (2), l'Ecosse est plus élevée qu'aujourd'hui, de sorte que la couche générale de neige et de » glace dont elle est couverte, en glissant vers les niveaux » inférieurs, polit les couches sous-jacentes, enlève de la » surface la plus grande partie de l'alluvion primitive et laisse » à la place du till et du gravier disséminés. Une période de » dépression et de submersion partielle succède à la première; » la mer avance et couvre insensiblement la plus grande » partie de la contrée; les glaces flottantes sont en grande

(1) *Les Terres du ciel*, 2^e édition, page 280.

(2) *Éléments de géologie*, tome I, page 245.

» abondance et le drift marin se dépose avec ses coquilles » arctiques. Enfin, la terre émerge et, à part de petites oscillations, atteint et conserve son niveau d'aujourd'hui. » En Angleterre, dans le pays de Galles, des mouvements du même genre et dans le même ordre ont été reconnus, et la presqu'île Scandinave et les États-Unis en révèlent eux-mêmes de pareils. Que doit-il se passer par suite du déplacement géographique des pôles? Les eaux se retirent à leur approche, les terres prennent plus de hauteur par rapport à elles, après quoi, subissant à leur tour la compression, elles s'abaissent comme les eaux l'ont fait. C'est la première phase, et le dernier état se maintient aussi longtemps que la région reste dans le centre polaire. Quand elle en sort, c'est nécessairement un effet contraire qui se produit. Obéissant là encore les premières aux forces agissantes, les eaux remontent alors que le sol est encore stationnaire et elles le recouvrent à des hauteurs qui restent en rapport avec son propre relèvement. Le mouvement ne cesse enfin que quand les deux éléments ont repris leur place acquise dans la courbe générale du globe. Et ce n'est pas seulement en cela que l'accord est parfait; il ne l'est pas moins à d'autres points de vue.

Les exondations du sol ont coïncidé, au début, sinon avec le maximum du froid, du moins avec son accroissement. Les immersions se rapportent, au contraire, à une période déjà adoucie. Les stries glaciaires, d'un côté, et, de l'autre, les coquilles du drift, en partie seulement composées d'espèces entièrement arctiques, ne montrent-elles pas que, le plus souvent, sauf les exceptions qui tiennent à la précession, il en a bien été ainsi. Sans doute, à part l'exhaussement actuel du nord de la Suède et les submersions signalées au Groënland, il ne se marque, à notre époque, aucun autre mouvement de l'espèce, du moins d'une manière assez positive pour qu'on puisse l'invoquer. On pourrait même tirer argument contre nous de ce que, sur certains points, une marche opposée apparaîtrait. Les abaissements et les relèvements, qu'elle qu'en soit la cause, ne s'exécutent évidemment pas comme les oscil-

lations d'un balancier bien réglé. Ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire, les effets ne peuvent que se modifier localement selon les couches et conséquemment selon les résistances; les variations de niveau du drift nous en offrent particulièrement la preuve. Il ne faut pas perdre de vue surtout que les pôles se déplacent avec une extrême lenteur, et qu'un laps de temps, même de quelques milliers d'années, pourraient ne nous rien offrir de bien appréciable à cet égard. Il y a, dans tous les cas, à citer la situation des rivages de la Russie d'Europe, de la mer Blanche au golfe de l'Obi. Cette région tend à sortir du cercle polaire, et justement la mer qui la baigne s'étend sur plusieurs des points jusqu'aux limites mêmes du cercle, ce qui se remarque beaucoup moins ailleurs.

La marche des pôles n'est pas attestée que par les immersions glaciaires; elle l'est aussi par les immersions équatoriales, qui se déplacent comme les autres. Nous avons eu à citer, sous ce rapport, l'occupation du Sahara par l'Océan, de même que celle de la plus grande partie de la Perse et du désert de Gobi, et nous avons montré que ces points se trouvent en complète corrélation de distance, non-seulement avec la courbe parcourue par les pôles, mais encore avec les lieux qui ont dû être occupés par le nôtre au moment probable de leur submersion. L'Amérique du sud nous offre le même témoignage. Les Pampas ne se sont émergées que depuis un temps relativement peu reculé. Or, cette région se serait trouvée sous l'équateur au moment où les États-Unis en étaient à leur période glaciaire, c'est-à-dire à un âge qui correspond avec notre pliocène, et les célèbres erratiques d'Agassiz ne seraient que le résultat des érosions marines d'alors. Avons-nous besoin de répéter que les submersions équatoriales, à l'opposé de celle des pôles, seraient le premier et non le dernier effet des déplacements. De ce côté, la mer commence par monter alors que de l'autre elle commence par descendre.

Un double fait, sur lequel il est bon aussi de s'appesantir,

c'est que le retour des mers équatoriales, à l'époque tertiaire, s'est bien, comme leur retrait, opéré dans le sens de notre mouvement. Elles nous sont revenues avec l'éocène, alors que les espaces continentaux, en Europe, étaient à peu près ce qu'ils sont redevenus aujourd'hui (1); et, à part quelques oscillations que nous expliquerons, elles ne nous ont quittés qu'à mesure que nous nous éloignons de l'équateur. Les derniers grands dépôts marins de l'Allemagne appartiennent au miocène, les nôtres et ceux de l'Italie au pliocène, et il faut aller jusqu'au Sahara pour trouver les exondations qui ont clos le recul. L'accord, là aussi, est complet.

Enfin, nous ferons observer que, les immersions glaciaires n'étant que la fin du phénomène auquel elles se rattachent, elles n'ont pu avoir qu'une courte durée, qu'elles n'ont dû s'étendre que progressivement aux contrées qui en ont été atteintes, non du nord au sud, mais du sud au nord, et que, vraisemblablement, les espaces occupés n'ont jamais eu à la fois beaucoup d'étendue. En Europe, c'est l'Angleterre qui, la première, aurait été soumise à cet envahissement, et les parties basses de la Norwége, de la Suède, de la Finlande, de la Laponie, atteintes en dernier lieu, n'en auraient été débarrassées que fort longtemps après. Le peu d'épaisseur des dépôts suffirait seul pour ne laisser aucun doute sur la brièveté relative de ces recouvrements.

V.

Considérées comme elles viennent de l'être, les grandes périodes de chaleur et de froid, avec tout ce que peuvent y ajouter les excès d'excentricité de l'orbite terrestre, ne doivent plus nous apparaître que comme des faits facilement et entiè-

(1) De Saporta, *Les périodes végétales de l'époque tertiaire*, Journal *La Nature* du 3 février 1877, page 154.

rement compréhensibles ; mais la précession qui nous distribue les effets secondaires, soit en aggravation, soit en atténuation, est intervenue dans des sens différents de ceux que nous avons exposés. Elle nous a donné des réchauffements dans le cours des refroidissements polaires et des refroidissements pendant la durée des réchauffements équatoriaux. Arrivons à ces états.

Les premiers dépôts de l'époque tertiaire sont restés peu connus parce qu'ils ont dû, chez nous, être peu nombreux et surtout peu importants, peut-être aussi parce qu'étant de la nature de notre dernier diluvium, ils ont en très-grande partie disparus, remaniés et confondus dans les formations ultérieures. Il n'en est pas moins acquis que cette époque a eu pour point de départ, en Europe, un abaissement marqué de température. Peu à peu nos régions s'étaient attiédies en s'éloignant du pôle, et déjà même la période éocène nous avait ramenés à notre position la plus voisine de l'équateur, lorsqu'un retour de froid s'est fait sentir. Pendant la durée du miocène inférieur et alors que régnaient toujours nos grandes chaleurs, une phase de même nature, mais plus accentuée, est de nouveau survenue. Enfin, la période pliocène, qui nous ramenait aux glaces polaires, a eu, elle aussi, une intermitteuce plus accusée de froid. D'un autre côté, quelque rigoureux qu'ils aient été, nos grands froids polaires ont eu des adoucissements, et ils ne se sont terminés que par une recrudescence qui nous a ramené une grande partie des glaces disparues. Le refroidissement de l'éocène est attesté par les blocs que renferme le *flysch* de la Suisse, et qu'on retrouve notamment au bord du lac de Thonne, dans l'Oberland Bernois, dans le Silthal près du lac de Zurich, de même qu'en Bavière et jusqu'à la base septentrionale des Apennins ; celui du miocène, par ceux de la Superga et par les nombreux dépôts morainiques disséminés sur la plupart de nos massifs montagneux. L'accentuation pliocénique s'est particulièrement marquée dans les couches du crag de Norwich, et dans les moraines sub-apennines des environs du lac de Côme.

Quant aux preuves des améliorations glaciaires, c'est dans des témoignages de diverses natures qu'on les retrouve. Enfin, le dernier retour des froids s'est surtout marqué par une grande extension des glaciers purement terrestres succédant aux immersions, extension dont les traces ne laissent non plus aucun doute. Nous nous arrêterons d'abord aux premiers de ces phénomènes, après quoi nous passerons aux variations qui se sont produites pendant nos froids polaires.

Une chose frappe principalement lorsqu'on s'occupe des phases glaciaires des époques intermédiaires, c'est leur peu de durée relative, quelle qu'ait été leur intensité, et c'est, nous l'avons déjà fait observer, l'absence des immersions qui donnent aux autres un caractère si particulier. Les véritables périodes glaciaires, que nous pourrions désigner sous le nom de *périodes polaires*, pour bien les distinguer, s'annoncent à l'avance par un refroidissement lent et progressif. Les autres arrivent en quelque sorte sans signes précurseurs et ne laissent, non plus, derrière elles, dans les faunes comme dans les flores, que des traces presque insaisissables. Le refroidissement de l'éocène n'a été qu'un simple temps d'arrêt presque insignifiant dans le grand réchauffement d'alors, celui du miocène, bien que beaucoup plus accusé, a été lui-même à peine une interruption dans le règne des mêmes chaleurs, et, relativement à celui du pliocène, il est certain qu'il n'a pas plus agi que les deux autres sur le mouvement général. C'est que, dans ces différents cas, il n'y a eu d'intervention que du côté de la précession, et que ses effets, dus aux excentricités de l'orbite de la Terre, n'ont pu dépasser en durée le mouvement même qui nous les a ramenés. Or, pour qu'ils se produisent, il faut, si c'est en froid, que l'hémisphère qui doit les éprouver ait son hiver en aphélie; si c'est en chaleur, que son été se présente dans le même sens, et comme la précession a une révolution relativement rapide, on comprend que, tout en se prolongeant pendant 4 ou 5000 ans, ce n'est tout au plus que pendant la moitié de ce temps que les variations de température en résultant peuvent se

produire avec toute leur intensité. Mais des effets de la nature de ceux dont nous nous occupons rentrent-ils bien dans le cadre de nos justifications ?

Ce que nous avons dit des anciens glaciers de la Colombie et de l'Amazone a pu déjà nous éclairer sur ce point ; mais nous avons à approfondir la question et à mettre la solution dans tout son jour. Nous laisserons de côté, pour cela, les refroidissements de l'éocène et du pliocène pour ne nous occuper que de celui du miocène, particulièrement caractéristique.

Les glaciers des Alpes se seraient alors étendus jusqu'au près de Turin, puisque la Superga, où l'on a reconnu les blocs dont nous avons parlé, se trouve dans le voisinage de cette ville. Les Pyrénées en auraient également possédé de très-développés. La preuve en existerait, selon M. Garrigou, dans les accumulations morainiques existant au pied et tout le long de la chaîne de ces montagnes. Les blocs de poudingue et de grès siliceux, échoués au pied du Morvan, révéleraient de ce côté encore, avec quelques autres indices signalés par M. J. Martin, des phénomènes de même ordre. Enfin, les dépôts de la Crau, en Provence, contiendraient une assise de poudingues ayant là, toujours, selon M. Vézian (1), une semblable origine. L'extension des glaciers aurait donc été considérable, et elle frappe d'autant plus qu'elle est survenue dans des circonstances où rien ne devait la faire prévoir. Quelle devait être, à ce moment, notre situation par rapport à l'équateur ?

Ne perdons pas de vue que les grandes chaleurs nous sont revenues bien avant la fin de l'éocène, et que les terrains de cette période ont, dans leur ensemble, une puissance même supérieure à ceux des autres périodes qui l'ont suivie. Le milieu de l'époque tertiaire devait donc être franchi. Notre retour vers le pôle ne devait, dans tous les cas, être que peu prononcé encore. Les Pyrénées, avec notre mouvement, des-

(1) *Revue scientifique*, 6^e année, 2^e série, page 175.

endraient jusqu'au 30° degré de latitude. Elles devaient alors, de même que Turin, se rapprocher du 31°, et le Morvan, se serait, à ce même moment, trouvé vers le 34°. Il y a donc à rechercher si un pareil développement de glaciers est possible dans de semblables positions. Mars, le Chili, la Nouvelle-Zélande vont, cette fois encore, nous aider à trouver le complément d'éclaircissements qui nous est nécessaire.

On ne saurait prétendre que la permanence des neiges soit indispensable pour expliquer la présence des glaciers. Il suffit que les chutes en aient quelque abondance. Même avec notre climat actuel, les Pyrénées en ont, de très-restreints, il est vrai, mais enfin elles en ont; et l'on sait quels sont ceux des Alpes. Bien que beaucoup plus au sud, le Caucase et l'Himalaya n'en possèdent-ils pas également? Si notre situation précessionnelle était telle que les neiges s'accumulent et se maintiennent pendant sept ou huit mois sur notre hémisphère comme elles le font sur l'hémisphère austral de Mars, toutes nos montagnes, même jusqu'au 31° degré de latitude, ne pourraient-elles pas avoir leurs glaciers? Sans doute, dans ces conditions, l'été, bien que très-court, peut déterminer de grandes fontes des neiges et des glaces accumulées par l'hiver, et c'est bien aussi ce qui a lieu sur Mars; mais de pareils étés, s'ils sont relativement chauds, ne peuvent être en même temps que très-humides, et cette humidité, on le sait, est elle-même de nature à favoriser l'alimentation des glaciers. Or, elle devait être d'autant plus grande, à l'époque dont nous nous occupons, que l'espace qui a fait la France beaucoup plus tard était alors recouvert de lacs nombreux et considérables dus sans aucun doute aux dénivellations survenues au moment du dernier soulèvement des Alpes. Mais ce qui ne nous laisse particulièrement aucun doute sur la possibilité de ces effets, c'est ce qui se produit aujourd'hui même à la Nouvelle-Zélande et au Chili.

Bien que l'hémisphère auquel appartiennent ces régions n'ait ses hivers plus longs que de huit jours comparativement à ses étés et que sa période précessionnelle de froid ne soit

ainsi que très-moderée, il n'en a pas moins, dans les Andes, entre le 45° et le 47° degré de latitude, et à la Nouvelle-Zélande vers le 44°, des glaciers qui descendent, d'un côté, jusqu'à la mer, et qui, de l'autre, s'en rapprochent à la simple hauteur de 212 mètres. Et l'on est loin, là, des neiges tant soit peu persistantes. Le climat de la Nouvelle-Zélande est même tel que les palmiers et les fougères arborescentes croissent et prospèrent jusque dans le voisinage des glaciers. Si de semblables effets se produisent avec une différence d'hiver et d'été si peu considérable, que doit-il se passer alors qu'avec un excès d'excentricité, on arrive à des disproportions qui s'élèvent jusqu'à 36 jours? La moyenne de la température de la Nouvelle-Zélande, du reste très-peu variable, est de 10 degrés centigrades. Pour retrouver ce même chiffre de notre côté, il faut aujourd'hui remonter jusqu'à Londres. C'est une différence de 8 degrés en latitude, égale à celle déjà signalée relativement à la position de l'équateur thermal. Sur cette base, et avec des hivers de 36 jours plus longs que les étés, les valeurs thermométriques actuelles de la Nouvelle-Zélande ne se trouveraient plus, dans son hémisphère, qu'au 30° degré. Ne serait-ce pas même plus près de l'équateur que les Pyrénées l'auraient été à l'époque de notre miocène? Il y a un fait qui est incontestable, c'est que, malgré ses glaciers, la période du refroidissement miocénique n'a rien eu de comparable, comme climat, avec le grand refroidissement polaire survenu plus tard. Les glaces, dans nos régions, ont alors été générales. Les vallées, pendant la période du miocène, ainsi que l'indiquent les restes de leur faune et de leur flore, étaient, au contraire, restées, sinon chaudes, du moins très-tempérées. C'est une analogie de plus avec la Nouvelle-Zélande. Ces considérations ne font pas qu'expliquer la situation glaciaire du miocène, elles complètent tout aussi bien les justifications se rattachant aux anciens glaciers de l'Amazone et de la Colombie.

M. Ch. Martins a recherché ce qu'il faudrait d'abaissement de température pour que les glaciers actuels des Alpes prissent

un grand développement. Celle de Genève est de $9^{\circ} 56'$. La limite inférieure des neiges éternelles, dans les régions environnantes, est à 2,700 mètres au-dessus du niveau de la mer et les grands glaciers de Chamounix descendent à 1,550 mètres. D'après les calculs établis (1), un affaiblissement de 2° ferait descendre les neiges 375 mètres plus bas; et comme les glaciers s'abaissent d'autant plus qu'ils viennent de plus haut, ceux-là, avec cette même différence de 2° en moins, auraient leur pied qui descendrait jusqu'au simple niveau de 400 mètres. Une réduction de 4° suffirait pour que les glaciers du mont Blanc arrivassent jusqu'au lac même de Genève, et l'on n'aurait là que la température de Stockholm. Cela ne peut qu'ajouter à notre démonstration.

Par cette raison que des refroidissements peuvent nous atteindre alors que nous nous trouvons à proximité de l'équateur, des réchauffements peuvent se faire sentir pour nous lorsque nous sommes près du pôle. Nous touchons par là aux autres effets dont nous avons à nous rendre compte.

Nous avons admis que, même près du 67° degré de latitude, l'île de Disco avait pu avoir la végétation dont elle nous offre les vestiges. Cette végétation, selon certains naturalistes, indiquerait une moyenne de température de 8° , et, selon d'autres, ce chiffre pourrait aller jusqu'à 12. Prenons 10 pour n'être ni trop au-dessous ni trop au-dessus de ces évaluations. Si les froids de l'hémisphère du sud peuvent, comme nous venons de le voir, refouler cette température de 10° jusque sous le 30° degré de latitude, les chaleurs correspondantes du nôtre doivent la faire remonter dans la même proportion; elle irait alors jusqu'au 66° . Nous aurions bien là, conséquemment, la situation cherchée. Sans doute nous n'avons pas eu un semblable retour de chaleur dans le cours de nos froids quaternaires; mais s'il en a été autrement, c'est justement parce que l'excentricité de l'orbite de notre planète, à la dite époque, est restée loin de son maximum. Un fort réchauffe-

(1) Becquerel, *Éléments de physique terrestre et de météorologie*, page 127.

ment s'est toutefois produit, et il est attesté par les restes de la végétation interglaciaire qu'offrent certaines couches, particulièrement les lignites d'Utzenach, en Suisse. D'après M. le professeur Heer, de Munich, l'ensemble des espèces reconnues révélerait un climat même plus chaud que celui dont nous jouissons aujourd'hui. A une époque qui correspond avec ces dépôts, Paris se serait trouvé sous le 55° degré de latitude; mais une excentricité de 23 jours aurait en même temps existé, et la précession nous aurait ramenés à la température du 47° actuel. Nous retrouverions donc très-exactement, de ce côté encore, la confirmation qu'il nous faut. Tout annonce, du reste, d'autres changements de climat dans les temps en question, et la permanence d'excès plus ou moins tranchés d'excentricité vient elle-même les corroborer. L'extrême intensité de nos froids polaires, qui ont coïncidé avec d'autres de ces excès, nous viendrait surtout de là. Quant à la dernière phase glaciaire, elle se serait produite immédiatement après le réchauffement dont nous venons de parler. Bien que nous fussions sous le 54° degré de latitude, la précession ne nous aurait pas moins reportés à la température actuelle du 69°. A ce moment les immersions avaient cessé pour les Iles Britanniques, le Danemark, l'Allemagne, et l'on a pu reconnaître que le dernier refroidissement était bien, dans ces régions, survenu après le relèvement du sol.

On pourrait nous objecter que les chiffres que nous avons pris pour base du calcul de nos différences de température à latitudes égales ne s'appliquent qu'à une situation exceptionnelle. Les données, pour chaque latitude considérée isolément, de l'un à l'autre hémisphère, ne nous conduisent pas, il est vrai, à des résultats toujours uniformes. Mais il y a à tenir compte des variations résultant de la configuration des continents, des influences locales, et surtout des grands courants marins. L'équateur thermal, dont nous avons donné la position, correspond, dans tous les cas, avec nos indications, et, chose non moins importante, deux autres termes essentiels présentent eux-mêmes un rapport identique. Nous voulons

parler de la limite des glaces aux deux pôles. Alors que la moyenne des glaces arctiques ne se rencontre que vers le 74° degré, on trouve celle des glaces antarctiques dès le 65°. Il y a bien là aussi, on le voit, à une simple fraction près, une différence de même valeur que celle accusée et par l'équateur et par les lignes de Londres et de la Nouvelle-Zélande. Ce qui est non moins particulier, c'est l'infériorité générale de l'hémisphère sud malgré sa situation interocéanique. Au sein des continents, les températures subissent dans leur ensemble des dépressions que MM. Becquerel ont mises en évidence, et bien qu'ils soient en très-majeure partie du côté de notre hémisphère et que leur influence soit pour beaucoup dans les variations par rapport à un certain nombre de lignes, les moyennes générales n'en présentent pas moins les différences sur lesquelles nous nous sommes appuyé. La signification s'en marque d'autant plus nettement.

VI.

On a pu se convaincre par l'examen des faits déjà exposés que le terrain sur lequel nous nous sommes placé présente quelque consistance. Beaucoup d'autres points appellent également l'attention.

Les Etats-Unis, et même le Canada, étaient depuis longtemps tout à fait émergés quand est survenue notre dernière phase glaciaire. Comme chez nous, les grandes congélations auxquelles elle a donné lieu ne se sont marquées, de leur côté, que par la seule extension des glaciers terrestres. Dans la Scandinavie, la Laponie, la Finlande, la même action a, au contraire, amené un plus grand développement des glaces flottantes. Il devait bien en être ainsi puisque ces régions, atteintes après les autres par la marche polaire, n'étaient pas encore sorties des limites de l'aplatissement, et qu'une partie devait encore être recouverte par les eaux.

Si nos grands refroidissements et nos grands réchauffements ne s'étaient produits que des pôles à l'équateur ou de l'équateur aux pôles, sans l'intervention de nos balancements, ne peut-on pas penser que les grandes migrations d'animaux et de plantes ne se seraient guère opérées elles-mêmes qu'en latitude, allant du nord au sud ou du sud au nord? Or, il est établi qu'il en a souvent été autrement, en ce sens, par exemple, que beaucoup des espèces de notre miocène se trouvent aujourd'hui au Japon et dans le sud des États-Unis. Les déplacements se seraient donc surtout effectués en longitude et circulairement. C'était, en effet, le principal moyen, pour les faunes et pour les flores, de se soustraire aux atteintes qu'elles pouvaient avoir à redouter.

La période du miocène, aux États-Unis, n'a pas eu les mêmes ardeurs que chez nous. Le fait ressort surtout de la comparaison des fossiles de la rivière James, sous le 37° degré de latitude, avec ceux des faluns de la Touraine, sous le 47° (1). C'est que nous nous trouvons, à ce moment, dans nos plus basses latitudes, alors que l'autre continent s'était déjà très-sensiblement relevé vers le pôle, et que sa situation, au point de vue climatologique, à l'opposé de ce qu'elle est aujourd'hui, n'équivalait qu'à ce qu'a été plus tard, pour nous, la période pliocène.

Autre particularité du même ordre. La flore du *lignitic-formation*, de la région américaine située entre les montagnes Rocheuses et le Missouri, territoires de Colorado, de l'Utah, etc., appartiendrait à la période éocène, et cependant, d'après M. le comte de Saporta (2), ses équivalents se trouveraient en Europe dans les dépôts de la période paléocène qui a succédé à l'autre. S'il y a parité dans un sens, elle n'existe pas et ne pouvait exister dans l'autre.

La faune pliocénique de l'Amérique du nord ressemblerait

(1) Ch. Lyell, *Éléments de géologie*, page 444.

(2) *Les périodes végétales de l'époque tertiaire*, n° 192 du journal *La Nature*, p. 158.

beaucoup moins, d'après sir Ch. Lyell, à la faune récente de la même contrée qu'à celle de l'Europe (1). Il n'y a là encore qu'un effet de nos balancements. Il est évident que le pliocène américain, assimilé au nôtre, est plus ancien que ce dernier, et qu'ainsi une différence plus grande doit forcément exister entre les fossiles de là-bas qu'avec ceux d'ici. Les mêmes écarts se retrouvent, du reste, dans l'ensemble des couches géologiques. Aux mêmes latitudes, et dans des terrains considérés comme correspondants, ne trouve-t-on pas, en Amérique et en Asie, comme l'a remarqué M. Marcou, l'auteur de la *carte géologique de la Terre*, des assemblages de restes organiques qui n'ont aucun rapport avec ce qui existe en Europe. C'est que les dépôts, bien qu'ayant de l'analogie, ne se sont formés qu'à des dates et dans des conditions réellement différentes, l'Asie ayant ses époques de chaleur ou de froid quand l'Amérique a ses époques de froid ou de chaleur, et l'Europe n'ayant les siennes qu'alors que l'Amérique et l'Asie en sont aux périodes tempérées.

Une chose aussi sur laquelle il est bon de s'arrêter, c'est que les variations précessionnelles, qui s'étendent à l'ensemble de chaque hémisphère, atteignent plus ou moins les régions, selon qu'au moment où elles se produisent, celles-ci se trouvent plus ou moins rapprochées du pôle ou de l'équateur. Tel a été le cas pour les États-Unis et pour nous, à l'époque du miocène supérieur. Le refroidissement qui a tant aggravé notre période polaire n'a certainement pas eu un égal caractère d'acuité au Canada qu'en France, par ce motif qu'entre les latitudes de l'un et de l'autre de ces pays, il devait y avoir alors une différence moyenne de 7° à notre désavantage. Par contre, le refroidissement de notre pliocène, correspondant avec la période polaire des États-Unis, n'a pu être là que beaucoup plus intense que chez nous.

Dans les dépôts post-glaciaires de la même région, on a trouvé de nombreux restes du grand mastodonte (*mastodon*

(1) *Ancienneté de l'homme*, Paris, 1870, page 484.

giganteus), espèce qui ne se rencontre plus dans aucun de nos terrains du même ordre. N'y a-t-il pas là une autre preuve du défaut de contemporanéité des terrains?

A propos du refroidissement du miocène, nous avons fait observer que la faune et la flore de cette époque étaient loin d'accuser, chez nous, malgré l'extension des glaciers, un véritable état glaciaire. Le fait ressort avec une complète évidence des recherches auxquelles de nombreux savants se sont livrés touchant les variations du climat de l'époque tertiaire, et particulièrement de celles de M. le comte de Saporta, sur les constatations de qui nous avons déjà eu à nous appuyer. Aux plantes tropicales d'alors, on voit simplement s'adjoindre, en se multipliant et sans s'y substituer tout à fait, des chênes, des érables, des charmes, des ormes, des aulnes, des bouleaux, des peupliers, dont les lignites de Manosque et les gypses d'Aix ont particulièrement, et dans des couches distinctes, conservé les empreintes (1). Une remarque analogue est à faire relativement au refroidissement du pliocène. Les moraines du glacier alpin qui descendait jusqu'à l'extrémité du lac de Côme, se sont accumulées dans la mer subapennine, et les coquilles qui s'y sont mêlées et qu'on y a récemment retrouvées, n'accuseraient pas une température très-sensiblement inférieure à celle actuelle de la Méditerranée (2). A ce moment l'emplacement du lac de Côme se serait trouvé sous le 44° degré de latitude. C'eût été le cas des glaciers du Chili à une différence d'excentricité près.

Comme preuve des discordances qui se produisent dans les niveaux du sol, même alors que les couches obéissent à une même impulsion, nous avons relaté les variations de hauteur qu'offre le drift dans les contrées où les immersions glaciaires se sont produites. La prédominance des lacs, signalée par Lyell, dans l'ensemble de ces contrées, l'atteste

(1) *Les périodes végétales de l'époque tertiaire*, journal *La Nature*, n° 225, p. 259.

(2) Ch. Martins, *Revue des Deux-Mondes*, XLV^e année, 3^me période, t. VIII, p. 849.

de la même façon. Il n'y a pas non plus à considérer autrement l'exhaussement actuel du Spitzberg et de la Nouvelle-Zemble, exhaussement qui montrerait des dépôts de coquilles d'espèces littorales vivantes, jusqu'à la hauteur de 45 mètres. Après s'être affaissées sous l'étreinte du pôle, ces îles se seraient un peu relevées, obéissant sans doute à quelque pression latérale. Mais tout porte à croire qu'il ne s'agit bien là que d'une oscillation exceptionnelle, et que, loin de se terminer, l'immersion dernière de ces terres n'est même pas commencée. C'est à un effet de même nature qu'il faudrait attribuer les quelques déviations de la ligne des immersions glaciaires, que nous avons antérieurement signalées, notamment celles de l'Allemagne et de l'Angleterre méridionale. En Allemagne, les immersions sont allées un peu au-delà. En Angleterre, elles sont restées légèrement en deçà. Mais nos cercles n'en conservent pas moins, dans leur tracé principal, leur évidence et leur régularité.

Voici comment le mouvement équatorial qui a, en dernier lieu, modifié les niveaux de l'Amérique du sud, est exposé par M. le docteur Jules Carret dans le livre qu'il a consacré à l'étude des déplacements polaires (1). « L'Amérique du sud » présente, sur une vaste étendue de côtes, des signes évidents d'une émergence peu ancienne. Ce mouvement commençait dans son aire tout le rivage de l'Océan Pacifique depuis le Pérou jusqu'à la Terre-de-Feu, et le rivage de l'Atlantique depuis la Terre-de-Feu jusqu'à l'estuaire de la Plata..... L'émergence s'est produite avec un ensemble remarquable, et le mouvement, très-lent, aurait pris fin. » Le rapport existant entre ce mouvement, particulièrement étudié et déterminé par M. Darwin, n'est-il pas aussi complet que celui que nous avons mis en lumière relativement à l'action du pôle ?

Une autre citation mettra dans tout son jour la réapparition des mers, de notre côté, au temps de l'éocène. « La mer

(1) *Déplacement polaire*, page 71.

» nummulitique, dit M. le comte de Saporta, traversait diagonalement l'Europe, allant de Nice en Crimée en suivant la direction de la chaîne des Alpes, dont ses dépôts, plus tard soulevés, constituent les hauts sommets sur une foule de points. Elle s'étendait encore vers les Pyrénées, en Espagne, en Italie, en Grèce, en Asie Mineure, en Afrique, en Syrie, en Arabie et, plus loin, jusqu'en Perse, dans les Indes et en Chine. C'est une des mers intérieures les plus vastes dont les annales de la géologie aient eu à constater l'existence. L'aspect uniforme des roches sédimentaires qui lui doivent leur origine, atteste à la fois l'étendue très-grande et l'unité de ce bassin, aussi bien que l'égalité des conditions biologiques établies dans son sein et sur ses bords (1). » Ce ne sont pas seulement quelques points, on le voit, qui ont été envahis par ce retour des mers à l'époque en question; mais bien toutes les régions qui avaient dû en même temps se rapprocher de l'équateur. La situation ne saurait être plus caractéristique.

VII.

Ainsi, embrassant toute l'époque tertiaire, notre mouvement, parti pour nous des froids de son début, nous a ramenés aux froids de sa fin, après nous avoir fait passer par les grandes chaleurs de son milieu, et ses effets, tantôt accrus, tantôt atténués, n'auraient été modifiés temporairement que par la précession, agissant selon le degré d'excentricité de l'orbite terrestre. Nous avons dit que ces grandes variations ne se sont pas manifestées que dans la seule époque dont il s'agit, et qu'elles se sont également, et tout aussi bien, produites dans le cours des âges antérieurs. Notre balancement, qui doit dater de la condensation du globe, pro-

(1) Journal *La Nature* du 17 mars 1877, page 243.

duisait donc déjà les mêmes effets, et si les phases diverses n'en peuvent être aussi exactement délimitées, on peut, tout au moins, en reconnaître les traces principales. Il est hors de doute particulièrement que des chaleurs torrides ont régné, pour nos régions, pendant une grande partie des périodes crétacées et jurassiques, et que, favorisées par la température centrale, ces chaleurs n'ont pu, précédemment, dans leur ensemble, qu'être plus élevées encore. Quant aux périodes de froid, beaucoup de faits viennent également les attester, et ces faits ont notamment été mis en relief par M. Alex. Vézian, dans un travail récemment publié (1).

Après avoir établi, d'une part, que les roches d'origine geysérienne, et, parmi elles, les calcaires, se constituent seules, d'autre part, que les grès et les conglomérats ne se sont édifiés qu'aux époques où des courants d'une grande puissance sillonnaient la surface des continents, et que ces courants n'ont pu exister que là où le climat, pour une cause ou pour une autre, éprouvait un refroidissement plus ou moins intense, le savant professeur a énuméré ces phases répétées. Les terrains carbonifère, houiller, permien, triasique, présentent des alternances remarquables de formations calcaires et de formations détritiques. Pour lui, elles sont le résultat des alternatives de périodes à climat chaud et de périodes à climat froid. Des variations analogues se rattachent aux formations crétacées et jurassiques, et là encore, d'après lui, de grands froids auraient laissé leur trace aussi bien que de fortes chaleurs. Ce qu'on ne saurait contester, c'est que, dans une brèche permienne, en Angleterre, on a trouvé des fragments de roches polies et striées provenant de montagnes éloignées, et que ces blocs n'ont pu y être chariés que par des glaces flottantes. Ce qui est tout aussi certain, c'est qu'un conglomérat devonien du Westmoreland et du Yorkshire contient des blocs marqués de stries longitudinales et croisées, et que ces stries sont tout

(1) *Revue scientifique* du 19 août au 2 décembre 1876, pages 171 et 536.

à fait identiques à celles que produit l'action glaciaire. Ces observations ont non-seulement été données par Ramsay, la dernière a, de plus, été confirmée par sir Ch. Lyell. Si de semblables faits prouvent les passages répétés, même aux époques les plus éloignées, des grandes chaleurs aux grands froids et de ceux-ci aux autres, ne montrent-ils pas aussi, en raison de l'importance de la plupart des dépôts, que la précession seule avec ses phases de courte durée, serait absolument impuissante à les expliquer.

Dans l'ensemble des couches classées comme elles l'ont été par M. Vézian, on remarque une forte disproportion entre celles attribuées aux actions glaciaires ou diluviennes et celles déposées dans les époques de chaleur, ces dernières ayant une puissance beaucoup plus grande que les autres. Il n'y a nullement à en être surpris. Les périodes polaires, pour nos régions, sont toujours plus courtes que les périodes équatoriales, et, pour nous particulièrement, les premières n'auraient guère qu'une durée égale au tiers des autres. Celles-ci ne peuvent donc nous laisser, après elles, que des dépôts beaucoup plus considérables; et puis, ne nous ramènent-elles pas les mers, qui ont toujours constitué les principaux terrains, alors que les autres nous les retirent. Quant à l'intensité décroissante des phases torrides, elle s'expliquerait tout naturellement par le refroidissement lent, mais graduel, de l'ensemble de notre globe, et c'est certainement aussi ce même refroidissement qui nous vaudrait les aggravations des périodes glaciaires.

Y aurait-il à s'étonner de ce que l'uniformité et la périodicité de notre mouvement ne se retrouveraient pas dans les terrains des époques antérieures à l'époque tertiaire aussi bien que dans ceux de cette dernière? Nous ne le croyons pas. Quelles transformations n'a pas dû subir la surface de la Terre depuis ces âges reculés! Les érosions, les submersions, les recouvrements n'ont pu que faire disparaître une grande partie des traces des actions que nous recherchons. Ce qui fait bien voir que de nombreuses pages de ce grand livre

nous manquent, ce sont les lacunes que présentent les séries organiques. Les hiatus de ce genre existent notamment, selon sir Ch. Lyell, dans les parties supérieures du terrain crétacé, dans les parties moyennes du même terrain, dans l'oolithe supérieure, dans l'oolithe inférieure, etc (1). Les jalons qui nous font défaut se seraient bien certainement trouvés de ce côté.

Ici se place la question de savoir si nos oscillations n'ont jamais eu que la même amplitude, et elle nous ramène naturellement à l'examen de la situation paléontologique de quelques-uns des lieux de la zone arctique, que nous avons réservés.

Résultant de la liquéfaction du globe et ne se produisant qu'en raison du glissement de son écorce, nos balancements, on ne saurait le contester, n'ont pu qu'être plus prononcés quand son état de fluidité était plus grand et que son enveloppe, moins épaisse, offrait moins de résistance aux attractions, et, non-seulement les oscillations ont dû alors être plus larges, le balancement n'a pu, lui-même, qu'être relativement plus rapide. Nos déterminations n'ont été basées que sur les effets qui se sont produits pendant le cours de l'époque tertiaire. Elles ne se rattacheraient donc qu'imparfaitement aux actions antérieures. Les rapports désirables peuvent néanmoins se retrouver avec une approximation suffisante.

Outre les végétaux tertiaires, on en a recueilli, au Spitzberg, qui ont appartenu à la période crétacée, et on en a aussi rencontré de semblables dans la presqu'île de Norsouak. Le Spitzberg a également fourni des plantes jurassiques, de même que le cap Boheman. L'étage houiller s'est révélé par des empreintes découvertes dans quelques parties du Groënland. Enfin, la flore carbonifère a laissé ses traces, non-seulement au Spitzberg, mais aussi à l'île Melville, dans la terre de Bank's, à l'île de l'Ours et même en plusieurs

(1) *Éléments de géologie*, pages 495, 498, 538, 636.

endroits des îles Parry. C'est à ces faits qu'il nous faut nous attacher.

Nos balancements pourraient seuls, avec la précession, nous conduire aux températures qu'accusent même les plus anciens fossiles du Spitzberg, et il en est de même en ce qui concerne celles que révèlent les plantes de l'île de l'Ours, puisque cette dernière, comme le Spitzberg, s'éloignerait du pôle jusqu'à la distance de 37° . L'ancienne végétation de la presqu'île de Norsouak s'expliquerait tout aussi bien que celle de l'île de Disco, sa voisine; mais la flore carbonifère de la terre de Bank's, celle de l'île Melville, et surtout celle des îles Parry ont besoin d'autres justifications. Ce sont les augmentations d'amplitude de notre balancement qui nous les fournissent.

Supposons qu'à chacune des révolutions de notre mouvement, le cercle des parcours polaires se soit réduit d'un degré en diamètre, et une telle réduction n'a certainement rien d'inacceptable, la trajectoire des pôles aurait pu, à l'époque carbonifère, en compter au moins 42 au lieu des 30 que nous lui avons assignés pour l'époque actuelle. Avec ce chiffre, la terre de Bank's serait descendue au 52° degré, l'île de Melville au 56° et la partie centrale des îles Parry aurait atteint le 65° . Les impossibilités ne disparaissent-elles pas? Les flores relevées peuvent d'autant mieux se comprendre que la chaleur centrale devait naturellement ajouter beaucoup plus qu'elle ne le fait aujourd'hui au résultat des balancements. L'affaiblissement graduel de la température intérieure apparaît, au reste, assez nettement dans les flores mêmes. C'est sur les points les plus rapprochés du centre de notre cercle que se rencontrent les plantes des périodes les plus chaudes, et la décroissance, sur les autres, se manifeste assez clairement avec les âges. Ainsi, les végétaux de la période crétacée, au Spitzberg, annoncent une moindre température que ceux de l'époque jurassique, et ceux du miocène, toujours sur le même point, n'en indiquent qu'une autre inférieure encore. Il n'est pas douteux, pour nous, que les deux

influences indiquées, le rétrécissement progressif du cercle des pôles et l'abaissement de la température générale du globe, n'y aient concouru. Ajoutons que si, sous le 66° degré de latitude qu'atteindrait l'île de Disco, avec la mesure actuelle de notre mouvement, les plus longues nuits sont encore de 23 heures, sous le 65°, où serait allé le milieu des îles Parry, elles ne sont plus que de 21 heures. La végétation aurait rencontré là d'autant moins d'obstacles pour son épanouissement.

A quelles suppositions ne s'est-on pas livré à propos de nos grandes fluctuations de climat ! Il n'entre en aucune façon dans nos intentions de discuter les hypothèses émises. On pourra juger en quoi elles diffèrent de notre système. Nous ne formulerons que quelques observations touchant une opinion avancée dans ces derniers temps à l'occasion justement de la flore arctique. Il s'agit de cet avis, qui a été exprimé, que de la période carbonifère au pliocène, nos régions circumpolaires auraient joui, sans interruption comme sans grande variation, d'une température égale à celle de l'Europe centrale, et cela sans qu'il y ait eu déplacement des pôles (1).

Au lieu de sa position actuelle sur l'écliptique, admettons que la Terre en ait eu une tellement inclinée que les pôles se fussent trouvés presque entièrement dans le plan du Soleil. Dans ce cas, il est certain que le nôtre, comme l'autre, aurait pu avoir de très-fortes chaleurs. Mais, à la suite de jours et d'étés de cinq à six mois, seraient survenus des nuits et des hivers d'égale durée, et la température n'aurait pu, dans cet autre sens, que subir un revirement complet. Ce n'est évidemment pas dans ces conditions que les flores reconnues auraient pu exister. Cette abondance et cette suite de végétation auraient-elles été provoquées par la seule chaleur centrale ? Mais le pôle n'aurait pas joui exclusivement de cet avantage. L'Europe en particulier aurait dû en avoir sa part, et pour elle, ne s'y serait-il pas ajouté en plus la

(1) *Revue de géologie*, tome XIV.

chaleur solaire que, de toute façon, elle aurait reçue plus directement et plus abondamment. L'explication ne serait donc pas là non plus. Se trouverait-elle du côté de la translation de notre système solaire à travers l'espace, translation qui, suivant certaines idées, et particulièrement celles de M. Vézian, nous vaudrait tout aussi bien nos grands froids que nos grands réchauffements? Cette chaleur élevée aux pôles, n'est-ce pas une chaleur beaucoup plus grande encore dans les autres régions, et telle à l'équateur qu'on ne saurait la concilier avec les conditions normales de la vie. Et puis comment faire concorder cet éternel été des pôles avec les phases glaciaires si nombreuses qui ont marqué leur passage sur d'autres points. Il n'y a que les déplacements polaires qui nous donnent la clef de cette situation. On ne connaît pas, que nous sachions, toute la série des couches géologiques des contrées dont il s'agit, et il est clair que si les périodes de réchauffement y ont laissé des traces de leur végétation, il n'a pu en être de même des autres, par cette raison toute naturelle que celles-là n'en ont point eu. Les intermittences manqueraient simplement dans les constatations. Or, de ce que rien n'a encore été établi sous ce rapport, s'ensuit-il que, contrairement à toutes les lois de la physique, on puisse se croire fondé à en tirer la conclusion qu'on sait?

VIII.

Il ne suffisait pas de montrer le balancement des pôles dans sa réalité et de faire voir que les effets qui ont dû en résulter se trouvent exactement en concordance avec l'ensemble des faits accomplis. Il y avait aussi à déterminer la durée des révolutions auxquelles ils sont soumis. Nous sommes-nous, dans nos premières approximations, avec des éléments trop incomplets, éloigné de la vérité? Tel est le dernier point sur lequel nous avons à revenir.

La question de savoir à quelle date peut remonter notre dernière période glaciaire a tout autant préoccupé les savants que la cause même de nos grands froids. Les uns ont cherché la solution du problème dans les alluvions des fleuves, d'autres dans les atterrissements des lacs. Ceux-ci ont interrogé les érosions des berges et des plateaux, ceux-là les dépôts tourbeux. D'aucuns ont été jusqu'à s'adresser aux formations stalagmitiques. Tous, on le sait, sont loin d'avoir fait la lumière dans une égale mesure. Il y a là, toutefois, des indices, et ils ne doivent pas être négligés.

Les tourbières, dont l'accroissement annuel varie de 1 à 10, sont, en fait, restées muettes. Les alluvions de la Saône ont donné à MM. Arcelin et de Ferry 6,750 ans. Le cône de déjection de la Tinière a fait à M. Morlot une réponse qui oscille entre 74 et 110 siècles. Le chiffre trouvé par M. Forel du côté des dépôts limoneux du lac Léman est de 100,000 ans. Les stalagmites des îles Bermude ont porté le leur, d'après M. Milne, a six fois autant (1). Nous ne chercherons pas, comme cela a été fait, une moyenne impossible entre des éléments aussi disparates. Nous noterons ceci, c'est que l'opération de M. Forel a été pratiquée dans des conditions qui offrent, en probabilités, tout ce qui manque à la plupart des autres, et, ce qui est non moins essentiel, c'est que la date qui en résulte n'est que celle du retrait des grands glaciers. D'autres moyens ont, du reste, aussi été employés. On s'est basé sur la mesure du soulèvement actuel de la Suède, sur le golfe de Bothnie, et on l'a appliquée au double mouvement qui a relevé et abaissé les contrées atteintes par les immersions glaciaires. On est ainsi arrivé, selon le degré de subsidence auquel on s'est arrêté, à des chiffres, sans doute variables et insuffisants, mais qui, du moins, se rapprochent des termes cherchés. Enfin, Sir Ch. Lyell, en considérant l'importance des érosions et l'épaisseur de certains terrains glaciaires, a

(1) De Quatrefage, *L'espèce humaine*, page 100. — Delesse et de Lapparent, *Revue de géologie*, tome VI.

cru pouvoir assigner à la période entière du froid une durée estimative de 224,000 ans (1). Voyons en quoi ces chiffres peuvent, plus ou moins, venir corroborer nos calculs.

Nous avons dit que notre mouvement s'effectuerait avec une extrême lenteur, que ses révolutions seraient approximativement de 1,200,000 ans, et que, s'accomplissant sur un cercle de 15° de rayon, la moyenne des déplacements des pôles devrait être, en projection, de 28" par siècle. Le point à envisager ici est particulièrement ce dernier.

Notre position est telle, à notre époque, par rapport à celle du pôle et à la trajectoire que nous lui avons tracée, que le maximum de son déplacement en latitude doit nous apparaître à peu de chose près. De plus, comme notre mouvement nous rapproche de l'équateur, les différences, pour nous, doivent nécessairement être en moins. Reportons-nous aux indications données précédemment. Entre les déterminations d'Arago et celles de Biot, à Formentera, il y a un écart de 2" 83. Les opérations ont été faites à 19 ans d'intervalle. La proportion pour un siècle serait de 15". Entre les résultats obtenus par Bouvard et ceux de Laugier, pour l'Observatoire de Paris, la différence est de 4" 81. Un laps de 38 ans s'était écoulé. Ce serait une autre moyenne de près de 13" pour 100 ans. Des déterminations de Laugier à celles de 1863, il y a eu un intervalle de 10 ans. Celles-là présentant, au minimum, un écart de 1" 19, la proportion en est de 12". Enfin, et si nous nous reportons aussi aux recherches faites à Greenwich, par Maxwell, dans le but de s'assurer du plus ou moins de fixité de l'axe des pôles, nous voyons que celles-là ont fourni une autre variation qui est égale à près de 17" par siècle. Non-seulement nous avons bien de chacun de ces côtés des indications qui se réduisent; nous y retrouvons de plus, comme nous l'avons déjà dit, des proportions qui se rapprochent beaucoup. A Washington, seulement, on s'en souvient, il n'en est pas ainsi, puisque, là, l'abaissement serait insen-

(1) *Ancienneté de l'homme*, page 317.

sible; mais comme nous l'avons aussi fait observer, loin de nous être opposé, le fait nous offre, au contraire, une autre et importante confirmation. Alors que nous nous déplaçons en latitude, Washington ne se déplacerait qu'en longitude. Ce ne serait donc que dans ce sens que les variations pourraient y apparaître.

Diverses opérations faites dans des conditions également particulières peuvent, on le voit, nous conduire à la mesure réelle de notre déplacement. D'après l'ensemble des différences notées, cette mesure serait, à notre époque, de 14" par siècle. Mais le mouvement n'est certainement pas toujours uniforme, et par cette raison qu'il découle surtout des attractions solaires, il y a à présumer qu'il s'accélère ou se ralentit, de même peut-être que celui de la précession sur lequel il se modèle, selon le plus ou moins d'excentricité de l'orbite. En tenant compte des variations de cette excentricité et en les rapportant à la situation actuelle, on trouve que la moyenne générale des déplacements serait de 27" par siècle. Elle ne différerait donc que de très-peu de notre première détermination. Avec le déplacement moyen de 28", d'abord adopté, la date culminante de notre dernière époque glaciaire devait remonter à 273,000 ans. Avec la base nouvelle, celle à assigner à notre plus grand rapprochement du pôle remonterait à 260,000 ans, et la durée totale du mouvement, au lieu d'être de 12,000 siècles, s'élèverait, en chiffres ronds, à 1,250,000 ans. C'est, en définitive, et sans nous occuper autrement du plus ou moins de probabilité d'un léger allongement de notre cercle, à ces derniers nombres que nous croyons devoir nous arrêter.

La mesure établie, où nous conduit-elle relativement aux grands faits géologiques que nous avons eu à relever? A une complète et entière harmonie entre eux et l'ensemble des situations astronomiques. Les grandes chaleurs coïncident exactement avec le rapprochement de l'équateur, les grands froids avec celui des pôles, et, en s'ajoutant à ces effets, ceux de la précession s'y marquent eux-mêmes exactement à leurs dates

et dans le sens qui leur est propre. Ainsi, et en remontant à 1,000,000 d'années en arrière, le point occupé par Paris se serait alors trouvé près du 36° degré de latitude. Nous touchions à la fin de l'éocène, et 150,000 ans plus tard, après avoir atteint le 35°, nous avons recommencé notre marche vers le 36°. C'est à cette dernière époque, qui correspond au miocène inférieur, que l'orbite de la Terre a eu son maximum d'excentricité, et c'est alors aussi qu'après nous avoir donné les chaleurs du 21° degré actuel, la précession nous aurait portés à la température moyenne du 37°. Au premier de ces effets seraient dus les singes du Gers et la végétation de l'île de Disco; au second, l'extension glaciaire qui s'est produite à ladite époque. Vers l'an 750,000, nouvelle et forte excentricité. Paris est remonté au 39° degré, et un double mouvement de précession lui rend, dans un sens, un abaissement de température égal à celui du milieu du miocène, et, dans l'autre, un relèvement qui le ramène au climat du 29° degré. Ce serait la fin de la période, et conséquemment l'âge des faluns de la Touraine. Le refroidissement du pliocène, accusé dans les dépôts subalpains, daterait de l'an 600,000. Paris aurait eu alors la température du 63° degré. Vers l'an 450,000 aurait commencé la période glaciaire proprement dite. Nous sommes arrivés au 57° degré de latitude et la précession nous donne le climat du 70°. De 400,000 à 350,000, les froids précessionnels sont analogues. En 300,000, très-proches de notre point le plus voisin du pôle, nous avons, par suite d'un effet plus marqué d'excentricité, le climat du 78° degré. En l'an 250,000, nous avons encore celui du 75°. Mais c'est vers l'an 200,000, bien que nous fussions déjà redescendus de 2° en latitude, que nos régions éprouvent les froids les plus rigoureux. Ils auraient atteint, ou à peu près, ceux du 81° degré. Enfin, un peu en deçà de l'an 100,000, se seraient manifestés nos derniers grands froids, qui auraient été ceux du 71° degré, et c'eût été la fin de l'ère glaciaire. Avant, toutefois, c'est-à-dire vers l'an 105,000, serait survenu le réchauffement auquel se rapporteraient les lignites d'Utzach, lequel, comme les dif-

férents autres excès de température que nous avons notés, n'aurait été occasionné que par la précession agissant toujours selon le degré d'excentricité de notre orbite. La série de nos grands froids a, du reste, été coupée par d'autres adoucissements ayant la même origine ; mais le plus caractérisé, vers l'an 210,000, ne nous aurait rendu, au maximum, que la température du 54° degré. Ne retrouve-t-on pas là, exactement à leur place et dans leur ordre, les fluctuations constatées ?

On peut, maintenant, en les rapprochant, juger des rapports qui existent entre nos déterminations et quelques-unes des supputations que nous avons rapportées. Le chiffre obtenu par M. Forel, dans ses calculs relatifs aux dépôts limoneux du lac Léman, a été considéré comme constituant un maximum. Il ne serait supérieur à la date donnée par nous que de 7 à 8,000 ans. Quelque excessifs qu'aient pu tout d'abord paraître les 224,000 ans de Sir Ch. Lyell, ils seraient même encore restés assez loin de la réalité ; mais il n'y a pas à en être surpris, de semblables évaluations ne pouvant avoir qu'une précision très-imparfaite. L'illustre géologue ne s'est d'ailleurs basé que sur l'action glaciaire proprement dite, et des périodes d'adoucissement sont venues la suspendre chaque fois que nos étés se sont présentés en aphélie. Quant aux dates accusées par MM. Arcelin, de Ferry et Morlot, bien que très-différentes de celle de M. Forel, elles n'en auraient pas moins aussi leur explication. Il y a 44,000 ans, une dernière phase précessionnelle nous aurait reportés à la température du 58° degré. Nous aurions retrouvé alors des neiges abondantes et conséquemment des courants fluviatiles beaucoup plus largement alimentés qu'aujourd'hui.

Si le mouvement de la précession devait avoir exactement la durée qui lui a été assignée, il suffirait, pour calculer le retour des périodes secondaires de chaleur ou de froid, de les rapprocher des variations de forme de l'orbite. Mais il faut tenir compte de la part de nos glissements dans les déplacements exclusivement attribués jusqu'ici à la précession,

et commé cette part, avec nos déterminations, serait, à notre époque, de 0'' 5 par an, il en résulte qu'il ne resterait à rattacher à l'autre mouvement que 49'' 6, avec les anciennes données, et que 49'' 8, avec celles actuellement admises. Au lieu d'embrasser une durée de 25,868 ans comme dans le premier cas, ou de 25,765 comme dans le second, la précession mettrait donc 26,024 ans pour accomplir sa révolution, et les positions de la Terre sur l'écliptique, combinées avec le mouvement de la ligne des absides, ne se reproduiraient que tous les 20,937 ans. D'un autre côté, comme nous l'avons dit, la précession, de même que notre balancement, pourrait subir le contre-coup des variations de l'excentricité de l'orbite, et, dans ce cas, les perturbations seraient beaucoup plus profondes encore. On comprend qu'il nous soit impossible de rien préciser à cet égard. Mais les mouvements de l'orbite sont toujours très-lents, et on peut tout au moins conjecturer que les alternatives de la précession doivent s'exercer à peu près dans toutes les conditions de ces variations, de sorte que nous aurions eu, de toute façon, les grands froids et les grandes chaleurs qui peuvent résulter de ces modifications. Les déterminations du mouvement de la précession n'auraient donc pas, pour nous, à ce point de vue, un intérêt absolu.

Le tableau qui suit résume et complète nos indications. Il montre, aux dates principales jusqu'à 1,000,000 d'années en arrière, quelles ont été nos positions en latitude et quels ont dû être, pour nous, les effets de l'excentricité de l'orbite, eu égard aux phases précessionnelles. C'est la situation de Paris qui a été prise pour base. Nous rappellerons que les chiffres de la 2^e colonne, que nous avons déjà donnés, empruntés en partie aux calculs de MM. Stone et James Croll, ont été obtenus à l'aide de la formule de M. Le Verrier, et, pour mieux juger des effets indiqués, nous renverrons, à la suite, au tableau figuratif des principales courbes s'y rattachant.

ANNÉES à partir de l'an 1800 de notre ère.	EXCENTRICITÉ de l'orbite exprimée en fractions d'une unité égale à son demi grand axe.	NOMBRE de jours en excès.	VITESSE du déplace- ment polaire, en projec- tion et par siècle.	POSI- TIONS en latitude.	LATITUDES thermales sur la base actuelle.		PÉRIODES géologiques.
					É T É en aphélie.	HIVER en aphélie.	
0	0,0168	8,1	14''	48° 5	48° 5	Moderne.
10,000	0,0187	9,0	15	49 2	58° 0	
50,000	0,0131	6,3	10	50 4	52 0	58 0	
70,000	0,0316	15,2	24	52 0	48 2	63 4	
100,000	0,0473	23,0	37	55 1	47 4	70 4	
150,000	0,0332	16,1	26	59 0	55 0	71 0	
200,000	0,0567	27,7	46	63 1	81 0	Glaciaire.
210,000	0,0575	27,8	46	64 0	54 0	
250,000	0,0258	12,5	20	64 5	62 4	75 0	
300,000	0,0424	20,6	34	64 2	58 0	78 4	
350,000	0,0195	9,5	16	62 3	61 0	71 0	
400,000	0,0170	8,2	13	61 0	61 0	69 0	
450,000	0,0308	15,0	24	58 4	55 0	70 0	
500,000	0,0388	18,8	31	54 4	49 2	68 0	
550,000	0,0166	8,0	13	52 0	52 0	60 0	
600,000	0,0417	20,3	32	48 3	42 2	62 4	
650,000	0,0226	11,0	18	45 3	44 0	55 0	
700,000	0,0220	10,2	16	43 0	42 0	52 0	
750,000	0,0575	27,8	45	39 0	29 0	57 0	
800,000	0,0132	6,4	10	37 0	38 0	44 0	Miocène.
850,000	0,0747	36,4	59	35 1	21 0	57 2	
900,000	0,0102	4,9	8	35 0	36 4	41 2	Eocène (par- tie).
950,000	0,0517	25,1	41	35 1	26 4	51 4	
1,000,000	0,0151	7,3	11	35 4	36 0	43 2	

Dans 10,000 ans, l'excentricité se sera peu modifiée. Mais la précession nous aura reportés au climat du 37° degré dont nous avons commencé à nous rapprocher depuis l'an 1248. Dans 20,500 ans, très-près du minimum de l'excentricité (0,0033), nous aurons retrouvé à peu près la moyenne actuelle de notre température. Dans 70,000 ans, avec une excentricité de 10 jours (0,0211), les extrêmes seront un peu plus mar-

qués ; et, dans 100,000 ans, revenus à l'excentricité d'il y a 10,000 ans, nous n'aurons en plus ou en moins, pour effets de chaleur ou de froid, que les différences résultant de notre plus grand abaissement vers l'équateur, qui sera alors de près de 4 degrés. Les variations, pendant tout ce laps de temps, resteront donc peu tranchées et le réchauffement équatorial ne fera guère, pour nous, que suivre un cours régulier.

Peut-être trouvera-t-on que quelques-unes de nos indications de température, notamment celles se rapportant à deux des parties de la période glaciaire, ont quelque chose d'excessif. Nous n'avons entendu donner que des moyennes, et, par cette raison que les progressions et les décroissances ne se mesurent pas exactement sur d'égales distances en latitude, il pourrait se faire que nos chiffres, qui ne l'appliquent qu'à un point spécial, ne représentent pas absolument les situations qui se sont produites. Les écarts, toutefois, ne sauraient être que minimes. Nous avons aussi à faire remarquer que nos calculs ne reposent que sur la base actuelle, et que cette base aurait pu être un peu autre il y a 600 ans, alors que nos hivers correspondaient entièrement avec le point de notre orbite le plus rapproché du soleil ; mais il n'y aurait là, non plus, qu'une très-faible différence, difficile d'ailleurs à déterminer avec précision, et c'est pour ce motif que nous n'en avons pas tenu compte. Elle ne dépasserait pas un demi-degré en plus. Dans ce cas, les plus grandes chaleurs pour Paris auraient pu être celles du 49° degré et ses plus grands froids auraient pu s'approcher de ceux du 83°. Le fait ne nous serait pas moins favorable. Nous ajouterons qu'au lieu de présenter, comme nous l'avons fait, les variations d'excentricité avec des dates arrondies et pour la plupart uniformément espacées, nous aurions voulu les établir en les suivant dans leurs modifications mêmes. Ici nous n'avons pu que nous servir des éléments que nous avons à notre disposition.

Quelques autres explications compléteront notre exposé.

Fixons-nous bien sur les conditions géologiques dans lesquelles se sont accomplies les phases du miocène. Celle du refroidissement a coïncidé avec une exondation de notre sol, alors que les mers équatoriales, s'étendant jusque chez nous, auraient dû, à ce moment, en recouvrir toutes les parties basses. Leur réapparition, nous l'avons montré, avait bien eu lieu avec la période éocène; mais les terres, à part les nombreux espaces occupés par des lacs, en étaient alors débarrassées. Il n'y aurait eu là, en réalité, qu'un effet de l'exhaussement se rattachant au soulèvement des Alpes. Les eaux auraient bien conservé leur niveau, seul, le sol, n'aurait pas gardé le sien; mais il n'a pas tardé à le retrouver. Après des oscillations partielles, le retour des mers a repris tout son caractère, qui s'est particulièrement marqué dans les dépôts faluniens; et leur retrait, dont on connaît la marche, n'a plus eu lieu, cette fois, que par suite de notre éloignement même de l'équateur.

Dans l'état actuel de la science, les observations en latitude ne sauraient encore, nous dira-t-on, être considérées comme ayant un caractère absolu de précision. Il est certain que des comparaisons, à l'aide de termes éloignés, malheureusement encore impossibles, nous auraient conduit à une certitude plus complète. Il nous semble qu'on peut, tout au moins, regarder comme acceptables celles sur lesquelles nous nous sommes appuyé, d'autant plus que les résultats ne s'écartent en rien des situations géologiques. Quelques autres chiffres pourraient nous être opposés. Ils diffèrent peu, dans tous les cas, de ceux dont nous avons fait usage, et, s'ils présentent des variations moins concordantes, ils n'en laissent pas moins apparaître eux-mêmes des décroissances positives. En 1810, la latitude de l'Observatoire de Paris a été établie à $48^{\circ} 50' 15''$. En 1812, Mathieu et Arago l'ont déterminée à $48^{\circ} 50' 13'' 16$. Des observations faites en 1863 n'ont donné que $48^{\circ} 50' 9'' 42$. Enfin, en 1866, M. Yvon-Villarceau a trouvé $48^{\circ} 50' 11'' 22$. Mais les époques annuelles des opérations ont-elles toujours été les mêmes? Il nous semble évident que

les effets d'attraction doivent être très-différents selon les points que notre globe occupe sur son orbite. Les résistances de la croûte terrestre ne sont certainement pas non plus toujours les mêmes. N'y a-t-il pas l'action périodique de notre satellite dont il pourrait aussi y avoir à tenir compte? Les principales divergences ne viendraient peut-être que de là. Ces points pourront certainement être élucidés d'une manière définitive sans trop de difficulté. On pourra de même s'assurer plus complètement que nous n'avons pu le faire de la vitesse réelle du déplacement des pôles, eu égard aux différences d'excentricité de l'orbite. Si les 14'' que nous avons admises comme valeur du déplacement actuel devaient être réduites, peut-être cette réduction se compenserait-elle, dans l'ensemble du mouvement, par une accélération plus forte résultant des augmentations d'excentricité.

Et la Mécanique céleste, y portons-nous une main trop téméraire? Sir W. Thomson nous a démontré que la fluidité du noyau terrestre doit amener un ralentissement dans le mouvement de la précession. De son côté, M. Evans fait observer que la valeur de quelques-unes des données sur lesquelles la théorie de la précession a été fondée, pourrait être modifiée. Ne nous était-il pas permis de marcher sur leurs traces? Ce qui porte également à penser que la science pourrait bien n'avoir pas encore dit son dernier mot à cet égard, c'est que, d'abord établi, comme nous l'avons rappelé, sur la base d'un déplacement annuel de 50'' 1, le balancement est considéré aujourd'hui comme s'effectuant à raison de 50'' 3. En ce qui concerne la forme du nôtre, il nous semble hors de doute qu'elle doit tout aussi bien découler de celle de notre sphéroïde que de la précession même. L'aplatissement polaire et le renflement équatorial, en entravant le glissement, ne peuvent, en effet, que le limiter et le circoncrire.

Un mot encore au sujet des déplacements polaires admis par sir W. Thomson. Déterminés surtout par des accidents de la croûte terrestre, ils ne pourraient, comme ces accidents

se produire que plus ou moins brusquement. Peut-on prétendre que c'est ainsi que nous sont venus nos grandes chaleurs ou nos grands froids?

Dernier fait à rappeler. La grande pyramide d'Égypte, orientée, à l'époque de sa construction, tout porte à le croire, suivant les quatre points cardinaux, ne le serait plus aujourd'hui aussi exactement. L'astronome Nouet a établi que sa méridienne avait dévié vers l'ouest d'environ 20 minutes, et notre savant consul, M. Mariette, a lui-même reconnu depuis que cette déviation irait peut-être jusqu'à un demi-degré. C'est non-seulement le sens du mouvement que nous venons d'exposer, la mesure de Nouet en serait même la valeur à très-peu de chose près. Notre base, si elle n'était pas d'une exactitude absolue, ne s'écarterait, en fin de compte, d'après cela, que très-faiblement de la réalité.

*
**

Avons-nous trop préjugé de la signification d'un tel ensemble de faits, et, alors que notre hypothèse se trouve si pleinement confirmée, était-ce le cas, pour nous, malgré les quelques incertitudes subsistantes, de nous taire et d'attendre? La voie ne s'est pas tout d'abord pleinement ouverte devant nous, nous en convenons; mais, maintenant qu'elle est tracée, nous ne doutons pas de nous y voir suivre et même bientôt devancer. Il ne manquera plus rien à l'accomplissement de nos vœux.

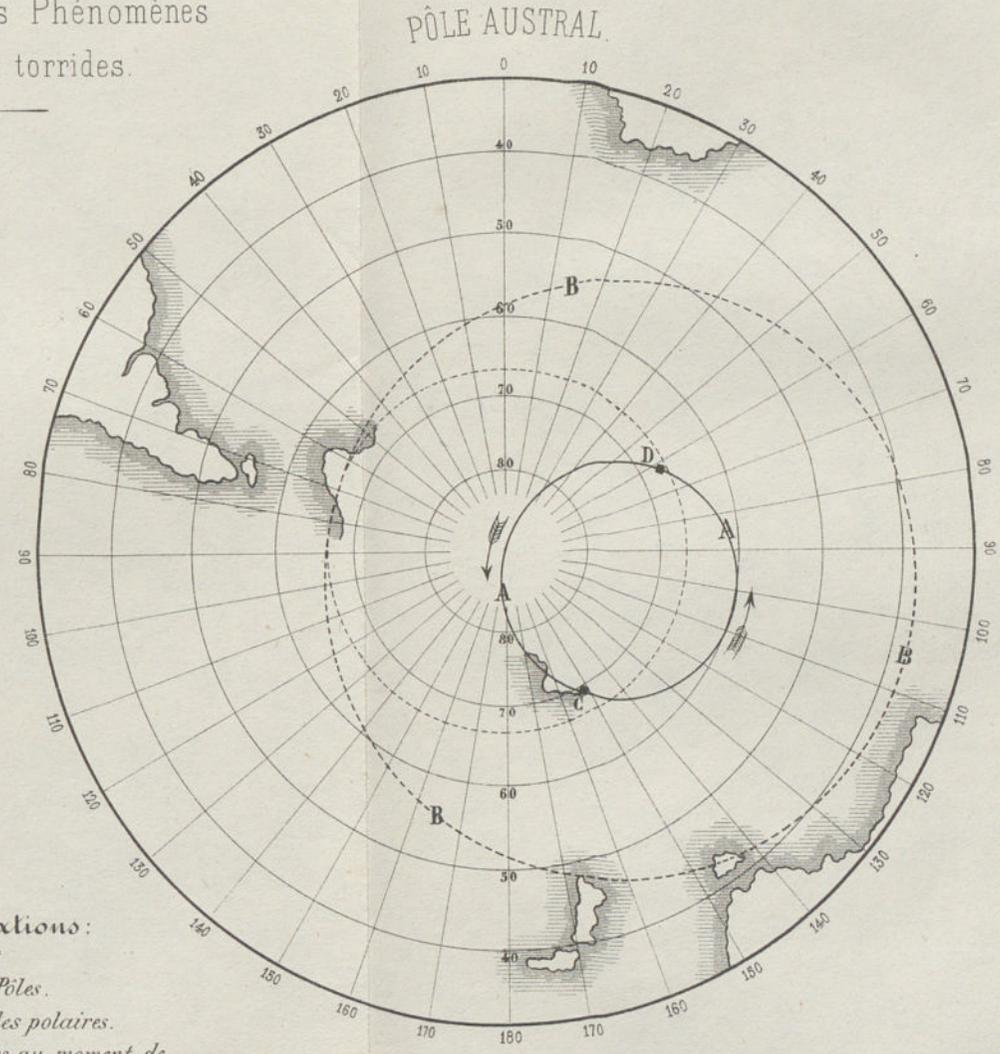
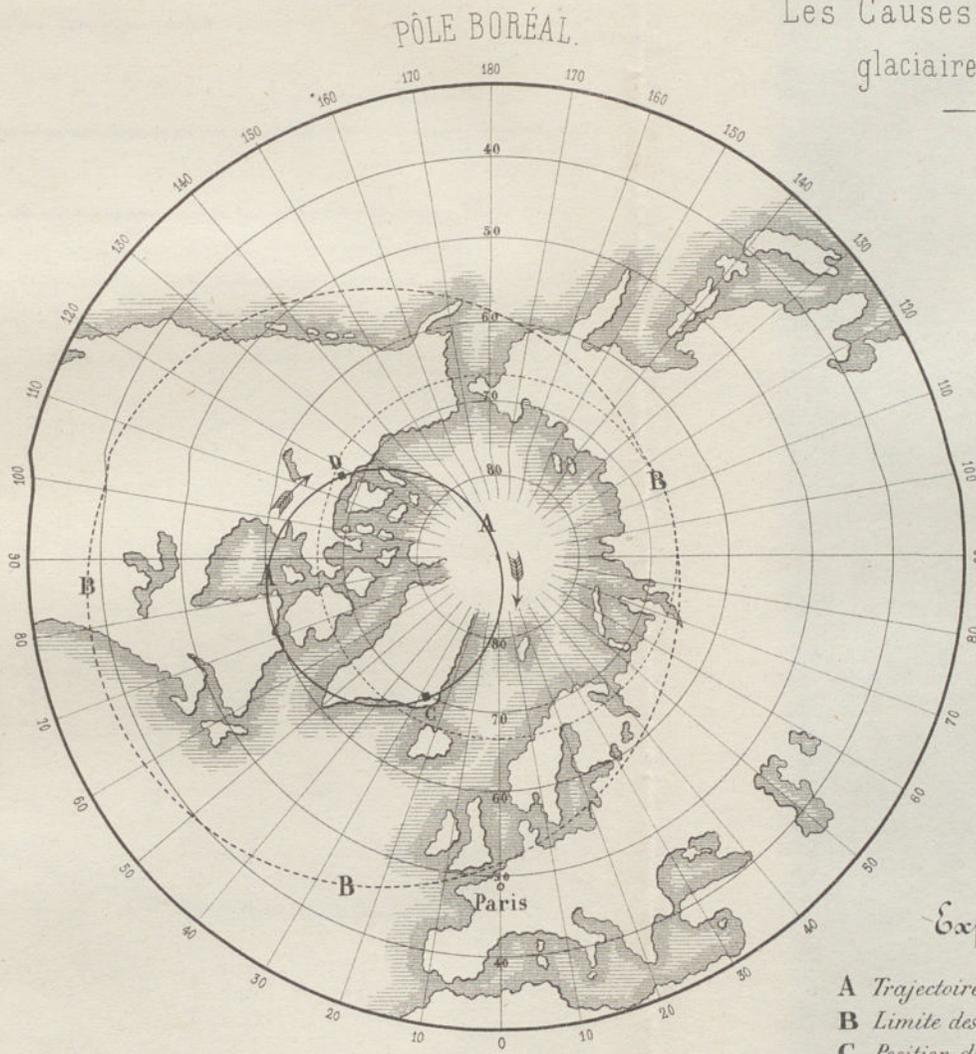
NOTE.

Nous n'avons rien dit des modifications de température qui peuvent être occasionnées par les variations de l'obliquité du plan de l'écliptique. Elles ne se produiraient que dans une très-minime mesure. Lagrange avait admis que l'obliquité du plan de l'écliptique oscillerait entre 21 et 28° . Dans ces conditions, les augmentations de chaleur ou de froid en résultant eussent pu être assez notables. Mais, d'après des calculs plus récents, les variations en question ne dépasseraient pas $1^{\circ} 21'$. Elles resteraient dès lors sans influence réelle sur nos indications. Avec le maximum, les étés seraient un peu plus chauds; les hivers, par contre, seraient un peu plus froids, et la moyenne ne bénéficierait, dans un sens ou dans l'autre, que des différences d'excentricité de l'orbite. Mais, même avec les excès de ce genre les plus marqués, elle n'ajouterait que très-peu de chose aux autres actions. Il y avait utilité pour nous à ne pas laisser ce point complètement de côté.



CARTE POLAIRE

Les Causes des Phénomènes
glaciaires et torrides.



Explications:

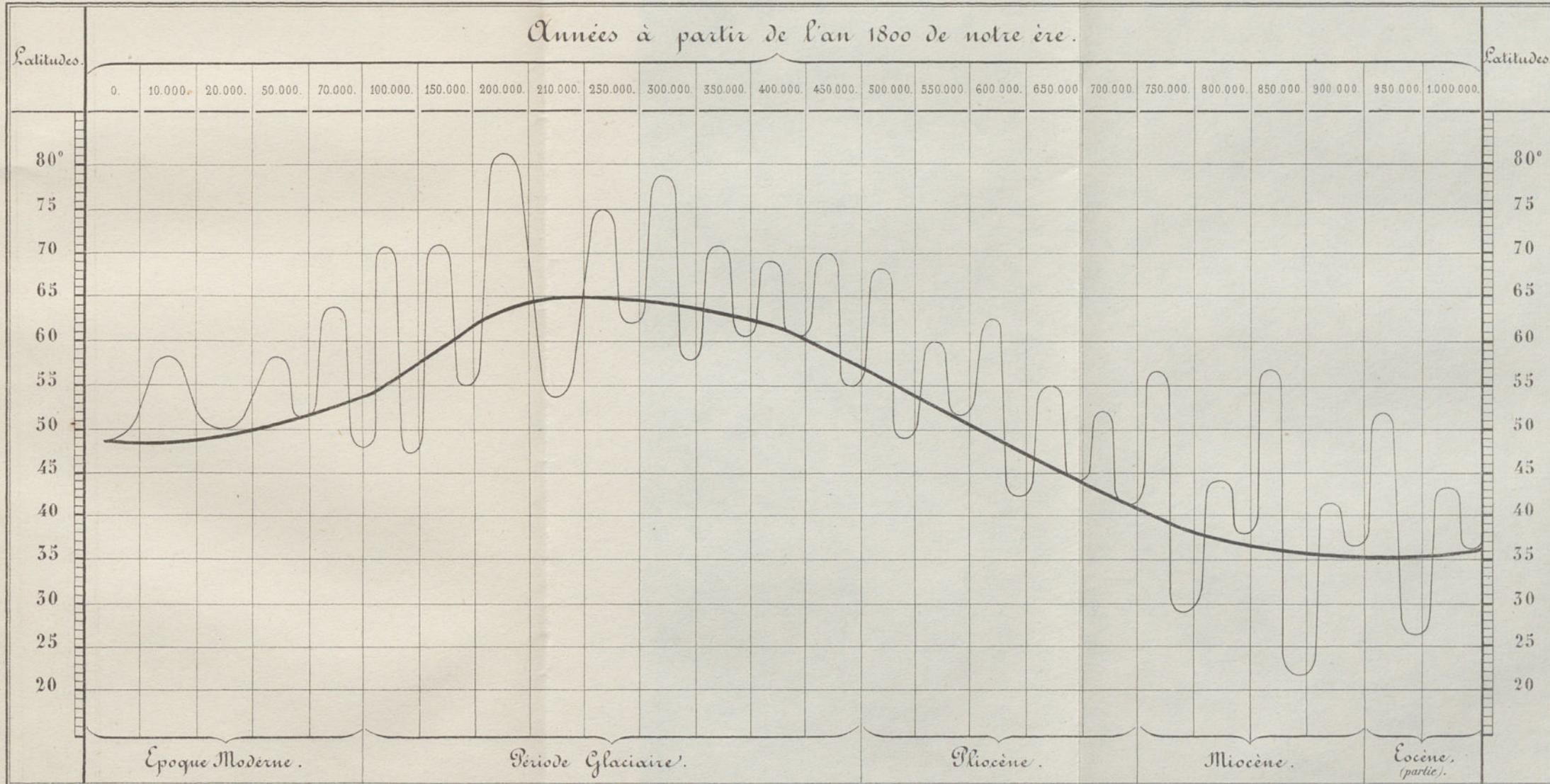
- A Trajectoire des Pôles.
- B Limite des Cercles polaires.
- C Position des pôles au moment de notre plus grand rapprochement.
- D Position des pôles au moment de notre plus grand éloignement.
- ← Sens du déplacement de la croûte terrestre.

TABLEAU

présentant, pour Paris, les positions en latitude, en remontant jusqu'à 1,000,000 d'années à partir de l'an 1800 de notre ère, avec tracé des principales courbes de température indicatives des effets climatologiques de la précession des équinoxes.

Situations en latitude

Courbes de température.



Bar-le-duc. V. Minna Rollé, Chiquet & Co

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR :

POÉSIES.

- Les Voix poétiques. Un volume in-18. Paris, Ch. Gosselin, 1842.
Prix..... 3 fr. 50
- Les Chants de la terre. Un volume in-8°, avec illustrations.
Paris, Ch. Gosselin, 1844. Prix..... 4 fr. »»
- Les Rimes choisies. Un volume in-8°. Paris, Garnier frères,
1853. Prix..... 4 fr. »»

DROIT ADMINISTRATIF.

- Régime des Sucres. Loi du 31 mai 1846, annotée et commentée,
Un volume in-12. Lille, 1847. Prix..... 2 fr. »»
- Régime des Alcools. Manuel des Distilleries; Fabrication et exer-
cice. Un volume in-8°, *deuxième édition*. Paris, Eug. Lacroix,
1868. Prix..... 6 fr. »»

SCIENCES.

- Esquisses géologiques. Les mers dans le département de la
Meuse. — Des dépôts d'alluvion et de l'état glaciaire. In-8°. Bar-
le-Duc, 1876. Prix..... 1 fr. »»
- Les phénomènes glaciaires et torrides. Causes auxquelles
ils doivent être attribués. La précession des équinoxes et les
oscillations polaires. In-8°. Paris, Germer Baillièrre et Cie, 1877.
Prix..... 1 fr. 50

BAR LE-DUC, IMPRIMERIE CONTANT-LAGUERRE.