



DOUZE CENT MILLE ANS D'HUMANITÉ

ET

L'AGE DE LA TERRE

Don de M<sup>r</sup> H. BREUIL

L. RÉMOND

**DOUZE CENT MILLE ANS D'HUMANITÉ**

ET

**L'AGE DE LA TERRE**

PAR L'EXPLICATION DE

**L'ÉVOLUTION PÉRIODIQUE**

DES CLIMATS

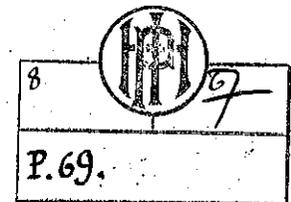
DES GLACIERS ET DES COURS D'EAU

(Cet ouvrage est l'abrégé d'un mémoire  
qui a obtenu une médaille d'argent  
de première classe au concours de  
l'Académie des Sciences de Toulouse  
en 1901.)

IMPRIMERIE DE MONACO

Place de la Visitation

1902



## PRÉFACE

---

Voilà donc enfin résolu le problème qui a fait couler autant d'encre de la plume des naturalistes que la question d'Orient en a fait couler de celle des politiciens. Il était bien simple, et c'est sans doute cette simplicité qui nous a réservé l'honneur de sa solution. On dirait que la découverte des grandes vérités qui touchent à l'histoire de la Terre est le domaine exclusif des humbles : c'est un ouvrier potier, Bernard Palissy, qui a été le premier géologue ; c'est un paysan illettré, Jean Perraudin, qui a fait connaître l'ancienne extension des glaciers ; et c'est un autre paysan, sachant tout juste lire et écrire, qui a découvert ou plutôt déterré la cause de l'évolution périodique des climats, des glaciers et des cours d'eau.

Cette découverte ouvre un vaste horizon à la philosophie, mais la faiblesse de nos moyens nous

impose l'obligation de laisser à des plumes plus expérimentées que la nôtre le soin de l'explorer, et nous nous bornerons à montrer ses principales conséquences. Il est probable que ces conséquences paraîtront incroyables à beaucoup d'esprits, mais aujourd'hui que les théologiens reconnaissent que la révélation divine ne saurait avoir eu pour but de faire aux hommes un cours d'histoire naturelle ou de chronologie (1), nous n'avons plus à craindre le préjugé religieux et nous espérons bien que le préjugé scientifique ne sera pas un obstacle insurmontable au triomphe de la vérité.

Nous ne terminerons pas cette courte préface sans témoigner notre profonde reconnaissance à S. A. S. Monseigneur le Prince de Monaco, le savant libéral et clairvoyant dont la générosité nous a enfin permis de publier cet informe opuscule, que nous recommandons, sous le rapport littéraire, à toute l'indulgence du lecteur.

(1) Ch. Lenthéric, *L'Homme devant les Alpes*.

## I

### Preuves d'une évolution périodique des climats, des glaciers et des cours d'eau.

« Pour incontestable que soit l'ancienne  
« extension des glaciers, la cause en demeure  
« toujours aussi mystérieuse, et il faut avoir  
« le courage d'avouer que ce problème con-  
« tinue à se dresser devant nous dans toute  
« sa difficulté.

« A. DE LAPPARENT. »

(*Les Anciens Glaciers*, 1892.)

Depuis longtemps déjà, l'étude des terrains quaternaires a révélé aux naturalistes qu'à une époque relativement récente, il y a eu des changements considérables dans les climats sur toute la surface de la Terre. Ce fait a été prouvé dans beaucoup de régions par l'examen des fossiles, et il a été établi partout d'une manière plus certaine encore par les traces de grandes extensions des glaciers et des cours d'eau qu'on a observées à toutes les latitudes.

Dans les pays où les études ont été nombreuses et suivies, on a pu constater, dans l'extension des glaciers, plusieurs alternatives séparées par de longs intervalles de temps. Quant aux cours d'eau, dont on

s'est beaucoup moins occupé, on a bien reconnu dans les vallées plusieurs terrasses, plusieurs nappes distinctes de graviers, mais personne, que nous sachions, ne s'est encore avisé de voir là un indice de grandes oscillations périodiques, analogues à celles des glaciers, et il n'a guère été question, jusqu'à présent, que d'une période de grands cours d'eau.

Les causes de ces phénomènes sont demeurées inconnues jusqu'à ce jour, et, quant à leur nature présumée, elle diffère suivant les idées de chacun :

1° Ceux qui admettent la périodicité régulière et la généralité des extensions glaciaires demandent une cause astronomique (1).

La première idée qui se présente à l'esprit de qui-conque se demande quelle peut être la cause des changements climatériques observés est que cette cause doit être d'ordre astronomique, et c'est bien, en effet, cette doctrine qui a été préconisée tout d'abord par les naturalistes ; mais quelques astronomes ayant déclaré qu'il n'y avait rien dans l'astronomie qui pût expliquer les périodes glaciaires, il en résulte que beaucoup de savants posent aujourd'hui en axiome que la géologie doit se suffire à elle-même et qu'il faut laisser de côté toute explication astronomique.

2° Ceux qui, tout en admettant la périodicité des extensions glaciaires, la croient irrégulière, invoquent une modification accidentelle et temporaire dans la composition de l'atmosphère (2).

S'il s'agissait d'expliquer pourquoi il n'y avait pas de glaciers autrefois tandis qu'il y en a aujourd'hui, on pourrait invoquer une modification graduelle de

(1) Adhémar, Trutat, Croil, Geikie, Péroche, etc.

(2) Chamberlin, *L'Anthropologie* de juin 1900.

l'atmosphère, et quoiqu'on ne sache pas si l'air se raréfie ou s'il devient plus dense, quoiqu'il ne soit pas prouvé que sa raréfaction pourrait produire l'extension des glaciers, cette explication serait discutable ; mais parler de fluctuations accidentelles de certains des éléments composant l'atmosphère, capables de produire à plusieurs reprises des changements climatériques aussi considérables que ceux qui ont été observés, c'est faire une hypothèse bien hasardée et très difficile à justifier.

3° Ceux qui nient la périodicité, tout en croyant à l'universalité, expliquent une oscillation unique par le refroidissement graduel et continu du Soleil qui aurait produit, d'abord, l'extension des glaciers et ensuite leur retraite (1).

Cette explication n'est pas moins invraisemblable que la précédente et cependant elle a été présentée très sérieusement. Nous ne savons et nous ne pouvons savoir si le Soleil se refroidit, ou s'il se réchauffe, ou si sa température reste stationnaire ; mais en admettant qu'il se refroidisse et qu'il n'y ait eu qu'une seule oscillation des glaciers, il serait difficile de comprendre comment ce refroidissement continu aurait pu restreindre les glaciers après les avoir étendus. La vérité est que si le refroidissement hypothétique du Soleil peut causer une diminution de la température générale de la Terre, il ne pourrait produire aucun changement dans le régime glaciaire, par la raison bien simple que ce régime étant en relation avec la quantité des précipitations humides en même temps qu'avec la température et que la quantité des précipitations étant proportionnée au degré de la température,

(1) Millot, *La Nature* de 1884, 2<sup>e</sup> semestre, p. 379.

il s'ensuivrait qu'à mesure que la température générale du globe diminuerait et tendrait par ce fait à accroître les glaciers, la diminution de la chute des neiges tendrait à les restreindre dans la même proportion et ils resteraient indéfiniment stationnaires si les circonstances orographiques et géographiques étaient invariables. Mais si, par impossible, on pouvait nous prouver que ce raisonnement est inexact, s'il était démontré que le refroidissement du Soleil peut réellement causer l'extension générale des glaciers, cette démonstration établirait en même temps que ce même refroidissement ne peut produire leur retraite. Il est par trop paradoxal de prétendre que la même cause puisse produire successivement, au gré de nos désirs, deux effets diamétralement opposés.

4° Ceux qui considèrent les extensions glaciaires comme des accidents locaux les expliquent par des mouvements du sol qui tantôt augmentent et tantôt diminuent l'altitude des continents.

Cette manière de voir montre, comme les deux précédentes, combien il est difficile, en dehors de l'astronomie, de présenter une hypothèse qui mérite la discussion. En effet, lorsqu'on sait que les géologues ont reconnu au moins trois grandes oscillations glaciaires autour des montagnes actuelles et que le niveau de l'océan n'a presque pas varié pendant et depuis que ces phénomènes se sont opérés, il est difficile de concevoir comment ils pourraient être expliqués par des mouvements du sol, même en faisant abstraction de leur caractère d'universalité.

5° Et ceux-là, enfin, qui sont convaincus que rien dans la nature ne peut rendre compte des faits

observés, prétendent qu'il n'y a eu ni extensions des glaciers, ni extensions des cours d'eau (1).

Pour quiconque est fermement décidé à ne rien demander à l'astronomie, le parti le plus sage et le plus commode est de tout nier, mais comme nous supposons bien que le nombre de ceux qui ferment les yeux pour ne pas voir doit être très restreint, nous nous bornerons, dans cet abrégé, à signaler cette nouvelle et étonnante doctrine.

Pour qu'un juge non prévenu puisse faire, en toute connaissance de cause, un choix judicieux parmi ces divers principes, nous allons citer sommairement quelques-unes des observations et des études qui démontrent l'existence réelle des phénomènes qu'il s'agit d'expliquer et peuvent nous renseigner sur leurs caractères.

TERRAINS GLACIAIRES EN GÉNÉRAL (2).— A partir d'une ligne sinueuse qui s'étend depuis l'angle sud-ouest de l'Irlande jusqu'à l'extrémité de l'Oural, en passant par Londres, Magdebourg, Kiev et Kasan, toute l'Europe septentrionale est recouverte par une formation, appelée terrain erratique ou glaciaire, composée de matériaux dont la nature et les caractères démontrent qu'ils proviennent des massifs montagneux de l'Ecosse, de la Norvège, de la Suède, de la Finlande, et qu'ils ont été charriés par des glaciers descendus de ces massifs, dont l'épanouissement a recouvert, à un moment donné, tout le nord de l'Europe.

L'étude des terrains glaciaires a fait reconnaître que

(1) *La Nature* de 1897, 1<sup>er</sup> semestre, p. 290.

(2) A. de Lapparent, *Traité de Géologie*, 4<sup>e</sup> édit., p. 1577 et suivantes.

ce phénomène n'a pas été unique. On a constaté, en effet, qu'au nord de la ligne dont nous venons d'indiquer le tracé, à une distance qui varie entre 25 et 100 kilomètres, il existe une seconde ligne de moraines terminales qui aurait été la limite de la dernière extension, tandis que la première ligne aurait été celle de l'extension précédente. On a même observé, en Ecosse, jusqu'à quatre couches distinctes de terrain glaciaire, séparées par d'épaisses formations alluvionnaires qui prouvent qu'entre deux extensions la contrée était entièrement débarrassée de glaces et qu'elle était sillonnée par des cours d'eau d'une grande activité. Et on trouve, dans l'Allemagne du Nord, les preuves certaines de trois grandes extensions des glaciers.

Dans l'Amérique du Nord, les choses se sont passées exactement comme dans l'Europe septentrionale, avec cette seule différence que la calotte glaciaire homogène est descendue à une dizaine de degrés plus au sud. On y trouve aussi les traces non équivoques de trois extensions au moins.

Les mêmes faits ont été observés dans l'Amérique du Sud. Au Pérou, non loin de l'équateur, on a trouvé d'anciennes moraines à 2,500 mètres d'altitude.

En Sibérie on a déterminé deux extensions glaciaires.

On a également constaté les traces de deux extensions autour du massif des Alpes; les moraines terminales fixant les limites de l'avant-dernière s'étendent, en France, depuis Vienne jusqu'à Besançon, en passant par Lyon et Bourg-en-Bresse. M. de Lapparent voit une troisième extension dans le fait que les graviers pliocènes de la Dombes et des environs de Lyon sont tous d'origine alpine.

On a fait la même constatation dans les Pyrénées, les monts Himalaya, etc., etc.

ANCIENS GLACIERS PRÈS DE L'ÉQUATEUR (AMÉRIQUE) ET DANS L'AFRIQUE DU SUD (1). — Dans la sierra de Santa Maria et les Andes de Mérida, entre le 7<sup>e</sup> et le 11<sup>e</sup> parallèle nord, Sievers a observé d'anciennes moraines . . . . .

En Afrique, dans les montagnes du Cap, il y a des traces manifestes d'actions glaciaires.

Au Maroc (2), les vallées descendant de l'Atlas vers l'Atlantique sont remplies de moraines latérales, médianes et terminales qui, d'après le géologue Maw, ne diffèrent en rien de celles des Alpes.

En Algérie (3), dans les montagnes du Djurdjura, il existe des traces d'anciennes extensions glaciaires, notamment sur les flancs du pic Haïzer et du pic de Lalla Kedridja.

ILES DE LA NOUVELLE-ZÉLANDE (4). — Les glaciers étaient jadis beaucoup plus étendus qu'aujourd'hui; des moraines, des rochers polis et des lacs témoignent de leur ancienne extension . . . . .

M. Muhlberg (5) a observé les traces de cinq extensions glaciaires dans les Alpes.

M. Nathorst (6), qui a étudié les plantes fossiles de la dernière période glaciaire en Saxe, au Mecklembourg, en Angleterre, a conclu de ses études qu'il tombait moins de neige qu'aujourd'hui à l'époque du paroxysme de la dernière extension des glaciers et

(1) Priem, *La Terre avant l'homme*, p. 428 et 430.

(2) E. Reclus, *Géographie*, vol. 11, p. 663.

(3) E. Reclus, vol. 11, p. 319.

(4) E. Reclus, *Géographie*.

(5) *L'Anthropologie* de 1898.

(6) *L'Anthropologie* de 1897.

que, par conséquent, cette extension est due *uniquement à l'abaissement de la température estivale.*

M. Ludwig von Ammon et M. A. Penck (1) démontrent l'existence d'au moins trois périodes glaciaires dans les Alpes. M. Keilhack en a reconnu le même nombre dans l'Allemagne du Nord.

M. Boule (2) a vu en Finlande de multiples systèmes de stries dénotant de multiples périodes glaciaires. M. R.-S. Tarr (3) a constaté dans les îles du Groënland que les glaciers d'aujourd'hui *sont des moribonds* comparativement à ce qu'ils étaient à l'époque de leur grande extension.

M. Chernysheff (4) dit que la Nouvelle-Zemble porte, comme le nord de la Russie, les traces d'une formidable invasion glaciaire.

M. James Geikie (5) admet, en Ecosse, cinq périodes glaciaires, et il a constaté, en Angleterre, l'existence d'une période plus ancienne que les précédentes.

M. Steinmann (6) admet cinq périodes glaciaires dans les Alpes, et dit que la formation du loess est toujours interglaciaire.

MM. Penck, Kilian et David Martin (7) ont observé les traces de trois extensions dans le bassin de la Durance.

Au Congrès de Géologie de Chicago (8), M. Hjalmar et le baron de Geer admettent plusieurs phases

(1) *L'Anthropologie* de 1897.

(2) *Ibid.*

(3) *Ibid.*

(4) *L'Anthropologie* de 1896.

(5) *L'Anthropologie* de 1895.

(6) *Ibid.*

(7) *Ibid.*

(8) *L'Anthropologie* de 1894.

glaciaires en Suède; M. Heim parle de trois périodes dans les Alpes et dit qu'elles correspondent à trois phases alternatives de climats différents; M. Robert Bell a observé plusieurs phases glaciaires au Canada; M. Salisbury dit que les caractères des faits observés en Amérique démontrent, comme en Europe, des alternatives de climats différents; M. Chamberlin dit qu'aux Etats-Unis on constate facilement, comme en Europe, l'existence d'au moins trois périodes glaciaires; la plupart des géologues réunis au Congrès sont d'avis que les périodes glaciaires ont été synchroniques des deux côtés de l'Atlantique et qu'elles ont eu les plus grandes ressemblances.

MM. Stoppani et Bianconi (1) ont trouvé des traces glaciaires dans les terrains formés au fond de la mer lorsqu'elle baignait le pied des Alpes.

Sur le littoral de la Sibérie et dans les îles de la Nouvelle-Sibérie (2), on a découvert, sous les alluvions quaternaires, une couche de glace fossile, témoin survivant et irrécusable de la dernière extension glaciaire. On a recueilli dans ces alluvions des ossements de mammoth et de rhinocéros, des troncs d'arbres longs de 5 mètres, encore couverts de feuilles et de bourgeons, tandis qu'actuellement il faut descendre à 3 degrés de latitude plus au sud pour trouver de pareils arbres.

Les mêmes faits ont été observés dans l'Alaska.

On a trouvé aussi des glaces fossiles au Groënland et en Islande.

MM. Nicholson et Hudleston (3) démontrent que

(1) *Matériaux pour l'histoire de l'homme*, 1876.

(2) Ch. Rabot, *La Nature* de 1894.

(3) *L'Anthropologie* de 1894.

les coquilles marines brisées, roulées, striées, qu'on a trouvées sur les collines de la Grande-Bretagne, parmi les terrains glaciaires, y ont été déposées par des glaciers qui ont traversé la mer. M. Hudleston parle de traces glaciaires remontant à l'époque primaire (1).

M. E. Reclus (2) démontre que les bancs de coquillages marins, trouvés au Groënland jusqu'à 145 mètres d'altitude, ne prouvent nullement que le niveau de la mer s'élevait récemment à cette hauteur ou que le continent s'est soulevé d'autant; ce fait s'explique très bien par l'action mécanique des glaciers.

PROGRÈS GÉNÉRAL DES GLACIERS (3). — « Des auteurs affirment que, dans les Alpes, certains champs de glace ont pris, depuis des siècles, une extension assez considérable pour fermer des passages de montagnes, jadis praticables, même aux chevaux. »

LA LIMITE DE LA ZONE FORESTIÈRE S'ABAISSÉ DANS LES MONTAGNES ET RECALE VERS L'ÉQUATEUR DANS LES PLAINES DU NORD. — « C'est à peu près à 1,800 mètres de hauteur que les forêts disparaissent dans les Alpes (4). Au-dessus, jusqu'à près de 2,200 mètres, on rencontre encore quelques bouquets de bois, des

(1) M. de Nadaillac, *Les Premiers Hommes*, vol. 2, p. 157 et 169, dit que « certains savants ne bornent pas à deux ou trois les périodes glaciaires et font de leur périodicité à longs intervalles une loi physique de notre globe encore inexplicée. » Ce n'est pas seulement à l'époque quaternaire que nous voyons les glaciers, les géologues croient avoir constaté leurs traces durant le pliocène, le miocène et l'éocène de l'époque tertiaire; au jurassique et au trias de l'époque secondaire; au permien, au carbonifère, au devonien, et même au silurien de l'époque primaire.

(2) *Géographie*, vol. 15, p. 115.

(3) E. Reclus, *La Terre*, vol. 1, p. 255.

(4) Ch. Lenthéric, *L'Homme devant les Alpes*.

« arbres très clairsemés, de gros troncs morts enfouis dans les tourbières. Tout porte donc à croire que la « végétation forestière s'est élevée autrefois à 400 m. « plus haut qu'aujourd'hui. »

Le même phénomène a été observé en Sibérie, dans les plaines septentrionales et sur les montagnes, dans l'Oural, en Islande, dans l'Amérique anglaise, dans la Nouvelle-Zélande, etc., etc. (1).

M. J. Murray (2) a conclu de l'analogie qu'il a constatée entre les faunes des deux mers glaciales, qu'à une époque relativement peu éloignée, les océans devaient posséder partout à peu près la même température.

ALLUVIONS QUATÉRNAIRES (3). — D'après une hypothèse de M. S. V. Wood, recommandée par M. de Lapparent, les caractères et la couleur rougeâtre des alluvions quaternaires superficielles et de la terre à briques de nos plaines proviendraient des alternations de gelée et de dégel du sol qui, à une certaine époque, devait rester constamment gelé à une certaine profondeur comme cela a lieu actuellement en Sibérie.

On a trouvé, dans les alluvions quaternaires du Champ de Mars, à Paris, des blocs de granit du Morvan qui ont plusieurs décimètres dans tous les sens et comme ils ont conservé leurs angles, on suppose que leur transport a été effectué pendant une période d'hivers rigoureux, par des banquises auxquelles ils adhéraient lorsque la glace touchait le fond du fleuve.

(1) E. Reclus, vol. 6, p. 614 et vol. 14, p. 842.

(2) *Cosmos* du 29 août 1896.

(3) A. de Lapparent, *Géologie*, 3<sup>e</sup> édit., p. 1343 et suivantes.

A la suite de calculs basés sur le volume et l'étendue des alluvions qui remplissent les vallées, on a reconnu qu'à une certaine époque le débit majeur de nos fleuves devait être quinze à vingt fois plus considérable qu'aujourd'hui.

On a trouvé, à la base des alluvions quaternaires, dans des couches reposant directement sur les terrains tertiaires, des instruments en silex taillés par la main de l'homme et associés à des ossements d'éléphant ancien, d'hippopotame, de rhinocéros Mercki. Dans les couches moyennes et les couches supérieures on cesse de rencontrer les débris de ces animaux méridionaux qui sont remplacés par d'autres dont les uns, comme le mammoth et le rhinocéros tichorhinus, pouvaient supporter le froid, et les autres, comme le renne, sont connus pour rechercher les climats à hivers rigoureux. On a constaté, en outre, que souvent les couches où manque l'élément méridional sont bouleversées, contournées, au lieu d'être déposées régulièrement et horizontalement comme les couches inférieures, circonstance qu'on explique par l'action des glaces de fond qui, au dégel, ont soulevé des masses de graviers et les ont déposés dans toutes les inclinaisons lors de leur fusion, quand des circonstances accidentelles les ont fait échouer sur les rives du fleuve.

Dans les contrées qui n'ont pas été recouvertes par les glaciers, il s'est formé, à l'époque où vivaient les animaux méridionaux, aux débouchés de sources qui devaient être considérables, des tufs ou incrustations calcaires dans lesquelles on a recueilli des débris végétaux ou leurs empreintes dans un parfait état de conservation. Ces formations existent dans le bassin de la Seine, en Provence, en Toscane, en Tunisie et

en Algérie. L'étude de la flore qu'elles contiennent fournit de précieuses indications sur le climat de ces contrées lors de l'extension des glaciers, car elle comprend, aussi bien sur les bords de la Seine, qu'en Provence et en Algérie, des essences dont les unes, comme le laurier des Canaries, le figuier, le gainier, craignent des températures froides, et les autres, comme le saule cendré, le faux sycomore, craignent les températures chaudes. Il fallait donc qu'alors il n'y eût pas d'hivers à Paris et pas d'étés à Alger.

Il résulte des études des naturalistes que la prédominance du renne et des autres animaux polaires dans nos plaines du midi a coïncidé avec la retraite générale des glaciers et on en a conclu avec raison que les hivers devaient être très-froids à cette époque.

M. de Lapparent est d'avis qu'il faut se garder avec soin d'invoquer une aggravation du froid pour expliquer les extensions glaciaires puisqu'il est prouvé au contraire qu'elles ont eu lieu par une période sans hivers tandis que leur retraite a coïncidé avec des hivers sibériens.

Pendant l'âge du renne, l'homme primitif habitait particulièrement les cavernes dont M. de Mortillet (1) a fait une étude spéciale. Voici sommairement les appréciations de ce naturaliste sur le climat de cette phase :

Il a trouvé, dans les grottes du Midi de la France, parmi les oiseaux, le chocard qui habite maintenant les Alpes et les Pyrénées ; le lagopède, le grand et le petit coq de bruyère qui habitent aussi les monts élevés, mais bien plus encore les régions froides du Nord ; la chouette harfang et le tétras des saules qui

(1) *Le Préhistorique*, 2<sup>e</sup> édition.

sont maintenant tout-à-fait confinés dans les pays septentrionaux. Parmi les mammifères, il y a constaté la présence de cinq espèces qui ont, depuis, émigré sur les montagnes et de treize qui ont émigré vers le nord, notamment le renard bleu, le glouton, l'ours gris, le lemming, le bœuf musqué, le saïga, le cerf du Canada et le renne qui recherchent exclusivement les contrées à hivers froids; et il a conclu de ces faits que le climat de nos plaines du Midi était alors analogue à celui de nos montagnes neigeuses et des régions du nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique.

Il va sans dire que M. de Mortillet n'a admis cette analogie que pour l'hiver; il a même émis l'opinion que les étés devaient être très chauds et il serait, du reste, difficile de conclure autrement lorsqu'on sait que cette époque a vu la retraite des glaciers, à moins de prétendre qu'alors le froid avait la faculté de fondre la glace.

M. de Mortillet a apprécié très judicieusement aussi le climat de la période contemporaine de la dernière grande extension des glaciers, qu'il appelle époque chelléenne et qu'il croit, lui, antérieure à toute extension glaciaire parce qu'il n'en admet qu'une et qu'il ne comprend pas que le climat chelléen, tel qu'il l'a pressenti, est précisément de nature à la produire. Voici le résumé de ses appréciations :

On a trouvé dans le Norfolk en Angleterre, une flore fossile comprenant des arbres qui peuvent supporter des températures froides et craignent des températures chaudes. La faune fossile recueillie dans les mêmes couches comprend des animaux qui peuvent supporter des températures chaudes et craignent des températures froides. Puisque plantes et animaux

vivaient ensemble, il n'y avait donc ni grandes chaleurs ni grands froids. Il régnait alors, dans le Norfolk, un climat très doux et très uniforme sans grandes variations entre l'hiver et l'été.

La flore fossile recueillie dans les tufs de la Celle, près de Paris, qui sont également chelléens, comprend des arbres, comme le laurier des Canaries, qui ne peuvent plus croître dans le Midi de la France parce que les hivers y sont trop froids, et d'autres qui, comme le frêne et le faux sycamore, ne se rencontrent guère au sud du Dauphiné, parce que les étés y sont trop chauds. Donc, à l'époque chelléenne, les hivers étaient moins froids et les étés moins chauds dans le bassin de la Seine qu'ils ne le sont maintenant dans la région méditerranéenne.

GRANDE EXTENSION UNIVERSELLE DES COURS D'EAU (1).  
 —) « Les études préhistoriques semblent éprouver, « en ce moment, les effets d'une réaction qu'il était « aisé de prévoir après les exagérations provoquées « par la notion au moins prématurée de l'homme « miocène. . . . .

« Aussi nous ne sommes surpris que médiocrement qu'on veuille aujourd'hui, par un excès contraire, rajeunir outre mesure la date des premières « manifestations de l'activité humaine à la surface de « notre sol et que l'on ait été même jusqu'à prétendre « que les dolmens du Nord de l'Afrique ont pu être « contemporains des Croisades . . . . .

« Qui sait même si l'on n'essaiera pas de faire rentrer l'époque quaternaire dans le cadre de la chronologie égyptienne? . . . . .

« Et cependant les faits sont là, faits géologiques,

(1) Louis Lartet, *Matériaux* de 1874.

« il est vrai, dont tout le monde ne comprend pas  
« bien la portée et la signification, les faits sont là,  
« disons-nous, pour prouver qu'à l'époque où la  
« Somme et les principaux cours d'eau de l'Europe  
« occidentale déposaient ces graviers à silex taillés  
« à des altitudes bien supérieures à leurs niveaux  
« actuels, le Nil était un fleuve plus volumineux et  
« plus rapide que de nos jours et déposait aussi, sur  
« les bords plus élevés d'un plus vaste lit, des allu-  
« vions anciennes tout à fait comparables aux précé-  
« dentes et fort antérieures au développement des  
« plus anciennes civilisations égyptiennes dont sa  
« vallée actuelle a pu conserver les vestiges.

« Nous avons ici la trace d'un événement climaté-  
« rique dont les effets ont été généralement reconnus  
« en Europe, sur les bords de la Tamise, de la Seine,  
« du Rhin, du Danube, de la Garonne, du Rhône,  
« de l'Ebre, du Tibre, etc., et dont le retentissement  
« s'est étendu au Nil, au Jourdain, à l'Euphrate, etc.  
« C'est une date qui a bien sa valeur, et ce simple  
« rapprochement établit, à lui seul, mieux que ne  
« pourraient le faire les plus longues et les plus  
« savantes dissertations, l'antériorité des silex taillés  
« des alluvions anciennes de nos cours d'eau euro-  
« péens aux plus antiques civilisations que les égypto-  
« logues aient pu exhumer de la vallée actuelle du  
« Nil . . . . .

« Ce sont des faits gênants, à la vérité, pour les  
« idées préconçues et il est plus commode de les  
« passer sous silence . . . . .

« Il faut donc se résoudre à tenir compte des faits  
« et à chercher une théorie qui les explique tous. »

M. Lartet dit ensuite « qu'il y a une grande diffé-  
« rence entre une hypothèse où il n'entre que des

« possibilités et une théorie fondée sur des faits, et  
« que la force d'une théorie n'est pas dans l'hypothèse  
« par laquelle elle débute, mais dans les faits par  
« lesquels elle se vérifie. »

D'après M. Steinmann (1), les diverses formations  
de loess indiquent de nombreux changements succes-  
sifs dans les conditions climatiques.

M. de Saporta et M. Lartet (2), s'appuyant, le pre-  
mier sur la flore et le second sur la faune, disent que,  
lors de l'extension glaciaire, les étés étaient moins  
chauds et les hivers moins froids qu'aujourd'hui.

MM. Steenstrup et Nathorst (3) ont trouvé, dans  
les tourbières du Danemark, une succession de flores  
diverses indiquant une modification graduelle et con-  
tinue du climat depuis la retraite des glaciers.

M. Hayes (4) a étudié un dépôt tertiaire de charbon  
situé vers le 65° dans l'Amérique boréale : Les cou-  
ches de charbon sont composées exclusivement de  
troncs de conifères, tandis que les couches d'argile  
qui les séparent renferment des feuilles d'arbres que  
l'on ne rencontre maintenant qu'à 12° plus au sud.

D'après M. de Lapparent (5), on a trouvé, dans les  
terrains tertiaires de la Sicile et de l'île de Rhodes,  
des couches renfermant des coquillages qui n'existent  
actuellement que dans les mers arctiques. En Calabre,  
on a trouvé la même faune arctique dans une couche  
recouverte par une autre qui contient, au contraire,  
des espèces appartenant à des mers plus chaudes que  
la Méditerranée actuelle. En Norvège, des plagès

(1) *L'Anthropologie* de 1894.

(2) *Matériaux* de 1869.

(3) *Matériaux* de 1873.

(4) *La Mer libre du pôle nord*, p. 488.

(5) *Géologie*, 3<sup>e</sup> éd., p. 1334, 1382 et 1383.

marines récemment émergées renferment une faune tantôt franchement arctique, tantôt analogue à la faune actuelle et parfois on y trouve des espèces méditerranéennes aujourd'hui inconnues dans ces parages.

Le docteur Regaglia (1) a recueilli dans l'île de Palmaria (golfe de la Spezia) des restes de harfang, oiseau qui habite exclusivement les pays froids.

On a trouvé en Portugal (2), dans une caverne de l'Estramadure, des restes d'un lemming qui est absolument le même que celui qui habite actuellement la Norvège.

Dans l'île de Kerguelen (3), située vers le 50° de latitude australe et qui ne renferme pas un seul arbre aujourd'hui, on trouve, dans les schistes argileux des vallées, du bois fossile dans tous les états de transformation.

M. E. Piette (4), en étudiant les couches successives déposées dans les cavernes, a constaté, d'assise en assise, des différences de faune correspondant à des différences de climat. Il dit que ces changements de climat n'ont jamais eu lieu subitement, mais par une gradation insensible.

M. A. Penck (5) dit que les changements climatériques ne sont certainement pas spéciaux à la période quaternaire, qu'ils ont dû avoir lieu de tout temps et qu'ils ne sont pas dus à un refroidissement général, mais à une répartition différente des climats.

Au Spitzberg (6), où il n'y a pas d'arbres aujourd'hui, on trouve dans des couches de houille de

(1) *L'Anthropologie* de 1896.

(2) *L'Anthropologie* de 1900.

(3) E. Reclus, *Géographie*.

(4) *L'Anthropologie* de 1892.

(5) *Matériaux* de 1887.

(6) E. Reclus, *Géographie*.

l'époque primaire, une végétation analogue à celle des bouillères de la zone tempérée; et dans des assises tertiaires, on rencontre des restes de peupliers, aulnes, noisetiers, platanes, cyprès, qui, actuellement, ne croissent guère plus au nord que le 60° en Scandinavie. (Les houilles observées au Spitzberg sont, comme celles de l'Amérique boréale citées ci-devant, composées de troncs d'arbres.)

M. de Mortillet (1) a constaté qu'entre l'âge du renne et la période de la pierre polie, il s'est déposé, dans certaines cavernes, une couche très épaisse d'éboulis ou de stalagmites dans laquelle on ne trouve ni les traces de l'homme, ni celles du renne. En rapprochant ce fait des différences tranchées qui existent entre les fossiles de la période paléolithique et ceux de la période néolithique, différences que cet auteur fait ressortir dans un tableau comparatif très circonstancié, il en conclut qu'il a dû s'écouler, entre ces deux époques, un long intervalle pendant lequel l'homme avait disparu de nos contrées. (M. de Mortillet a, depuis, fait des réserves sur ces conclusions en disant que la lacune entre les deux périodes peut n'être qu'apparente et provenir de l'insuffisance de nos connaissances; mais les faits qu'il a cités n'en existent pas moins et il a eu tort de se rétracter car sa première idée était la bonne.)

M. John Evans (2) a constaté également l'existence, en Angleterre, d'un long hiatus et il conclut de ses observations que l'homme de la pierre taillée avait disparu depuis un temps très reculé, lorsque le pays a été peuplé de nouveau par l'homme de la pierre polie.

(1) *Préhistorique*, 2<sup>e</sup> édition.

(2) *Les Ages de la pierre*.



M. Boyd Dawkins (1) admet également un hiatus en Angleterre.

M. de Nadaillac (2) dit qu'en Italie comme en France, on constate une longue interruption dans l'habitation de l'homme.

M. Piette (3) démontre qu'on ne trouve rien dans les cavernes qui puisse faire croire à une perturbation géologique, à un cataclysme qui aurait causé un hiatus entre les deux périodes de la pierre taillée et de la pierre polie.

M. Cartailhac (4) fait remarquer qu'il ne faut pas entendre par hiatus un cataclysme ayant causé l'absence plus ou moins prolongée de l'homme de nos contrées, mais une disparition de l'homme dont on ne connaît pas la cause et il constate que cette disparition est absolument démontrée par les faits observés dans les cavernes. Parmi les arguments de M. Cartailhac, nous citerons le suivant dont l'exactitude ne saurait être contestée et qui est suffisant, à lui seul, pour démontrer la réalité de l'hiatus : Dans la couche paléolithique où dominent les ossements du renne, on ne trouve aucune trace du chien, du bœuf, du mouton introduits par l'homme néolithique, et dans la couche néolithique, où dominent les restes des animaux domestiques, on ne trouve pas un seul débris de renne : jamais les deux faunes ne se trouvent réunies. Or, comment cela pourrait-il être s'il ne s'était écoulé, entre le départ de l'homme ancien et l'arrivée du nouveau, un temps assez long pour permettre un changement de climat qui a fait émigrer le

(1) *L'Anthropologie* de 1894.

(2) *Les Premiers Hommes*, vol. 2, p. 148.

(3) *Matériaux* de 1874.

(4) *Ibid.*

renne ? S'il ne s'agissait que d'expliquer la substitution d'une industrie à une autre, on pourrait dire que les nouveaux venus ont massacré entièrement la population autochtone, mais on ne peut expliquer l'émigration du renne que par un changement de climat et puisque ce changement de climat n'a pas été causé par un cataclysme, puisqu'il n'a pas été brusque, on est bien obligé d'admettre qu'il a eu lieu entre les deux périodes, et que ces périodes ont dû être séparées par un certain laps de temps.

Dans une étude sur les tufs de La Celle-sous-Moret (1) MM. Collin Reynier et A. de Mortillet disent que pendant l'hiver de 1893-94, un carrier a trouvé dans ces tufs quelques silex taillés. En 1895, il en a recueilli d'autres. En tout 32 pièces (ils sont taillés sur les deux faces et de forme amande). Cette découverte très intéressante confirme donc les rapprochements géologiques qu'on a faits en se basant sur la faune et la flore.

M. de Lapparent (2) dit qu'à la surface de l'erratique supérieur on ne rencontre que des outils néolithiques et que tous les vestiges paléolithiques sont concentrés sur la lisière méridionale, c'est-à-dire sur les points où l'erratique inférieur n'a pas été recouvert, circonstance qui doit faire supposer que l'homme de la pierre taillée habitait nos contrées avant le paroxysme de la dernière extension glaciaire.

Quelles sont les conséquences que l'on doit tirer des faits géologiques que nous venons d'exposer ?

1° Pour ne pas voir dans l'ensemble de ces faits une évolution périodique et régulière des climats, il

(1) *L'Anthropologie* de 1896.

(2) *Géologie*, 3<sup>e</sup> éd., p. 1343 et suiv.

faut fermer les yeux avec soin car elle est d'une évidence à convaincre les esprits les plus prévenus. Et cependant il y a encore des naturalistes qui hésitent à admettre cette vérité ; on en trouve même qui, en dépit de toute vraisemblance, préfèrent y voir le résultat de la diminution graduelle et continue de la température générale. Pour raisonner ainsi, il faut, nous le répétons, fermer les yeux à l'évidence et établir son jugement sur un seul fait. Celui qui considérerait par exemple, que l'hippopotame a pu vivre dans les rivières du Nord de la France à une époque relativement récente et qui ferait abstraction de tout le reste, pourrait en conclure qu'alors le climat de ces contrées était analogue à celui qui existe à Alger maintenant, et que le changement survenu depuis provient du refroidissement général et continu qui a fait descendre la zone glaciale d'une douzaine de degrés vers l'équateur ; mais celui qui considérerait au contraire que les glaciers étaient jadis beaucoup plus étendus qu'aujourd'hui et ne verrait pas autre chose pourrait faire une conclusion diamétralement opposée, dire que la Terre se réchauffe graduellement et que la zone glaciale recule vers le pôle. Et un troisième qui considérerait que l'hippopotame vivait dans nos rivières précisément à l'époque du paroxysme de l'extension des glaciers, aurait bien le droit d'en conclure que les opinions des deux premiers sont aussi fausses l'une que l'autre. S'il constate ensuite qu'à l'extension des glaciers a succédé leur retraite et que ce mouvement oscillatoire s'est répété plusieurs fois, il sera infailliblement obligé d'admettre une évolution périodique des climats, car lors même qu'il voudrait voir dans ce phénomène le résultat direct tantôt d'une augmentation, tantôt d'une diminution générale

de la chute des neiges, ce changement lui-même ne pourrait être justifié que par une modification périodique et générale des climats. Il faut donc, pour apprécier sainement les choses, examiner sans idée préconçue l'ensemble des faits connus et en tirer des conséquences qu'aucun d'eux, pris isolément, ne puisse contredire. Or, la doctrine de l'évolution périodique remplit exactement ces conditions car elle résulte de l'ensemble et il est impossible de trouver quoi que ce soit dans les détails qui puisse l'infirmier : En effet, sans se prononcer sur la nature ou les caractères de cette évolution, on ne peut faire autrement que de voir dans la succession de phases alternatives d'extensions et de retraites des glaciers un changement périodique dans les climats. La même conclusion s'impose si on considère qu'à l'hippopotame ont succédé les animaux des climats froids dont on retrouve les traces jusque dans le Sud de l'Italie et en Portugal et qui eux-mêmes, se sont retirés depuis vers le Nord ou sur les cimes de nos montagnes. Elle s'impose encore lorsqu'on constate l'existence, dans l'Amérique boréale, de couches tertiaires superposées renfermant alternativement tantôt une flore exclusivement septentrionale, tantôt une flore tempérée-froide qui ne se retrouve maintenant qu'à 10 degrés plus au Sud. Que signifie la présence en Norvège d'une faune arctique et d'une faune méditerranéenne ? N'y a-t-il pas là, en premier lieu, un indice de refroidissement et, en second lieu, un indice de réchauffement, puisqu'aujourd'hui la faune de ces parages est moins froide que la première et moins chaude que la seconde ? Que signifie, à plus forte raison, sinon une évolution périodique des climats, la présence, dans les terrains tertiaires de l'Italie méridionale, de

coquillages arctiques recouverts par une couche renfermant au contraire des espèces plus méridionales que celles qui existent actuellement dans la Méditerranée? Et, d'un autre côté, quand on sait que ces derniers faits sont antérieurs à ceux analogues qui ont accompagné la dernière oscillation des glaciers dont l'homme intelligent a été témoin, est-il possible de considérer ceux-ci comme des phénomènes locaux et accidentels que, du reste, aucun changement géologique ne pourrait expliquer, même si au lieu d'en trouver les traces partout, on ne les rencontrait qu'en Europe?

2° L'oscillation périodique des glaciers, qui est le résultat nécessaire en même temps qu'une des preuves les plus palpables de l'évolution des climats, est reconnue en fait, ainsi que nous l'avons vu, par la plupart des géologues, puisque presque tous admettent qu'il y a eu au moins trois grandes extensions distinctes séparées par de longs intervalles de temps et que plusieurs sont même parvenus à en déterminer jusqu'à cinq ou six; mais quelques-uns d'entre eux, qui ont cru d'abord à une période unique et ne veulent pas paraître se déjuger, trouvent le moyen de concilier le principe de l'unité avec celui de la pluralité: ils prétendent qu'il n'y a eu qu'une période ou une époque glaciaire divisée en plusieurs phases ou oscillations et que le phénomène glaciaire est spécial aux temps quaternaires. Il y a là, en premier lieu, une distinction qui ressemble beaucoup à une querelle de mots et avec laquelle il est facile de s'entendre: En effet, les glaciers n'ont pas existé dès le jour où la première terre a émergé du sein des flots et, par conséquent, il est littéralement exact qu'il y a une époque glaciaire divisée en un nombre plus ou moins

considérable d'oscillations des glaciers. Quant à la date du début de cette époque glaciaire et au nombre des oscillations, il est bien heureux que ces questions soient indifférentes à nos conclusions car il sera toujours impossible de les trancher par l'observation. Les terrains glaciaires sont, en effet, des formations continentales très irrégulières et difficiles à distinguer les unes des autres qui, après avoir été soumises pendant des millions et des millions d'années aux érosions des cours d'eau, voient ensuite leurs débris remaniés par les flots de l'Océan lors de ses régressions; de sorte que pour trouver des traces glaciaires dans les terrains sédimentaires anciens, il faut un ensemble de circonstances favorables qui doit se présenter rarement. Cependant, on affirme que le cas existe dans les plus anciens étages géologiques, notamment dans les terrains carbonifères de l'Inde et du Sud de l'Afrique, et il faut bien que cette affirmation soit fondée puisque M. Marcel Bertrand, qui doit s'y connaître, prétend qu'on ne peut lui opposer que des objections sentimentales. Nous ne sommes pas surpris du fait en lui-même car nous sommes convaincu que les glaciers sont possibles sur la Terre depuis qu'il y a des montagnes et des cours d'eau; mais nous sommes étonné qu'on ait pu le constater matériellement. Quoi qu'il en soit, si on ne connaît pas la date du début de l'époque glaciaire, il résulte cependant de ce fait qu'elle est très ancienne.

A ceux qui, conformément à certains préjugés classiques, croient que le phénomène de la gelée était impossible, non-seulement à l'époque carbonifère, mais encore au début de l'époque tertiaire, nous ferons observer que leur illusion est facile à expliquer. En effet, étant donné qu'ils appellent quaternaires

toutes les formations glaciaires terrestres et qu'il leur plaît de nier l'authenticité des rares vestiges que l'on a pu rencontrer dans les couches marines, toutes les traces d'extension que l'on pourra constater autour des montagnes actuelles, qu'on en trouve trois ou cinq ou dix, seront toujours quaternaires. Et quant aux glaciers qui ont pu exister sur les flancs d'anciennes montagnes dont on ne connaît pas même les emplacements, ceux qui les nient parce qu'on ne peut leur en fournir que quelques preuves isolées, demandent l'impossible en exigeant, pour croire à leur existence, d'en voir de nombreux vestiges à travers les terrains formés dans les bassins maritimes : c'est à peu près comme s'ils refusaient de croire à l'existence des cours d'eau avant l'époque quaternaire jusqu'à ce qu'on ait trouvé les traces de leurs lits. Mais nous ne nous attarderons pas davantage sur cette question car la date de la première apparition des glaciers est tout à fait indifférente à notre explication. Nous expliquerons des faits géologiques que nous connaissons par un mouvement de la Terre qui a toujours existé. Ce mouvement implique actuellement une évolution périodique des climats, mais cette évolution n'existe que depuis qu'il y a des climats ; elle n'existait pas par exemple, lorsque notre globe était en ébullition. L'évolution des climats implique actuellement une oscillation des glaciers, mais cette oscillation ne pouvait exister avant qu'il n'y eût des glaciers. Il nous importe donc fort peu que l'époque glaciaire soit de date récente ou ancienne et nous ajouterons même qu'il ne nous importe pas davantage que l'on reconnaisse un grand nombre d'oscillations ou que l'on n'en admette qu'une seule. S'il y en a eu plusieurs, nous les expliquerons ; s'il n'y en a eu qu'une,

nous l'expliquerons ; et si même, comme quelques-uns le prétendent, il n'y en a pas eu dans le passé, on ne peut nous empêcher d'expliquer celle qui est en cours et celles qui la suivront, si nous parvenons à démontrer l'existence d'une cause qui doive infailliblement produire ces effets.

3° L'oscillation périodique des glaciers est générale, universelle, puisqu'elle a été constatée dans les deux hémisphères et qu'elle existe aussi bien à l'équateur que dans les autres zones.

Quelques naturalistes contestent la généralité des extensions glaciaires parce que, contrairement à ce qu'on a cru pendant un certain temps, la Terre entière n'a pas été recouverte de glace et qu'il y a même des régions où l'on ne trouve aucune trace glaciaire. Lorsqu'ils auront pris connaissance de notre explication, ils comprendront ce qu'il faut entendre par généralité. L'oscillation des glaciers est un phénomène général parce qu'il y a à toutes les latitudes une évolution des climats ; mais pour qu'il y ait oscillation des glaciers, il faut naturellement qu'il y ait des glaciers et pour que l'existence des glaciers soit possible à certaines latitudes, il faut qu'il y ait des montagnes très élevées. Notre explication nous apprend, en effet, que si les montagnes des Alpes n'avaient que 1,600 mètres d'élévation, il n'y aurait jamais de neiges persistantes et elle nous montre, en outre, que les plus hautes montagnes de l'Algérie ne peuvent pas en avoir, même à l'époque où la température de l'été est à son minimum, parce que leur altitude n'est que de 2,300 mètres, tandis que pour que ce phénomène y fût possible, il faudrait qu'elle dépassât 2,500 mètres, en admettant que la quantité de neige tombant sur ces montagnes soit analogue à

celle qui tombe dans les Alpes. (On a trouvé des traces glaciaires autour des montagnes de l'Algérie, mais elles datent certainement d'une époque à laquelle leur altitude était beaucoup plus grande qu'aujourd'hui, époque bien antérieure sans doute à la dernière extension alpine.) Il ne faut donc pas s'étonner si, dans certaines régions, on ne trouve de vestiges glaciaires que sur les flancs des montagnes qui ont au moins 4,000 mètres.

4° La comparaison de l'état dans lequel se trouvent les moraines terminales des deux dernières extensions ainsi que la nature et l'épaisseur des formations alluvionnaires qui, sur certains points, séparent les diverses couches de terrain glaciaire, font pressentir qu'il doit s'écouler un long intervalle entre les paroxysmes de chaque période. L'insensibilité de l'accroissement général des glaciers actuels et la stabilité apparente du débit des cours d'eau, qui, d'après les observateurs, est absolument le même qu'au début de l'âge du bronze (1), conduisent à la même conclusion ; et les chronomètres naturels dont nous parlerons plus loin nous démontreront que le long intervalle dont ces considérations nous donnent le pressentiment, doit s'exprimer en milliers de siècles.

5° Les glaciers des zones tempérées et glaciales sont actuellement dans une période de progrès général. L'observation des glaciers ne le prouve pas d'une manière décisive — parce que le progrès est trop insensible et que les petites oscillations à courtes périodes en rendent la constatation difficile — elle le fait seulement pressentir ; mais la preuve en est faite indirectement par le recul de la zone forestière qui a été observé dans tout le nord de l'hémisphère boréal,

(1) *Matériaux* de 1878, p. 194.

dans les Alpes, dans la nouvelle-Zélande, dans l'île de Kerguelen ; phénomène qui ne peut provenir que de la diminution de la température de l'été. L'étude des alluvions récentes qui recouvrent la glace fossilisée en Sibérie fournit la même preuve indirecte puisqu'elles contiennent des débris de végétaux qui ne peuvent plus croître dans les régions où on les a observés parce que l'été n'y est plus assez chaud, et des ossements de grands herbivores, comme le mammoth et le rhinocéros, qui ne pourraient plus y vivre parce que la maigre végétation qui y subsiste encore aujourd'hui serait loin de suffire à leur nourriture, même pendant le mois le plus chaud de l'année. Les résultats d'observations toutes récentes faites au Spitzberg et à la terre François-Joseph aboutissent à la même conclusion (1). Or, en démontrant la diminution de la température de l'été, dans les zones tempérées et glaciales, on y démontre nécessairement l'accroissement des glaciers puisque la limite des neiges persistantes dépend surtout de cette température.

6° Il est évident qu'en prouvant l'accroissement actuel des glaciers, on prouve également qu'ils ont été plus restreints qu'aujourd'hui ; mais les faits que nous venons de citer démontrent, en outre, que cet accroissement n'a pas commencé depuis quelque temps seulement et que les glaciers ont été *beaucoup plus restreints* qu'aujourd'hui, puisqu'on a reconnu qu'il faut descendre à 3 degrés de latitude plus au sud pour trouver des arbres comme ceux qu'on a recueillis à l'état fossile dans les alluvions post-glaciaires des îles de la Nouvelle-Sibérie.

(1) Ch. Rabot, *Revue Encyclopédique* de 1900, p. 243.

7° La présence de l'hippopotame dans nos contrées, lors de la grande extension, et l'existence simultanée de végétaux craignant la gelée et d'autres qui fuient les températures chaudes prouvent que le paroxysme de cette extension a coïncidé avec un climat exempt d'hivers et d'étés.

8° L'existence des mêmes plantes, vers la même époque, en Provence, en Toscane, en Algérie, etc., prouve que, non seulement en France, mais encore dans toute la zone tempérée, la température de l'été avait diminué en même temps que celle de l'hiver avait augmenté, ce qui est d'accord avec les conclusions auxquelles nous avons vu que M. Nathorst est arrivé par des considérations d'un autre ordre.

9° La disparition de la faune méridionale et la prédominance dans nos plaines, jusqu'aux Pyrénées, du renne et des autres animaux polaires, à l'époque de la retraite générale des glaciers, prouvent qu'alors les hivers étaient très froids ; et cette retraite elle-même prouve surabondamment que les étés devaient être en même temps très chauds.

10° Il résulte des études les plus récentes des géologues, entre autres de celles de M. Steinmann sur l'Amérique du Sud, que les dernières extensions des calottes septentrionale et australe ont été simultanées (1), conclusion qui est corroborée par l'opinion générale des géologues réunis au dernier Congrès de Chicago.

11° L'étude des anciennes alluvions des rivières en France, en Angleterre, en Italie, en Egypte, en Algérie, dans le Sahara et partout, prouve que, parallèlement

(1) De Lapparent, *Les Anciens Glaciers* (*Le Correspondant* de 1892, p. 956).

à l'oscillation des glaciers, il y a aussi une oscillation du régime fluvial, car une période de grands cours d'eau implique nécessairement une période de cours d'eau réduits. Quant à la question de savoir si ce phénomène est périodique, elle est facile à trancher, car si l'évolution périodique des climats nécessite l'oscillation des glaciers, on verra bientôt que l'explication de cette évolution implique à un degré beaucoup plus élevé l'oscillation des cours d'eau. Il pourrait se faire, en effet, qu'à une certaine phase de la vie terrestre, l'existence des glaciers eût été impossible sur notre planète, soit par suite de la disposition géographique et orographique des continents, soit par suite d'une plus grande élévation de la température générale, tandis que le premier cours d'eau a commencé à couler dès que la première terre a été émergée ; mais nous avons, du reste, à notre disposition des faits qui démontrent directement la périodicité de l'oscillation des cours d'eau de manière à satisfaire, non seulement ceux qui ne reconnaissent que leur dernière extension, mais encore ceux qui la considèrent comme une pure illusion. Nous avons réservé ces faits intentionnellement parce que, jusqu'à présent, personne ne s'est aperçu des conséquences que l'on est obligé de tirer de leur rapprochement.

On a reconnu, en effet, que les houilles qui s'étendent depuis l'Angleterre jusqu'à la Russie sont composées principalement de feuilles et d'autres menus débris végétaux (1) qui ont été amenés par les rivières dans des bassins maritimes et que les couches de charbon sont intercalées entre autant de couches de roches : s'il n'y avait qu'une seule couche compacte

(1) Priem, *La Terre avant l'homme*, p. 129.

de végétaux à laquelle succéderait une autre couche de sable, on pourrait admettre que cette alternance a été causée par un changement dans la disposition topographique du continent qui aurait transformé de paisibles rivières en fleuves immenses et rapides ; mais le nombre des couches différentes se chiffrent par centaines et chaque strate végétale étant séparée régulièrement par une autre beaucoup plus épaisse de roches passant graduellement du schiste au grès et du grès au schiste, on ne peut expliquer cette alternance graduelle, périodique et régulière qu'en admettant que les couches de houille correspondent à de longues périodes pendant lesquelles les rivières étaient exemptes de crues et les alluvions minérales à peu près nulles, tandis que les couches de roches auraient coïncidé avec l'existence d'autres périodes pendant lesquelles les rivières affectées chaque année de crues formidables, charriaient sur toute la superficie des bassins des sables dans lesquels on ne trouve que quelques troncs d'arbres parce que les feuilles et les menus débris ne peuvent se conserver dans les gros sédiments. La présence des schistes entre les houilles et les grès prouve, ce qui, du reste, doit être dans un phénomène périodique et régulier, que la transition entre les deux extrêmes a lieu par une gradation lente et non brusquement. Mais laissons parler un instant les géologues, cela donnera plus d'autorité à notre raisonnement.

Voici d'abord quelques extraits de *La Terre et les Mers*, p. 428, par M. Priem :

« En Angleterre, l'épaisseur du terrain houiller peut atteindre 3,600 mètres. . . . .

« Dans le pays de Galles, la superficie du bassin houiller est de 2,330 kilomètres carrés. Sa largeur

« est de 19 à 25 kilomètres. Les couches sont en moyenne de 0 m. 60 et elles sont séparées les unes des autres par des couches de schistes et d'argile. A Cardiff, il y a 75 couches de houille atteignant ensemble une épaisseur de 25 mètres . . . . .

« Les bassins de l'Ecosse s'étendent sans interruption sur une largeur de 32 à 48 kilomètres, de la côte d'Ayr, à l'ouest, jusqu'au Firth of Forth à l'est.

« Le bassin houiller de Belgique, qui est le prolongement du bassin anglais, s'étend sur une longueur de 160 kilomètres et une largeur de 6 à 9 kilomètres.

« Dans le bassin de Mons, la puissance des houilles est de 2,900 mètres. On y trouve 157 couches de houille qui ont une épaisseur de 0 m. 25 à 0 m. 90.

« Les bassins houillers de Westphalie sont le prolongement du bassin franco-belge et ils sont recouverts, comme ce dernier, par le crétacé. Les couches de houille atteignent 1 m. 10 en moyenne. . . . .

« Le bassin de la Ruhr a 2,400 mètres de puissance et renferme 132 couches de houille . . . . .

« Celui de la Sarre, sur la rive gauche du Rhin, est le plus riche du continent ; il s'étend sur une longueur de 87 kilomètres et une largeur de 32 kilomètres ».

Voici maintenant ce que dit M. de Lapparent à propos du bassin houiller franco-belge (*Traité de Géologie*, 4<sup>e</sup> éd., p. 911) :

« Le terrain houiller franco-belge se compose sur tout de psammites (grès ou sables meubles) et de schistes avec houille. Les schistes forment les deux cinquièmes de l'ensemble à peu près. Accessoirement on rencontre des poudingues, des arkoses (grès très grossiers) et des grès ; il est rare que la

« grosseur du grain des poudingues soit supérieure à celle d'un pois . . . . .

« La puissance du terrain houiller dans le bassin de Mons est d'environ 2,900 mètres ; on y rencontre 156 couches de houille dont la puissance varie entre 0 m. 10 et 1 m. 60. Comme en Westphalie, chaque couche de houille est en général intercalée entre deux bancs schisteux : le supérieur, toit ou roc, est feuilleté, micacé, rempli d'empreintes végétales, l'inférieur ou mur a une cassure régulière et est traversé en tous sens par des racines et des radicules de stigmaria. Le schiste y est argileux, privé de fer et peut quelquefois être employé à la fabrication de poteries allant au feu . . . . .

« Les grès peuvent former le toit, mais jamais le mur de la houille (1) ; ils renferment des tiges et des troncs, mais pas de feuilles. Ces dernières ne se rencontrent que dans les schistes ou dans la houille elle-même . . . . .

M. de Lapparent reconnaît et démontre ensuite, ce qui est également l'opinion de M. Priem, que ces terrains houillers ont été formés absolument de la même manière que tous les terrains sédimentaires provenant d'alluvions fluviales, c'est-à-dire que les végétaux composant les houilles ont été amenés à la mer par des cours d'eau comme les autres sédiments. Ceci étant un fait acquis, comment pourrait-on

(1) Cette anomalie n'est qu'apparente et elle s'explique en deux mots : lorsque les crues s'accroissent et que l'apport du limon l'emporte sur celui des végétaux, ce limon commence par pénétrer la couche végétale avant de former une couche de schiste distincte ; de sorte que si le dépôt du limon ne dure pas assez longtemps, il peut arriver que la couche de schiste manque et que celle du sable repose directement sur la houille.

expliquer, autrement que nous venons de le faire, la présence sur une même verticale de 314 couches superposées de végétaux et de minéraux alternant avec une régularité aussi parfaite que si ces formations étaient l'ouvrage de l'homme ? De deux choses, l'une : ou il faut admettre que les 157 couches de minéraux ont été apportées par 157 inondations successives et que les 157 couches de végétaux ont été déposées entre deux crues, à l'époque des basses eaux ; ou bien il faut reconnaître avec nous que les 157 couches minérales correspondent à 157 périodes de grands cours d'eau et les 157 couches végétales à autant de périodes de cours d'eau réduits pendant lesquelles il n'y avait pas ou peu de crues.

Entre ces deux propositions, il n'y a pas à hésiter, car il y a en ce moment, tous les ans, au moins deux périodes de crues et personne ne prétendra que des bassins, dont nous ne connaissons pas la superficie primitive, mais qui étaient plus profonds que la Méditerranée sur les points où se trouvent les houillères, aient pu avoir été comblés en quelques années.

Il est donc démontré par l'observation directe, qu'il y a des périodes très régulières de grands cours d'eau et de cours d'eau réduits. Or, ce phénomène ne peut avoir lieu, pas plus que les grandes oscillations des glaciers, sans un profond changement périodique dans les climats, changement qui doit être général puisqu'on trouve ses effets partout, et comme il sera établi plus loin que la cause qui produit l'oscillation du régime glaciaire doit produire aussi une oscillation du régime fluvial, il en résulte que les faits que nous venons de citer suffiraient à eux seuls pour prouver que l'évolution des climats est bien périodique, quel que soit le nom qu'on lui donne, qu'elle existe depuis

les temps les plus reculés et que, par conséquent, c'est à l'astronomie qu'il faut en demander l'explication.

Quelques géologues de l'ancienne école persistent à croire que les houilles du Nord ont été formées sur place par des forêts qui auraient été périodiquement recouvertes par les eaux. Si nous adoptons la doctrine contraire, c'est-à-dire la formation par voie de transport, ce n'est certes pas à cause du parti que nous venons d'en tirer, car aussi bien dans un cas que dans l'autre, la même conclusion s'impose. En effet, qu'on suppose des dépressions du sol qui auraient été occupées alternativement et régulièrement pendant de longues durées, tantôt par des forêts, tantôt par des lacs, ou qu'on admette que les végétaux ont été amenés par de petites rivières et les sables par de grands fleuves dans des bassins toujours pleins d'eau, on est bien en droit de voir, dans les deux cas, une période de cours d'eau réduits et une période de grands cours d'eau. Mais nous prétendons qu'en présence des circonstances qui ont été observées dans les houillères du Nord, il faut se plaire à remplacer l'évidence par une hypothèse impossible pour y voir une formation sur place. Comment serait-il possible qu'une houille provenant d'une forêt ensevelie sous l'eau fût composée presque exclusivement d'écorces, de brindilles, de feuilles, et qu'on n'y trouvât des troncs qu'exceptionnellement?

Il y a certainement des houilles qui ont été formées sur place et nous croyons même qu'il s'en trouve un exemple parmi les faits géologiques que nous avons cités : c'est le dépôt tertiaire étudié par le docteur Hayes dans l'Amérique boréale ; mais là, les couches de charbon sont formées de troncs d'arbres au lieu de menus débris, les couches de roches ne contiennent

que des feuilles au lieu de troncs et tout indique une formation d'eau douce, tandis que la présence de fossiles marins dans celles du Nord, le nombre des couches, l'étendue des houillères et leur épaisseur totale prouvent d'une manière indiscutable qu'il s'agit de bassins maritimes qui ont été comblés à la longue par les apports des cours d'eau d'un continent ou plutôt de quelques îles plus ou moins étendues (1). Ce serait en vérité une bien singulière forêt que celle dont les arbres, dépourvus de troncs, produiraient des poissons de mer en guise de fruits !

M. Louis Lartet a dit qu'il fallait se résoudre à tenir compte des faits et à chercher une théorie qui les explique tous. Ce savant paraissait croire qu'une hypothèse qui ne laisserait rien à expliquer pourrait être acceptée comme une vérité démontrée et certes il avait raison car s'il est facile d'expliquer un fait simple et isolé par une hypothèse qui peut être vraisemblable sans être vraie, il ne saurait en être de même lorsqu'il s'agit d'en trouver une qui concorde avec toutes les circonstances des phénomènes naturels aussi nombreux que compliqués qui ont été dévoilés par la géologie. Nous sommes donc convaincu que lorsque nous aurons démontré que non seulement notre explication remplit les conditions requises

(1) Il est probable, en effet, que ce que nous appelons aujourd'hui continents n'existait pas encore à l'époque carbonifère. Dans tous les cas, il est certain que les houillères n'ont pas été formées non plus à la manière des deltas puisqu'on ne trouve rien d'analogue dans les deltas, tandis que dans la mer des Antilles et autour des îles de la Polynésie, on a recueilli, assez loin des côtes et à des profondeurs de 2,000 à 3,000 mètres, des fragments de végétaux en décomposition, c'est-à-dire des houilles en voie de formation.

(Suess, *La Face de la Terre*, vol. 2, p. 106.)

par M. Lartet, mais encore qu'elle est basée sur un fait astronomique qui existe réellement et non sur une hypothèse, personne ne songera à contester sa validité. Cependant, comme ses résultats sont hors de proportion avec nos idées ordinaires sur la durée des temps, nous ne saurions nous entourer de trop de précautions et nous allons montrer que si nos chiffres sont loin d'être d'accord avec le préjugé, ils se trouvent pourtant confirmés par certains chronomètres naturels en ce qui concerne la durée de chaque évolution des climats et qu'ils ne sont pas éloignés de certaines évaluations au point de vue de l'âge total des plus anciens terrains sédimentaires.

Voici d'abord deux chronomètres que nous empruntons au Préhistorique de M. de Mortillet. Le premier lui a été fourni par M. Louis Pillet. Nous ferons remarquer que M. de Mortillet en a tiré des chiffres très différents de ceux qui résultent de l'observation telle qu'il l'a relatée. C'est d'autant plus surprenant qu'il a jugé, comme nous, que ce chronomètre était un des plus sérieux qu'il connaissait :

« Une des actions les plus caractéristiques et les plus générales des glaciers est, dit-il, de polir les roches sur lesquelles ils reposent et glissent. La colline calcaire qui domine Aix-les-Bains, en Savoie, a supporté l'ancien glacier de la Haute Isère et a été entièrement polie par lui. Ce poli s'observe partout où la roche a été préservée du contact de l'eau et de l'air par une couche de terre argileuse. Mais là où cette roche a été soumise aux actions atmosphériques, il s'est produit à sa surface des corrosions qui ont donné lieu à la formation d'excavations, de creux et surtout de nombreux et profonds sillons.

« Dans cette colline, les Romains ont ouvert une carrière pour construire en belles pierres de taille les monuments qu'ils ont laissés dans la contrée. Eh bien, les corrosions opérées par les actions atmosphériques pendant 1,800 ans sur les surfaces calcaires laissées à nu dans la carrière romaine ne sont que de deux ou trois millimètres de profondeur tandis que les anciennes, tout à côté, sur le même calcaire, atteignent en moyenne un mètre. Si nous admettons une corrosion d'un centimètre pour 20 siècles, nous évaluerons à 200,000 ans l'époque où les glaciers ont abandonné la vallée d'Aix. »

Pourquoi M. de Mortillet a-t-il admis pour 20 siècles une corrosion quatre fois plus considérable que pour 18 siècles ? A-t-il craint de trop vieillir l'humanité ? Mystère ! S'il eût pris, pour base de son calcul, le chiffre véritable, c'est-à-dire la moyenne entre deux et trois millimètres, il aurait obtenu 720,000 ans au lieu de 200,000 !

Voici le second chronomètre :

« En 1867, M. Vivian, comparant la faible couche de stalagmites qui, dans la caverne de Kent (Angleterre), recouvre les objets romains, avec celle très puissante sous laquelle on rencontre le magdalénien et le moustérien, estime que la formation de cette dernière a exigé 364,000 ans. »

M. John Evans (1) a dit, dans un discours prononcé à Birmingham sur l'antiquité de l'homme et l'âge de la pierre en Egypte :

« Il faut attendre de grands résultats des recherches futures, mais pour le moment nous pouvons être

(1) L'Anthropologie de 1900.

« satisfaits d'être arrivés à fixer la fin de la période  
« néolithique en Egypte à 7,000 ans, c'est-à-dire à  
« une époque plus reculée de 1,000 ans que celle  
« qu'on nous a indiquée dans les écoles pour la créa-  
« tion de l'univers. (Il donne ce chiffre comme un  
« minimum.)

« Sur la question des silex paléolithiques, M. Evans  
« est assez réservé, mais il fait remarquer avec force  
« que ces silex sont en relation avec une topographie  
« toute différente de la topographie actuelle, laquelle  
« est la même qu'il y a 7,000 ans. » (Considération  
suffisante pour faire pressentir que la durée qui s'est  
écoulée depuis les temps paléolithiques est hors de  
toute proportion avec celle qui nous sépare du com-  
mencement de la période historique).

M. Goodchild (1), président de la Société de physi-  
que d'Edimbourg, croit pouvoir affirmer que 93 mil-  
lions d'années nous séparent du commencement de  
l'époque tertiaire et que le cambrien (le plus ancien  
terrain fossilifère) remonte à 700 millions d'années.

Nous ignorons sur quelles considérations M. Good-  
child s'est basé pour obtenir ces chiffres. Peut-être  
sont-elles du même ordre que celles dont d'autres  
physiciens ont déduit une durée totale d'une vingtaine  
de millions d'années et nous ne les citons que pour  
montrer à ceux qui considèrent le chiffre de 100  
millions d'années comme ne pouvant pas être dépassé  
que dans des évaluations pour lesquelles on ne  
possède aucune base, il ne saurait être question de  
maximum.

Nous le répétons, du moment que nous présentons  
une explication qui répond à tout et que nul fait ne

(1) *L'Anthropologie* de 1898 et *L'Aurore* du 16 juin 1898.

peut infirmer, ces moyens de chronométrie, évalua-  
tions, ou observations ne nous paraissent pas indis-  
pensables ni même nécessaires pour compléter la  
conviction dans l'esprit d'un juge impartial, mais il  
n'est peut-être pas inutile de montrer aux esprits pré-  
venus que s'il est prouvé par la date écrite de certains  
monuments que la période néolithique a pris fin en  
Egypte 1,000 ans avant la création biblique; que ~~est~~  
~~est prouvé par~~ des chronomètres naturels, à la portée  
de tout le monde, <sup>qui pressentent</sup> ~~il y a~~ cette période néolithique  
(qui peut avoir été beaucoup plus longue que les  
temps historiques) et la période paléolithique (qui a  
été certainement beaucoup plus longue que les temps  
néolithiques) il s'est écoulé plusieurs milliers de siècles;  
et que, ~~d'un autre côté~~ 700,000 ans nous séparent de  
l'époque à laquelle les glaciers ont abandonné la  
colline d'Aix-les-Bains, il est bien difficile de renfer-  
mer la période géologique, dite quaternaire, dans un  
cadre de quelques milliers d'années.

## II

Il n'y a que la variation continue de l'inclinaison de l'axe qui puisse expliquer l'évolution périodique des climats.

S'il est vrai que personne n'a su définir jusqu'à présent la véritable cause des faits géologiques qui ont été observés, il ne l'est pas moins, nous nous plaisons à le répéter, que quelques-uns des chercheurs qui ont compris qu'il y avait un phénomène périodique dans les formations glaciaires, ont pensé en même temps que la cause en devait être astronomique. L'un d'entre eux, M. Trutat (1), a même ajouté que cette cause devait être de nature à produire une uniformité de la température lors des extensions des glaciers. Il en est d'autres qui, sortant des généralités, ont présenté, pour résoudre le problème, le mouvement de la Précession des équinoxes combiné avec celui du Périhélie et l'excentricité de l'orbite. Le premier qui ait songé à cette explication est, si nous ne nous trompons, M. Adhémar, dans *Les Révolutions de la Mer*,

(1) *Revue scientifique* de 1874, 2<sup>e</sup> semestre, p. 79.

et elle a été reprise par MM. Croll, Geikie, Péroche, etc. Mais, tout en reconnaissant que ces savants ont su discerner la vérité en principe, nous sommes obligé de constater qu'en fait ils n'ont pas eu la main heureuse.

En effet, cette explication comporterait, d'après son premier auteur, une aggravation des hivers au moment de l'extension, tandis qu'elle a eu lieu au contraire par une période sans hivers. Du reste, M. Adhémar admettant comme cause directe des extensions glaciaires une aggravation des hivers, il ne pouvait trouver la vérité que par hasard et sans la démontrer, puisque le régime des glaciers n'a aucun rapport avec la température de l'hiver. Ensuite, pour expliquer des extensions glaciaires telles qu'elles ont eu lieu dans les Alpes, il faut une cause qui y diminue de 5 à 6 degrés la température de l'été (1), tandis que le seul changement produit sur l'été de nos contrées par la combinaison de ces faits astronomiques consistant en ce qu'à une certaine époque le soleil est visible, chaque année, 96 heures de plus qu'à une autre, les jours de l'été sont, il est vrai, un peu plus longs et, par conséquent, un peu plus chauds de ce fait ; mais comme le Soleil est alors plus loin de la Terre que lorsque les jours de l'été sont moins longs, il en résulte qu'il y a compensation exacte et que la température estivale restant la même dans les deux cas, le régime des glaciers n'en est affecté à aucun degré. Cela est si vrai que les savants qui prétendent le contraire ne sont pas d'accord sur la question de savoir si c'est en périhélie ou en aphélie que les étés sont plus chauds. M. Flammarion (*Astronomie populaire*, p. 60) prétend que c'est en aphélie

(1) Priem, *La Terre avant l'homme*, p. 443.

et M. Adhémar (*Les Révolutions de la Mer*, page 150) dit que c'est en périhélie. Cette particularité ne produit aucune espèce de modification à l'Equateur et cependant il y a eu des périodes d'extension dans la zone équatoriale comme ailleurs. Les extensions des calottes glaciaires septentrionale et australe devraient alterner tandis qu'elles sont synchrones dans les deux hémisphères. La durée qui séparerait les paroxysmes d'extension des paroxysmes de retraite n'étant que de 10,500 ans, elle serait beaucoup trop courte pour expliquer la lenteur ou, pour mieux dire, l'insensibilité de l'accroissement général des glaciers actuels, etc., etc.

Voyons si, dans les autres mouvements de la Terre connus, il en est un qui puisse satisfaire à toutes les conditions requises par les observations géologiques et, par les conséquences qui en découlent.

Nous savons qu'actuellement, sur un point quelconque de notre globe, le climat, au lieu d'être uniforme comme cela semble avoir été à une époque géologique récente, varie constamment d'un bout à l'autre de l'année, à toutes les latitudes, et que la longueur du jour et de la nuit varie de la même manière et également partout sauf à l'équateur.

D'où provient donc cette irrégularité dans la longueur du jour et dans la distribution de la chaleur, quelle est, en un mot, la cause qui produit les différentes saisons sur toute l'étendue de notre planète ?

C'est l'inclinaison de l'axe de la Terre sur son orbite, et un changement dans l'inclinaison qui existe en ce moment produirait une perturbation universelle dans les climats sur tous les points du globe. La quantité de chaleur reçue du soleil serait bien toujours la même, mais la distribution en serait faite différemment. Si



l'axe était moins incliné, les différences entre l'hiver et l'été seraient moins accentuées et si l'axe était plus incliné, elles le seraient davantage. Puisqu'il nous faut précisément une variation générale dans les climats, il nous semble que c'est là que nous devons chercher et trouver la clé du mystère qui nous intrigue :

Parmi les différentes positions que l'axe pourrait occuper, il en est une dans laquelle la moyenne de la température estivale du pôle serait plus élevée que celles de toutes les autres latitudes, plus élevée surtout que celle de l'équateur qui serait alors la plus basse de toutes, et les hivers seraient le plus accentués qu'ils puissent être sur tous les points du globe. Si l'axe était couché sur l'orbite, c'est-à-dire sur le même plan ou faisant un angle de 90° avec la perpendiculaire, cet état de choses existerait.

Dans cette position de l'axe, notre hémisphère étant entièrement éclairé au moment du solstice d'été et l'hémisphère austral entièrement dans l'ombre, le pôle nord aurait le soleil exactement au zénith et ce ne serait pas seulement pendant quelques instants, comme cela a lieu en ce moment sous les tropiques deux fois par an, puisque le pôle, pendant les six mois d'été, a constamment le soleil au dessus de l'horizon et qu'en conséquence il s'y élèverait, pendant les trois mois qui précèdent le 20 juin, depuis l'horizon jusqu'au zénith, pour descendre ensuite du zénith à l'horizon pendant les trois mois suivants.

Dans la zone tempérée, au 45° parallèle, par exemple, voici à peu près comment les choses se passeraient si l'axe était couché sur l'orbite :

Il y aurait un jour de trois mois environ commençant 45 jours avant le solstice d'été et finissant 45 jours après, soit du 5 mai au 5 août. Pendant la première

moitié de ces trois mois, le Soleil y décrirait, dans le ciel, une spirale qui irait en se rétrécissant jusqu'au 20 juin. Dans la première spire de cette spirale, le Soleil passerait à midi au zénith et à minuit au ras de l'horizon, du côté nord ; la dernière spire, celle du 19 juin, n'aurait plus que deux degrés de diamètre (1) et enfin, le 20 juin, le Soleil resterait fixe dans le ciel au point où se trouve le pôle céleste, c'est-à-dire à 45 degrés au-dessus de l'horizon nord du 45° parallèle.

A partir du 20 juin, la spirale se déroulerait et 45 jours après, sa dernière spire serait encore de 90 degrés de diamètre, passant à midi au zénith et à minuit au ras de l'horizon nord. Le lendemain, le jour serait d'un peu moins de 24 heures et il diminuerait graduellement ensuite. Le 20 septembre, le jour et la nuit seraient de 12 heures comme actuellement et la diminution continuerait jusqu'au 5 novembre, jour où commencerait la nuit de trois mois. Cette nuit finirait le 5 février et les jours augmenteraient ensuite ; le 20 mars, le jour serait encore de 12 heures et l'augmentation continuerait jusqu'au 5 mai où le jour de trois mois recommencerait.

Quant à la température, nous ne pouvons pas plus l'évaluer qu'au pôle ; mais pour la pressentir, il n'y a qu'à considérer la chaleur qui pourrait s'accumuler à l'équateur, où il fait déjà passablement chaud, si le Soleil, au lieu de disparaître pendant 12 heures après

(1) ~~Remarquons que dans ce cas, le Soleil, au lieu de disparaître pendant 12 heures après le solstice d'été, passerait à midi au zénith et à minuit au ras de l'horizon, du côté nord ; la dernière spire, celle du 19 juin, n'aurait plus que deux degrés de diamètre et enfin, le 20 juin, le Soleil resterait fixe dans le ciel au point où se trouve le pôle céleste, c'est-à-dire à 45 degrés au-dessus de l'horizon nord du 45° parallèle.~~

12 heures de présence, recommençait immédiatement le trajet qu'il vient d'accomplir, et cela pendant trois mois consécutifs. Donc, si nous ne pouvons savoir à quel degré arriverait la température de l'été au pôle et au 45°, nous sommes cependant certains qu'elle serait de beaucoup supérieure à celle qui existe actuellement dans la zone la plus chaude de la Terre, et puisque nous savons que dans cette zone, la limite des neiges varie entre 4,000 et 6,000 mètres, nous pouvons affirmer qu'aucune montagne des Alpes, ni aucune de celles qui peuvent exister entre le 45° et le pôle nord ne conserveraient de la neige en été. La retraite glaciaire serait donc complète dans cette zone.

Puisque nous savons que pendant la dernière retraite des glaciers, les hivers étaient très froids et les étés très chauds dans nos contrées, il est probable que nous avons trouvé la cause première de cette retraite.

La grande inclinaison de l'axe explique tout aussi facilement la phase des grands cours d'eau que la retraite des glaciers. Avec un hiver comprenant une nuit de trois mois, auquel succéderait presque subitement l'été que nous venons de faire pressentir, il n'est pas difficile de s'imaginer ce que pourraient devenir, par suite de la fusion soudaine des neiges et des glaces, des rivières dont l'écoulement aurait été interrompu pendant quatre ou cinq mois et il n'y a pas lieu de trouver exagérées les évaluations des observateurs qui estiment que nos cours d'eau ont dû être, à une époque relativement récente, vingt fois plus considérables qu'aujourd'hui.

Il est une autre position de l'axe dans laquelle le climat d'un point donné resterait invariable pendant toute la durée de l'année, le Soleil y passerait tous les

jours à midi à la même hauteur au-dessus de l'horizon, il n'y aurait d'autre variation dans la température que celle du jour à la nuit et cette variation serait toujours la même parce que le jour et la nuit auraient partout et toujours la même durée, c'est-à-dire 12 heures. Dans cette position, la température, quoique uniforme sur un point donné, varierait bien entendu d'une latitude à une autre et, contrairement à ce que nous avons constaté dans la précédente pour la température de l'été, c'est aux pôles qu'elle serait la plus basse et à l'équateur qu'elle serait la plus élevée, elle y serait même un peu supérieure à ce qu'elle est maintenant, et elle décroîtrait proportionnellement à la latitude de l'équateur aux pôles : si l'axe était perpendiculaire, c'est-à-dire droit sur l'orbite, cet état de choses existerait.

Puisque la géologie nous apprend que la température devait être constamment uniforme dans nos contrées, lors de la dernière extension glaciaire, il y a tout lieu de croire que nous avons trouvé ce qui a pu causer cette extension et pourrait la renouveler.

Avec l'axe perpendiculaire, l'équateur aurait le Soleil tous les jours au zénith à midi et les deux pôles seraient constamment éclairés chacun par une moitié de cet astre qui passerait chaque jour à midi à 45 degrés au-dessus de l'horizon sud du 45° parallèle, particularités qui, actuellement, se produisent deux fois par an lors des équinoxes ; de sorte que la température d'un point donné serait toujours la même que la moyenne actuelle des deux équinoxes. Supposons que demain cette condition se trouve réalisée, qu'en résulterait-il au point de vue du régime glaciaire ?

La température étant constamment la même que la moyenne actuelle de l'équinoxe de printemps et de

l'équinoxe d'automne, qui équivaut à peu près dans nos régions à la moyenne des 365 températures diverses de l'année, il n'y a, pour s'en faire une idée, qu'à considérer que la température moyenne annuelle de Paris, par exemple, étant de  $+ 10^{\circ} 6$ , il n'y gèlerait jamais et il n'y ferait jamais bien chaud ; la moyenne des écarts entre les maximums et les minimums de température de tous les jours de l'année étant de  $7^{\circ} 2$  (1), il n'y aurait jamais beaucoup plus de  $+ 14^{\circ} 2$  pendant le jour, ni beaucoup moins de  $+ 7^{\circ}$  pendant la nuit ; de sorte que la neige ne tombant pas par des températures supérieures à  $+ 4^{\circ}$ , il ne neigerait jamais à Paris, et cette cité étant à une grande distance des hautes montagnes, elle n'aurait pas à craindre d'être recouverte par les glaciers.

Transportons-nous maintenant en Norvège : c'est un pays dont une grande partie est recouverte de hauts plateaux et de montagnes élevées ; au  $70^{\circ}$  parallèle, la température moyenne annuelle y est de zéro et celle du mois de juillet, le plus chaud de l'année est de  $+ 8^{\circ}$ . Il tombe beaucoup de neige dans ces contrées et les glaciers y arrivent déjà au niveau de la mer. L'été est encore suffisant pour fondre la neige dans la plaine, mais il est impuissant à y arrêter la marche des glaciers. Dans les conditions où nous supposons être, il n'y aurait plus d'été ni d'hiver ; la température constante y serait donc de zéro. A cette température, toutes les condensations se résoudraient en neige et cette neige ne fondrait jamais, même au niveau de la mer. Voilà donc une région montagneuse de laquelle d'innombrables glaciers vont prendre leur essor et

(1) D'après les observations journalières de l'Observatoire de Paris.

rien désormais ne pourra les arrêter tant que la position de l'axe ne se sera pas modifiée ou qu'ils ne seront pas arrivés à une latitude où la température soit assez élevée pour leur barrer la route.

Examinons maintenant la question au point de vue des Alpes, en prenant pour base le climat de Turin situé non loin de ces montagnes :

La température moyenne annuelle y est de  $+ 11^{\circ} 3$ .

Celle du mois le plus froid est de  $+ 0^{\circ} 3$ .

Celle du mois le plus chaud de  $+ 23^{\circ} 2$ .

Celle des six mois les plus chauds, de  $+ 17^{\circ} 8$ .

Nous savons que malgré cette température moyenne de  $+ 17^{\circ} 8$  pendant les six mois chauds au pied des montagnes, la neige persiste en ce moment, durant tout l'été, dans les Alpes savoisiennes, à une altitude moyenne de 2,700 mètres. Avec l'axe perpendiculaire, la température constante étant à Turin, de  $+ 11^{\circ} 3$ , soit  $6^{\circ} 5$  de moins que la moyenne actuelle des six mois chauds, et la température diminuant en moyenne de  $0^{\circ} 6$  par chaque 100 mètres d'élévation, il s'ensuit que la limite des neiges descendrait à 1,620 mètres. En effet, si on divise  $6^{\circ} 5$  par  $0^{\circ} 6$ , on trouve pour quotient 10,80, soit 1,080 mètres dont la limite des neiges s'abaisserait si l'axe était perpendiculaire.

En ce moment, l'altitude des glaciers les plus considérables de Suisse et de Savoie varie entre 900 et 1,700 mètres ; si nous prenons le chiffre moyen, qui est de 1,300 mètres, comme terme de comparaison, nous constatons qu'en admettant que les glaciers ne s'étendent que proportionnellement à l'extension de la limite des neiges, ils descendraient à 220 mètres si l'axe était perpendiculaire. Mais la glace est loin d'obéir aussi docilement que la neige à la température, puisque nous voyons des glaciers qui descendent

jusqu'à 900 mètres, tandis que d'autres sont à 1,700 sur des points où les neiges persistantes ont à peu près les mêmes limites de 2,700 mètres, et nous devons en conclure que les glaciers des Alpes descendraient certainement au niveau de la mer, si les plaines environnantes se trouvaient à ce niveau.

La petite inclinaison de l'axe explique avec autant de facilité la phase des cours d'eau réduits que sa grande inclinaison explique celle des grands cours d'eau : lorsque la température est toujours la même, il ne saurait y avoir ni saison de pluie ni saison de dégel ; par conséquent, il n'y aurait pas de crues et le débit maximum des rivières s'écarterait aussi peu que possible de la moyenne.

La variation de l'inclinaison de l'axe explique l'évolution des glaciers et des cours d'eau à l'équateur comme dans les autres zones :

En effet, lorsque l'axe est incliné à 90°, le Soleil passe bien au zénith de l'équateur deux fois par an comme il y passe maintenant, et le jour y étant également de 12 heures, les maximums de la température de l'été sont les mêmes, mais les minimums sont de beaucoup inférieurs à ceux actuels, car en ce moment le Soleil ne se trouve éloigné du zénith de l'équateur que de  $11^{\circ} \frac{3}{4}$  pendant le premier et le dernier jour de chaque été, tandis qu'avec l'axe couché, il s'en éloignerait de 45° à ces mêmes dates. Or, le Soleil étant à 45° et le jour de 12 heures, l'équateur aurait, en moyenne, au commencement et à la fin de chaque été, les mêmes températures que possède actuellement le 45° parallèle vers le 20 mars et le 20 septembre. Par conséquent, la température moyenne des six mois chauds se trouvant de beaucoup inférieure à la moyenne actuelle, l'extension des glaciers serait pro-

duite à l'équateur par la grande inclinaison de l'axe : La température moyenne du 20 mars et du 20 septembre, vers le 45° parallèle, est en France d'environ + 12°. C'est donc cette température que posséderait l'équateur sur un point qui se trouverait dans les mêmes conditions de géographie physique que la France, le premier et le dernier jour de chaque été, si l'axe était incliné à 90°. La moyenne du jour le plus chaud de chaque été étant la même qu'aujourd'hui, c'est-à-dire d'environ + 29°, la moyenne des six mois chauds serait alors de + 20° 5. Actuellement, la moyenne du jour le moins chaud de chaque été étant d'environ + 26°, celle des six mois chauds est d'environ + 27° 5 et il en résulte que la température des étés serait de 7° environ inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui, lors de la grande inclinaison de l'axe. La limite des neiges pourrait donc descendre de 1,200 mètres vers l'équateur.

Lors de la grande inclinaison de l'axe, le Soleil descend, vers l'équateur, à chaque solstice, jusqu'au ras de l'horizon, et au 11° parallèle, il y a un hiver possédant une nuit de plus de trois semaines, c'est-à-dire très rigoureux. Par conséquent, la zone équatoriale a sa période de grands cours d'eau comme les autres zones ; il n'y a, tout comme pour l'extension des glaciers, qu'une différence de degré.

Avec l'axe perpendiculaire, l'équateur ayant tous les jours le Soleil au zénith, il est évident que la température y serait la plus élevée qu'elle puisse y être et par conséquent, cette condition y produirait une retraite des glaciers. C'est-à-dire que dans la zone équatoriale, les glaciers progressent quand ils se retirent dans les autres zones et vice-versa.

La petite inclinaison de l'axe produit une période

de cours d'eau réduits dans la zone équatoriale, comme elle la produit ailleurs, par suite de l'uniformité constante de la température qui fait que la chute des précipitations est répartie ainsi que le dégel sur tout le cours de l'année, tandis que lors de la grande inclinaison il y a deux saisons pluvieuses accompagnant ou suivant deux saisons de dégel.

Nous ferons remarquer que, contrairement à ce qui a lieu pour l'extension et la retraite des glaciers, les phases des grands cours d'eau et celles des cours d'eau réduits se produisent à l'équateur en même temps que dans les autres zones parce qu'au lieu d'obéir à la température de l'été comme l'évolution glaciaire, l'oscillation du régime fluvial est régie par l'accentuation et la diminution alternatives de la différence entre l'hiver et l'été et que ces circonstances se produisent partout en même temps. Cela justifie l'opinion de M. Lartet qui est d'avis que les alluvions anciennes du Nil, fleuve équatorial, sont synchroniques de celles des fleuves européens.

Examinons maintenant si cette explication satisfait en détail à toutes les conditions requises par les faits observés :

La variation continue de l'inclinaison de l'axe explique parfaitement l'universalité et la périodicité des grandes oscillations glaciaires et fluviales.

Si le raisonnement judicieux des observations géologiques fait pressentir que la période quaternaire doit avoir eu une longue durée, on verra que notre explication accorde avec libéralité le temps qui paraît avoir été nécessaire pour l'accomplissement des faits qui se sont succédés durant cette période géologique.

Notre explication concorde avec les observations et les études qui démontrent la diminution de la tempé-

rature de l'été et la progression générale des glaciers actuels dans les zones tempérées et glaciales des deux hémisphères, puisque l'inclinaison de l'axe diminue et que cette diminution abaisse la température des six mois chauds dans ces zones, ce qui est d'accord également avec les études raisonnées de M. Nathorst, dont il résulte que la dernière extension a été causée exclusivement par la diminution de la température de l'été.

Si l'axe était perpendiculaire ou très peu incliné, l'hippopotame pourrait vivre constamment dans les rivières du nord de la France, et les plantes qui, comme le laurier des Canaries, craignent le froid, pourraient exister dans le bassin de la Seine, à côté des plantes craignant le chaud; puisque la température constante de Paris serait en moyenne de  $+10^{\circ}6$  et qu'elle ne descendrait guère pendant la nuit au-dessous de  $+7^{\circ}$ .

La petite inclinaison de l'axe explique également comment le saule cendré, le faux sycomore et d'autres arbres qui fuient les températures chaudes ont pu croître en Algérie en même temps que ceux qui craignent les températures froides croissaient à Paris, puisque si cette condition était réalisée, la température constante d'Alger serait de  $+18^{\circ}$  seulement et ne dépasserait guère  $+21^{\circ}$  pendant le jour.

Les hivers extraordinaires que la grande inclinaison de l'axe produirait expliquent suffisamment la disparition des animaux méridionaux et la prédominance du renne et des autres animaux polaires dans nos plaines pendant la phase de retraite des glaciers, et si on y ajoute les étés insupportables qui leur succéderaient presque subitement, on comprendra sans peine pourquoi l'homme a disparu de la zone tempérée

pendant une longue période. Du reste, si l'hiatus est nié aujourd'hui par un certain nombre de naturalistes, c'est uniquement parce que le croyant inexplicable depuis qu'ils sont certains qu'il n'a pas été causé par un cataclysme, ils le considèrent comme une impossibilité ; et, en effet, lorsqu'on considère que l'homme supporte sans inconvénient les étés de la zone torride et les hivers du cercle polaire, on a de la peine à comprendre que des pays comme la France et l'Italie puissent avoir été inhabitables à une époque très rapprochée de nous, géologiquement parlant, si on n'admet pas la grande variation de l'inclinaison de l'axe.

Notre explication concorde avec les observations et les études géologiques qui ont constaté la contemporanéité des extensions glaciaires dans les zones tempérées et glaciales des deux hémisphères.

Les auteurs qui ont écrit sur la question glaciaire et qui reconnaissent que lors de la dernière grande extension, le climat était doux et uniforme, s'accordent généralement pour dire qu'il était plus humide que maintenant, et en supposant que les pluies devaient être vingt fois plus abondantes, ils expliquent facilement les extensions glaciaires. Cette pétition de principe est formellement condamnée par les faits géologiques que nous avons cités. Ainsi que nous le verrons plus loin, il est possible qu'il y ait une période pluvieuse, mais il est impossible qu'elle soit la cause de l'extension glaciaire telle qu'elle a été observée : En effet, étant donnée une période de pluies extraordinaires, il serait difficile de comprendre comment ce phénomène pourrait réchauffer les hivers de notre zone de manière à permettre le séjour de l'hippopotame dans le sud de l'Angleterre, car il n'est pas rare

d'y voir la pluie tomber en hiver sous forme de neige, et une contrée qui resterait couverte d'une épaisse couche de neige pendant une partie de l'hiver ne serait guère propice à l'existence des animaux méridionaux. On n'a pas réfléchi que pour exclure la neige et la gelée de ces régions, il faut au préalable y augmenter la température de l'hiver. D'un autre côté, si on explique l'extension des glaciers par la pluie, il faut expliquer leur retraite par la sécheresse et c'est ce qu'on a fait en attribuant également à ce phénomène la période d'hivers rigoureux qui a été observée. Mais alors nous sommes actuellement en pleine période de sécheresse puisqu'on prétend qu'il tombe vingt fois moins d'eau que pendant la période pluvieuse et que nos glaciers restent suspendus à de hautes altitudes ; et pourtant nous ne voyons nullement dans nos contrées ces hivers polaires qui ont accompagné la dernière retraite des glaciers et qui ont permis à la faune arctique de descendre jusqu'aux extrémités méridionales de l'Europe.

Cependant, on a trouvé à l'appui de cette opinion, non pas un fait dans tous ses détails, mais un fait qu'on n'a envisagé que sur une seule de ses faces : c'est l'existence de sources considérables qui nous est révélée par les formations appelées tufs ou incrustations calcaires qui sont, en effet, contemporaines de la grande extension et dont nous avons déjà parlé plusieurs fois. Or, notre explication rend parfaitement compte de cette apparence d'humidité, de l'existence de ces sources abondantes, même en admettant, avec M. Nathorst, que les précipitations étaient au contraire moins considérables qu'aujourd'hui lors du paroxysme de l'extension glaciaire, chose qui paraît très vraisemblable si on considère que notre zone

étant alors exempte de grandes chaleurs, l'évaporation devait y être à peu près nulle. En effet, dans l'état de choses actuel, la pluie ne tombe en général qu'à certaines époques de l'année, il y a des saisons pluvieuses et des saisons sèches, et l'on sait que lorsque l'eau tombe en trop grande abondance, elle ne pénètre guère dans la profondeur du sol, elle humecte seulement la surface et la plus grande partie s'écoule rapidement dans les rivières; mais par un climat constamment uniforme comme celui que produirait la petite inclinaison de l'axe, il n'y aurait aucune raison pour que la pluie tombât à une époque de l'année plutôt qu'à une autre, il n'y aurait jamais ni saisons pluvieuses ni saisons sèches, les arbres et les prés seraient toujours verts, la terre toujours humide et la chute des précipitations étant répartie sur tout le cours de l'année, il n'y aurait que des pluies douces, lentes, qui pénétreraient profondément dans le sol pour en jaillir en sources abondantes là où les circonstances le permettraient.

Ceux qui voient, dans une période de pluies diluviennes, la cause directe des extensions glaciaires, y voient naturellement aussi celle des extensions des cours d'eau et ils admettent, par suite, le synchronisme de ces deux phénomènes dans notre zone. On ne saurait dire de cette opinion qu'elle n'est pas rationnelle en principe car il est certain que, la température restant telle qu'elle est actuellement, un accroissement extraordinaire des précipitations produirait une extension des cours d'eau aussi bien que l'accentuation des hivers et des étés et qu'il en résulterait également une extension des glaciers; mais, en admettant que l'extension des cours d'eau ait été causée exclusivement par la pluie et sans demander à

ceux qui partagent cette manière de voir quelle pourrait être, sinon un fait astronomique, la cause de ce phénomène, les observations géologiques démontrent péremptoirement qu'il se produit dans nos contrées entre deux extensions glaciaires et non aux époques de leurs paroxysmes. En effet, les alluvions fluviales considérables qui se sont déposées dans le nord de l'Europe et dans les Alpes, entre les diverses couches de terrain erratique, et les rivières qui ont creusé leurs lits dans les moraines de la dernière extension en Angleterre et en Ecosse (1), lits dont elles n'occupent aujourd'hui qu'une faible partie, ne l'ont pas fait pendant que ces contrées étaient recouvertes par les glaciers. En outre, les gros blocs de rocher et les couches irrégulières, que l'on trouve à travers les graviers quaternaires de la Marne, de la Seine et de la Somme et que l'on considère avec raison comme un indice d'hivers rigoureux, n'ont pas été déposés au moment du paroxysme de l'extension glaciaire puisqu'il a coïncidé avec un climat sans hivers. Enfin, la formation du lœss qui est considérée souvent comme démontrant l'existence de périodes de pluies diluviennes est reconnue comme interglaciaire par les géologues qui en ont fait une étude spéciale.

Notre explication implique bien l'existence d'une longue période pendant laquelle nos contrées ont une saison exceptionnellement pluvieuse et même d'une autre, qui n'est que la continuation de celle-ci, durant laquelle il y a deux saisons pluvieuses, mais c'est au contraire lors de la retraite des glaciers, lors de la grande inclinaison de l'axe. En effet, notre région est alors comprise tout à la fois dans la zone tropicale et

(1) John Evans, *Les Ages de la pierre*, p. 678 et 679.

dans la zone glaciale et comme il est reconnu que les contrées où le soleil passe au zénith ont une saison pluvieuse à l'époque où se produit cette particularité, on peut admettre que les mêmes causes doivent produire les mêmes effets partout. Cependant, nous ne donnons cette idée qu'à titre d'hypothèse, d'abord, parce qu'il est possible que ce qui se passe actuellement sous les tropiques ne soit pas le résultat exclusif de la présence du soleil au zénith et ensuite, parce que l'extension des cours d'eau étant suffisamment justifiée par l'extrême accentuation des saisons, il n'est pas certain que l'intensité de ce phénomène ait été accrue par l'existence de périodes très pluvieuses.

La grande inclinaison de l'axe explique la formation du loess, aussi bien lorsqu'il est le produit des inondations que lorsqu'il résulte de l'accumulation des poussières amenées par les vents, puisque cette période est celle des grands cours d'eau et que la transition brusque des grands froids aux grandes chaleurs est très favorable à la désagrégation des roches. De plus, ainsi que nous l'avons déjà constaté ci-devant, notre explication justifie l'opinion des géologues qui ont reconnu que cette formation est surtout interglaciaire.

Une chose digne de remarque, c'est que les résultats donnés par notre explication, relativement à l'extension approximative de la limite des neiges persistantes dans les Alpes Savoisiennes et les Pyrénées Occidentales, lors de la position perpendiculaire de l'axe, concordent à peu près avec les évaluations que M. Penck a données de cette limite lors de la dernière extension des glaciers : ce géologue a calculé que la limite des neiges a dû descendre en moyenne de 1,200 mètres dans le massif des Alpes et de 1,000

mètres dans celui des Pyrénées, lors de la dernière extension (1). Or, il résulte de notre explication, ainsi qu'on la vu ci-devant, que la limite des neiges descendrait d'environ 1,080 mètres, dans la région alpine voisine de Turin, si l'axe était perpendiculaire. A Toulouse, non loin des Pyrénées, la température moyenne des six mois chauds étant de... + 17° 8 et celle de l'année de..... + 13° 2

Différence..... 4° 6

dont la température estivale diminuerait si l'axe était perpendiculaire, il s'ensuit que la limite des neiges descendrait dans ces parages d'environ 770 mètres.

Prenons maintenant, parmi les faits géologiques antérieurs aux temps quaternaires, un de ceux qui intriguent le plus les naturalistes et voyons si, avec l'aide de notre théorie, nous pourrions en donner une explication plus rationnelle que celle qui est généralement adoptée. Il s'agit des deux observations géologiques, que nous avons citées ci-devant, constatant la présence d'une flore arborescente fossile au Spitzberg, dans les terrains tertiaires et carbonifères. On a dit, sans réfléchir que la limite de la zone où peuvent croître les grands arbres, est déterminée uniquement par la température de l'été, on a dit : puisqu'à l'époque tertiaire, le Spitzberg possédait des arbres qui ne croissent pas maintenant au-delà du 60° parallèle, cela prouve que le climat du Spitzberg était alors au moins aussi clément que celui du 60° l'est aujourd'hui; et puisque la flore carbonifère du Spitzberg comprenait des espèces semblables à celles contenues dans le carbonifère de la zone tempérée, c'est parce que cette région possédait alors un climat analogue à celui

(1) Priem, *La Terre avant l'homme*, p. 442.

de l'Europe centrale. Il y a même des géologues qui ont été plus loin : au moyen de déductions, qui, pour être savantes, n'en sont pas moins très hasardées, ils ont vu, dans la flore carbonifère du Spitzberg, une végétation dont la croissance devait être très rapide et ne subir aucun temps d'arrêt, circonstances dont ils ont conclu que cette contrée possédait alors une température très élevée et très uniforme analogue à celle de l'équateur aujourd'hui, et comme il est reconnu que la flore de l'époque houillère, sans être partout absolument semblable, avait cependant, à toutes les latitudes et sur toute la surface du globe, une certaine analogie, ils ont ajouté que la Terre entière, de l'équateur aux pôles, jouissait alors de la même température élevée et uniforme.

Si on considère qu'à part les fougères arborescentes, les arbres de l'époque carbonifère n'ont plus leurs analogues aujourd'hui, que, par conséquent, nous ne savons rien sur les conditions climatiques que leur organisation pouvait exiger et que cette époque doit être séparée de nous par une immense durée, il semble qu'il serait beaucoup plus simple d'admettre que les plantes primitives étant organisées de manière à pouvoir croître dans des milieux très différents, il n'y avait pas encore de zones de végétation (hypothèse qui est, d'ailleurs justifiée par le fait qu'il existe aujourd'hui, tout comme à l'époque carbonifère, des fougères arborescentes à toutes les latitudes de l'hémisphère austral, depuis l'équateur jusqu'à la zone froide de l'Amérique du Sud (1) ; que s'il n'en est de même de nos jours qu'exceptionnellement, cela doit être attribué tout bonnement, comme le dit M. Priem,

(1) Priem, *La Terre avant l'homme*, p. 132.

à la lutte pour l'existence et à l'évolution qui en découle, et que les indices qui, à première vue, font considérer la flore houillère comme une végétation tropicale dénotent, en réalité, une végétation tropicale et polaire. On a trouvé cette explication trop simpliste et on a préféré en adopter une qu'il est impossible de justifier. En effet, comment expliquer au Spitzberg une température constamment uniforme en même temps qu'élevée lorsqu'on sait que cette contrée possède chaque année une nuit de 4 à 5 mois ? Cette difficulté n'a pas arrêté les amateurs d'idées préconçues. Une fois qu'il a été admis par des savants autorisés qu'il n'y avait pas d'hivers aux pôles à l'époque houillère, on a préféré supprimer ou centupler le Soleil que de renoncer à cette idée. On a dit d'abord qu'une atmosphère épaisse interceptait les rayons solaires et qu'une nuit universelle couvrait la Terre à peine solidifiée, dont la chaleur propre entretenait la végétation. Puis, quelqu'un ayant objecté à cette hypothèse que certaines plantes et certains insectes fossiles de la période houillère n'auraient pu vivre sans lumière, on est tombé dans l'exagération contraire : on a remplacé la nuit universelle par un jour universel. On a vu un Soleil de 47° de diamètre (1) qui, ne se couchant jamais pour les pôles, y aurait entretenu une température très élevée et assez uniforme, sans s'apercevoir que si on obtenait ce résultat aux pôles, on mettrait le feu au reste de la Terre, sans se douter qu'un Soleil de 47° déborderait au-delà de l'orbite de Mercure (que des astronomes sérieux prétendent avoir été fait longtemps avant la Terre avec au moins autant de raison que ceux qui croient qu'il

(1) *Hypothèse de Blandet.*

a été fait après); sans réfléchir que lorsque le Soleil était 94 fois plus grand qu'aujourd'hui, notre globe était dilaté dans la même proportion et n'était pas encore la Terre.

Avec la variation de l'inclinaison de l'axe, nous n'avons pas besoin de toucher au Soleil pour expliquer la présence d'une flore arborescente au Spitzberg aussi bien à l'époque carbonifère qu'à l'époque tertiaire : les arbres tertiaires, nous le savons puisque les mêmes espèces vivent encore aujourd'hui, pouvaient supporter les hivers les plus rigoureux, et comme rien ne nous prouve que l'existence des arbres carbonifères était incompatible avec la gelée, tandis que la répartition des fougères arborescentes nous démontre le contraire, nous devons admettre qu'eux aussi pouvaient résister aux hivers polaires. Eh bien, dès que l'inclinaison de l'axe est assez grande pour donner au Spitzberg des étés aussi chauds qu'ils sont actuellement au 60° parallèle, la flore arborescente qui y existait à l'époque tertiaire peut parfaitement s'y installer de nouveau et y croître, quelle que soit la rigueur des hivers, puisqu'elle prospère à Saint-Pétersbourg où les hivers sont loin d'être cléments. Et puisque cette même flore se trouve aujourd'hui dans l'Europe centrale aussi bien qu'à Saint-Pétersbourg, nous ne voyons aucun motif pour s'étonner de ce qu'à l'époque houillère, des plantes qui croissaient dans la zone tempérée et même à l'équateur prospéraient en même temps dans la zone froide.

Il est très probable que dans l'état de choses actuel, lorsqu'arrive la période de grande inclinaison de l'axe, il y a des espèces, autres que les fougères arborescentes, qui croissent à toutes les latitudes, et quant à celles qui ne peuvent supporter la gelée, nous voyons

par ce qui se passe sous nos yeux dans les contrées polaires ce qu'elles peuvent devenir. Puisque la nature convertit en herbe les bouleaux, les saules, etc., lorsque la température de l'été n'est plus assez élevée pour permettre leur existence (1), nous ne pouvons lui refuser la faculté de produire la même métamorphose sur les arbres craignant la gelée, lorsque l'accroissement des hivers s'oppose à leur croissance dans la zone équatoriale. Si l'évolution continue du règne végétal avait besoin d'être expliquée, elle le serait clairement par la variation de l'inclinaison de l'axe, car il est facile de comprendre qu'à chaque période de grande inclinaison il doit y avoir des espèces qui succombent totalement tandis que de nouvelles surgissent et que d'autres modifient quelques-uns de leurs caractères.

Comment se fait-il que les savants qui se sont occupés du problème glaciaire n'aient pas invoqué, pour le résoudre, un mouvement astronomique qui rend compte avec tant de précision de tous les phénomènes anciens, récents ou actuels, et dont l'existence est constatée dans tous les traités d'astronomie?

Il est probable que cette solution a été envisagée par la plupart et il est certain que plusieurs d'entre eux y ont fait allusion dans leurs ouvrages (circonstance que nous affirmons n'avoir connue que longtemps après nous être aperçu que la variation de l'obliquité expliquait réellement tous les faits observés); mais les naturalistes ne sont pas toujours astronomes. Cela est si vrai que souvent ils n'ont pas su discerner la variation de l'inclinaison de l'axe du déplacement de l'axe, et comme leurs observations

(1) Hayes, *La Mer libre du pôle nord*, p. 488.

elles-mêmes démontraient la stabilité des pôles, ils ont cru que l'axe ne se déplaçant pas au sein de la Terre, son inclinaison sur l'orbite ne pouvait varier. M. de Saporta, et il n'est pas le seul, ne savait même pas que cette variation, qu'il considérait comme mécaniquement impossible, était cependant observée depuis plus de trois mille ans. Quant à ceux qui avaient connaissance de cette particularité, nous verrons bientôt pourquoi ils ne s'y sont pas arrêtés.

### III

La variation de l'inclinaison de l'axe ne provient pas d'un déplacement de l'écliptique, mais d'un mouvement de la Terre sur elle-même (1) et il n'y a aucune raison pour supposer que ce mouvement soit un balancement, tandis que tout tend à démontrer que c'est une rotation continue.

Ainsi que nous l'avons dit dans le chapitre précédent, la variation de l'inclinaison de l'axe existe et personne ne le conteste; elle est connue depuis 3,000 ans par des observations successives faites dans différents pays, dont quelques-unes ont été présentées et commentées en ces termes par M. Faye, dans son *Cours d'astronomie*, vol. 2, p. 95 :

« Quant à l'obliquité de l'écliptique, sa variation a  
« été déterminée au dernier siècle par des observa-  
« tions faites au gnomon avec une précision suffisante  
« pour mettre en évidence des changements 24 fois

(1) Flammarion, *Astronomie populaire* p. 57 et *Les Terres du ciel* p. 265.

« moindres que ceux du périhélie. Voici quelques-unes de ces mesures que Laplace a fait recalculer avec soin :

DATES	OBSERVATEURS	OBLIQUITÉ observée	OBLIQUITÉ calculée
1100 avant J.-C.	Tchéou King en Chine	23° 52' 0"	23° 51' 8"
1000 après J.-C.	Ben Jounis en Egypte	23° 34' 36"	23° 34' 20"
1280 »	Cochéou King en Chine	23° 32' 2"	23° 32' 6"
1437 »	Ouloug Bey à Samarcande	23° 31' 48"	23° 30' 50"
1750 »	Bradley à Greenwich	23° 28' 18"	23° 28' 20"
1850 »	Observatoire de Paris	23° 27' 32"	23° 27' 32"

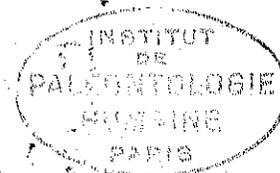
« La dernière colonne a été calculée en prenant pour point de départ l'obliquité mesurée en 1850 et en supposant la variation de 48" par siècle. On voit avec quelle précision les observations les plus anciennes sont représentées. Il y a ici deux conséquences à tirer : 1° les observations faites au gnomon avaient un caractère bien remarquable d'exactitude ; 2° l'obliquité de l'écliptique décroît bien réellement de 48" par siècle. »

Depuis quelques années, l'annuaire du bureau des longitudes compte la diminution de l'obliquité de 46" au lieu de 48"; c'est le chiffre qui résulte de la comparaison des deux dernières observations faites à un siècle d'intervalle. Il n'est pas certain que ce nouveau chiffre, que M. Faye connaissait et auquel il a peut-être eu raison de préférer l'ancien, soit d'une exactitude absolue, mais comme il est déduit des observations contemporaines, il est possible qu'il soit plus près de la vérité que celui de 48" (1). Cela n'implique

(1) On verra plus loin que Delambre, en se basant sur les observations de l'observatoire de Paris de 1750 et de 1800, trouvait la diminution de l'obliquité de 47" 50.

aucun changement sensible dans les résultats de la comparaison de M. Faye, si ce n'est que la plus ancienne observation serait erronée de 2 minutes au lieu d'une et que les autres le seraient de quelques secondes de plus. Nous tirerons de cette concordance presque parfaite, une conclusion très importante au point de vue qui nous occupe, c'est que, contrairement à ce que paraissent croire quelques astronomes qui appellent la variation de l'obliquité *mouvement progressif*, la valeur de ce mouvement est constante. En effet, si on compare le résultat de la première observation avec l'obliquité actuelle, on trouve que la diminution a été de 49" 70 par siècle, depuis l'an 1100 avant J.-C. ; si on se base sur la deuxième, on trouve absolument le même chiffre depuis l'an 1000 après J.-C. ; si on se base sur la troisième, on trouve 47" 30 ; sur la quatrième, 62" et sur la cinquième 46". En considérant les allures de ces petites différences, il est impossible d'y voir autre chose que le résultat de légères erreurs bien excusables de la part des anciens observateurs qui n'avaient pas à leur disposition les moyens précis, les méthodes savantes que l'on possède aujourd'hui, qui ne connaissaient pas la petite oscillation périodique de l'obliquité, et il faut plutôt s'étonner que leurs erreurs n'aient pas été plus considérables.

Si quelqu'un objectait à notre conclusion qu'en prenant rigoureusement les observations telles qu'elles sont, la diminution de l'obliquité était plus forte autrefois que maintenant de trois secondes par siècle, nous répondrions que cette objection n'est pas plus fondée en prenant les observations anciennes au pied de la lettre qu'en mettant au compte d'erreurs inévitables les petites différences qui existent, puisque les deux



premières observations faites à vingt et un siècles d'intervalle donnent absolument le même résultat et que celle de l'année 1437 donne un chiffre supérieur à ce résultat tandis que celle de l'an 1280 donne au contraire un chiffre inférieur.

Voici pourquoi nous insistons sur le caractère d'invariabilité de la diminution de l'obliquité. Si aujourd'hui ce mouvement n'est plus contesté par personne, il n'en est pas de même de sa continuité qui, admise autrefois par beaucoup d'astronomes, est niée par le plus grand nombre depuis que Laplace a accordé à la doctrine de la limitation le poids de son autorité. Or, du moment où il est reconnu que la valeur de la diminution de l'obliquité est constante, cette théorie tombe d'elle-même et il n'y a aucune raison, tant compliquée, tant incompréhensible soit-elle, qui puisse la justifier ; car si ce mouvement consistait en une oscillation périodique, sa vitesse ne serait pas restée la même pendant trois mille ans, elle se serait accélérée ou ralentie d'une manière sensible. Nous avons à l'appui de ce raisonnement, qui n'est pas contestable du reste, un exemple qui démontre son exactitude jusqu'à l'évidence ; c'est le mouvement de la *nutaton de l'axe* qui n'est pas autre chose qu'une variation (périodique celle-ci) de l'inclinaison de l'axe, dont l'amplitude est de neuf ans pour la diminution et de neuf ans pour l'augmentation, de telle sorte que l'obliquité revient à sa valeur normale deux fois en 18 ans deux tiers. Eh bien, en supposant que l'oscillation se trouve aujourd'hui au point extrême de la diminution et qu'elle s'opère ensuite dans le sens de l'augmentation, cette augmentation, d'abord nulle, restera peu sensible à l'observation pendant près d'un an ; la deuxième année, elle sera

plus sensible ; la troisième, elle sera plus forte, la quatrième, encore plus forte ; la cinquième, elle restera à peu près stationnaire ; la sixième elle sera moins forte ; la septième encore moins forte ; la huitième, moins forte ; la neuvième peu sensible, puis nulle ; la dixième, l'obliquité diminuera insensiblement ; la onzième, la diminution sera plus sensible et ainsi de suite, de manière que la vitesse du mouvement n'est jamais la même pendant deux ans consécutifs.

Si nous avons affaire à un adversaire ordinaire, nous pourrions, après cette démonstration, considérer notre tâche comme accomplie et passer à la conclusion de notre découverte, mais nous sommes en présence d'un préjugé scientifique datant de plus d'un siècle, préjugé adopté par les plus grands mathématiciens, et nous ne devons négliger aucun des moyens que nous possédons pour le combattre. Nous avons heureusement à notre disposition des arguments aussi nombreux que probants et, quelle que puisse être la puissance de la chose jugée, nous avons lieu d'espérer qu'en présence de l'évidence des faits, on reconnaîtra une fois de plus que personne n'est infailible, pas même lorsqu'on s'appelle Laplace. Ce savant n'a pas été le premier auteur de l'erreur que nous relevons, mais comme c'est surtout sur son autorité qu'elle repose aujourd'hui et qu'elle n'a même pas d'autre fondement, c'est à lui que nous nous attaquerons tout d'abord. Voici donc en quels termes il a prétendu limiter ce qu'il a appelé *la diminution de l'obliquité de l'écliptique* :

(Mécanique céleste, vol. 6, p. 214). « Si les planètes « n'obéissaient qu'à l'action du Soleil, elles décriraient « des orbites elliptiques, mais elles agissent les unes « sur les autres, elles agissent également sur le Soleil,

« et de ces attractions diverses il résulte dans leurs  
« mouvements elliptiques, des perturbations que les  
« observations font entrevoir et qu'il est nécessaire de  
« déterminer pour avoir des tables exactes des mou-  
« vements planétaires. La constance des moyens  
« mouvements des planètes et des grands axes de  
« leurs orbites est un des phénomènes les plus  
« remarquables du système du monde. Tous les  
« autres éléments des ellipses planétaires sont  
« variables ; ces ellipses s'approchent ou s'éloignent  
« insensiblement de la forme circulaire ; leurs incli-  
« naisons sur un plan fixe et sur l'écliptique augmen-  
« tent ou diminuent leurs périhélies et leurs nœuds  
« sont en mouvement. Ces variations produites par  
« l'action mutuelle des planètes s'exécutent avec tant  
« de lenteur que pendant plusieurs siècles elles sont  
« à peu près proportionnelles aux temps. Déjà les  
« observations les ont fait apercevoir : On a vu dans  
« le Livre premier que le périhélie de l'orbe terrestre  
« a présentement un mouvement annuel de 36" (déci-  
« males) et que la diminution séculaire de l'inclinaison  
« de cet orbe à l'équateur est de 148" (décimales).  
« Euler a développé le premier la cause de cette  
« diminution que toutes les planètes contribuent à  
« produire. . . . .  
« Ici se présentent plusieurs questions intéressantes.

« La diminution de l'obliquité de l'écliptique conti-  
« nuera-t-elle au point de faire concorder l'écliptique  
« avec l'équateur, ce qui produirait l'égalité constante  
« des jours et des nuits par toute la Terre ? L'analyse  
« répond à cette question d'une manière satisfaisante.  
« Je suis parvenu à démontrer que quelles que soient  
« les masses des planètes, par cela seul qu'elles se

« meuvent toutes dans le même sens et dans des orbés  
« peu inclinés les uns aux autres, leurs inégalités  
« séculaires sont périodiques et renfermées dans  
« d'étroites limites, en sorte que le système planétaire  
« ne fait qu'osciller autour d'un état moyen dont il  
« ne s'écarte jamais que d'une petite quantité.

« L'écliptique ne coïncidera jamais avec l'équateur  
« et l'étendue entière des variations de son inclinaison  
« ne pourra pas excéder 3° (Laplace s'exprimait tou-  
« jours en degrés décimaux dont 3 valent 2°42' sexa-  
« gésimales) ».

On lit dans le même ouvrage (vol. 1<sup>er</sup>, p. 336) :

« Puisque l'orbite est supposée peu inclinée au plan  
« fixe, son inclinaison sur ce plan sera toujours peu  
« considérable, d'où il suit que le système des orbites  
« est aussi stable relativement à leurs inclinaisons  
« que par rapport à leurs excentricités.

« On peut donc considérer les orbites comme des  
« quantités variables comprises entre des limites  
« déterminées ».

En résumé, Laplace dit ceci :

1° L'écliptique est inclinée sur l'équateur (autrement  
dit sur l'axe, puisque l'équateur n'est pas autre chose  
qu'un cercle perpendiculaire à la ligne des pôles),  
mais elle s'en rapproche actuellement en pivotant sur  
lui.

2° Ce mouvement déplace l'inclinaison de l'éclip-  
tique relativement à l'ensemble des autres orbites pla-  
nétaïres et relativement à un plan fixe.

3° C'est ce déplacement de l'écliptique qui cause la  
diminution de l'obliquité en rapprochant l'écliptique  
de l'équateur.

4° Ce mouvement est produit par les actions com-  
binées de toutes les autres planètes.

5° Il ne saurait être continu parce que les orbites planétaires étant toutes peu inclinées les unes aux autres, elles ne doivent pas s'écarter beaucoup de cet état.

6° Le déplacement de l'écliptique et la diminution de l'obliquité qui en résulte ne pourront excéder  $2^{\circ} 42'$ .

La théorie de Laplace est inexacte à un double point de vue car non seulement ce n'est pas l'écliptique qui se rapproche de l'équateur, mais encore l'inclinaison de l'écliptique par rapport aux autres orbites planétaires est invariable. Cette double erreur a pour première origine ces trois mots : *obliquité de l'écliptique*. Avant Copernic, on faisait tourner le Soleil autour de la Terre et on était très conséquent avec ce faux principe en appelant obliquité de l'écliptique l'angle que la prétendue orbite du Soleil faisait avec l'équateur. En établissant le vrai système de l'univers, Copernic a bien démontré que cet angle provenait de l'inclinaison de l'axe de la Terre sur son orbite et qu'il devait s'appeler obliquité de l'axe ou obliquité de l'équateur et non obliquité de l'écliptique ; mais l'ancien usage a prévalu, le mot a survécu à la chose et les grands mathématiciens des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, trompés par cette fausse expression, ont couché sur le papier sans s'inquiéter de la nature des choses qu'elles représentent, deux lignes géométriques qui, se croisant, sont nécessairement obliques toutes les deux l'une par rapport à l'autre, et ils ont fait des efforts prodigieux, ils ont rempli des chapitres entiers de chiffres et de signes algébriques pour limiter une diminution de l'obliquité de l'écliptique par rapport à l'équateur, qui est au contraire une diminution de l'obliquité de l'équateur relativement à l'écliptique, et pour limiter un déplacement de l'inclinaison de l'écliptique par rapport aux autres orbites qui n'a jamais existé.

En quoi consistent, en effet, les observations anciennes et modernes que nous venons de citer et qui constatent une diminution constante de l'obliquité? Indiquent-elles le plus ou moins d'inclinaison de l'orbite apparente du Soleil par rapport à l'orbite d'une planète quelconque? Non. Indiquent-elles le plus ou moins d'inclinaison de l'écliptique par rapport à un plan conventionnel quelconque passant par telles et telles étoiles supposées fixes à tort ou à raison? Pas davantage. Que signifient-elles donc, comment ont-elles été obtenues? Pour les obtenir, on a mesuré la hauteur plus ou moins grande à laquelle parvenait le Soleil au-dessus de l'horizon mathématique d'un lieu donné, lors des solstices, ou bien sa distance plus ou moins grande du zénith, ce qui est tout un, et on en a déduit ensuite la quantité plus ou moins grande dont le même astre s'écartait de l'équateur aux mêmes époques. Or, quelle est la cause de ces écarts, pourquoi le Soleil ne parvient-il pas tous les jours de l'année à la même hauteur au-dessus de l'horizon? Est-ce parce que l'orbite de la Terre est inclinée sur celles des autres planètes ou sur un plan fixe de convention? Nullement, c'est parce que l'axe, c'est parce que l'équateur est incliné sur l'écliptique, et si l'axe était perpendiculaire, le Soleil serait toujours dans le plan de l'équateur, quelle que pût être l'inclinaison de l'écliptique sur les autres orbites. Donc les écarts dont nous parlons indiquent l'inclinaison, l'obliquité de l'axe, ils en sont le résultat, et par conséquent leur variation ne peut provenir que de la modification de cette inclinaison.

Ce sont là des vérités si simples que leur énonciation devrait tenir lieu de démonstration et si nous demandions de vive voix à un astronome si c'est l'axe

qui est incliné sur l'écliptique ou l'écliptique sur l'axe, il nous tournerait le dos. Ce qui n'empêche pas que si nous consultons les ouvrages qui s'occupent de la variation de l'obliquité, nous y constatons, à peu d'exceptions près, l'adoption plus ou moins explicite de la théorie de Laplace, c'est-à-dire que l'écliptique est inclinée sur l'équateur, que l'obliquité de l'écliptique diminue, que si ce mouvement continuait indéfiniment, l'écliptique passerait par toutes les inclinaisons relativement aux autres orbites, qu'il n'est pas admissible que cela puisse être puisque toutes les orbites des grosses planètes sont rassemblées dans un espace de quelques degrés et que, par conséquent, *la diminution de l'obliquité de l'écliptique* doit être limitée.

En réalité, il suffit d'ouvrir les yeux pour se convaincre que cette théorie n'a aucune raison d'être, mais passons : voici un fait, dont personne ne pourra contester la parfaite analogie avec le cas qui nous occupe, démontrant péremptoirement que les inclinaisons respectives des orbites planétaires sont stables et que les perturbations plus ou moins insensibles en latitude que les planètes subissent continuellement de la part les unes des autres ne s'additionnent nullement dans le même sens ni pendant un siècle, ni pendant 21,000 ans comme le croyait Laplace, ni pendant 78,000 ans comme le prétendent d'autres astronomes. On lit, en effet, dans la *Mécanique céleste* de Laplace, vol. 6, p. 25 :

« L'orbite de la Lune est inclinée de  $5^{\circ} 7' 185''$  (décimales) à l'écliptique, mais cette inclinaison est variable; sa plus grande inégalité qui s'élève à  $0^{\circ} 16' 27''$  dans son maximum est proportionnelle au cosinus du même angle dont dépend l'inégalité du mouve-

« ment des nœuds, mais *l'inclinaison moyenne paraît*  
« *constante* dans les différents siècles malgré les varia-  
« tions séculaires du plan de l'écliptique. »  
(Page 245 du même volume) « L'action moyenne  
« du Soleil sur la Lune dépend encore de l'inclinaison  
« de l'orbite lunaire à l'écliptique et l'on pourrait  
« croire que la position de l'écliptique étant variable,  
« il doit en résulter dans le mouvement de ce satellite  
« des inégalités séculaires semblables à celles qu'y  
« produit l'excentricité de l'orbite terrestre. Mais j'ai  
« reconnu par l'analyse que *l'orbite lunaire est ramenée*  
« *sans cesse par l'action du Soleil à la même inclinaison*  
« *sur celui de la Terre*, en sorte que les plus  
« grandes et les plus petites déclinaisons de la Lune  
« sont assujetties, en vertu des variations séculaires  
« de l'obliquité de l'écliptique, aux mêmes changements  
« que les déclinaisons semblables du Soleil.  
« Cette constance dans l'inclinaison de l'orbite lunaire  
« est confirmée par toutes les observations anciennes  
« et modernes. »

La vérité est tout simplement que c'est la variation de la direction de l'attraction solaire sur la Lune qui la dérange de côté et d'autre de son orbite normale qu'elle suivrait exactement et à laquelle elle n'aurait pas besoin d'être ramenée si le Soleil n'existait pas, tout comme c'est la variation de la direction de l'attraction des planètes et de la Lune qui produit un effet analogue sur l'écliptique, mais quel que soit le mécanisme de cette particularité, il n'en est pas moins vrai que l'inclinaison de l'orbite lunaire, qui subit des perturbations continues, est cependant constante en moyenne, c'est-à-dire que ces perturbations ne s'additionnent nullement et que l'orbite lunaire revient en très peu de temps (tous les 173 jours) à sa position normale.

C'est Laplace lui-même qui nous apprend cette constance de l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique. Les observations ne permettent pas de la mettre en doute, mais on comprend que ce savant, croyant à une variation à longue période de l'inclinaison de l'écliptique par rapport aux autres orbites, pouvait supposer que l'inclinaison de l'orbite de notre satellite sur l'écliptique devait être affectée d'une variation analogue. Aussi, il a soumis l'observation au contrôle de l'analyse et cette fois l'analyse a été d'accord avec l'observation. Il semble que cette circonstance aurait dû lui inspirer des doutes relativement à la justesse de sa théorie sur le déplacement séculaire de l'écliptique et sur son rapport avec la diminution de l'obliquité. Il aurait dû se dire que la loi de l'attraction universelle devait être la même pour l'orbite de la Terre que pour celle de la Lune et soumettre, pour la Terre, l'analyse au contrôle de l'observation comme il avait soumis pour la Lune, l'observation au contrôle de l'analyse et cela avec d'autant plus de raison qu'il devait trouver très singulier que l'analyse lui donnât des résultats diamétralement opposés dans des circonstances tout à fait analogues; il aurait dû se dire que les perturbations qui peuvent être causées sur l'orbite terrestre par la variation de la direction des attractions planétaires ne doivent pas plus s'additionner que celles qui sont causées sur l'orbite de la Lune par la variation de la direction de l'attraction solaire, que la Terre, comme la Lune, doit toujours tendre à reprendre son orbite moyenne et que les perturbations qu'elle subit n'ont pas d'autre conséquence que de lui faire suivre une ligne sinueuse tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, de la ligne plane et régulière qu'elle suivrait si elle était seule en face du Soleil.

Cette réflexion si naturelle et si rationnelle est suffisante pour faire comprendre que *les actions mutuelles des planètes* ne sont nullement de nature à produire sur leurs orbites un déplacement continu, mais Laplace ne s'y est pas arrêté : il était écrit que *l'écliptique était oblique*, que *l'obliquité de l'écliptique* diminuait, la lettre d'une expression, qui n'a pas le sens commun depuis Copernic, a eu plus d'empire sur son esprit qu'un raisonnement judicieux basé sur l'analogie et il n'a pas hésité à admettre que *variation de l'obliquité de l'écliptique* signifiait *déplacement de l'écliptique dans l'espace et vice-versa*.

Nous pensons bien que personne ne prétendra que les perturbations produites par le Soleil sur l'orbite lunaire puissent être d'une nature différente de celles qu'on suppose produites sur l'orbite terrestre par les planètes ; mais lors même que cette objection se présenterait, elle ne serait guère embarrassante car la constance de l'inclinaison de l'orbite lunaire n'en étant pas moins un fait acquis, nous dirions : si les variations des attractions des planètes produisent sur l'écliptique des perturbations qui peuvent s'additionner, pourquoi n'en produisent-elles pas de même nature sur l'orbite de la Lune ? La distance moyenne de notre satellite aux planètes est la même que celle de la Terre, il est aussi bien soumis que notre globe à leurs influences, qui doivent même être plus considérables sur la Lune puisqu'elle est beaucoup moins lourde que la Terre, et cependant, malgré les perturbations qu'elle peut subir de ce chef, l'inclinaison de l'orbite lunaire reste la même normalement.

Donc, la Terre étant le satellite du Soleil au même titre que la Lune est le sien et les lois de l'attraction étant les mêmes pour tous les astres de notre système,

il n'est pas admissible que les perturbations planétaires puissent produire sur l'orbite terrestre un effet différent de celui qu'elles produisent sur l'orbite de la Lune et si l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'orbite terrestre est constante, celle de l'écliptique sur l'orbite solaire (inconnu sans doute mais qui n'en existe pas moins) doit l'être aussi ; si l'inclinaison de l'écliptique sur l'orbite solaire est constante, il est évident que celles des autres orbites le sont également et par conséquent, leurs inclinaisons respectives sont invariables.

Laplace, qui n'a pas songé à s'assurer, ni par l'analogie, ni par l'observation, si le déplacement de l'orbite qu'il jugeait à propos de limiter existait réellement, n'a pas cherché davantage à s'assurer si, ce déplacement existant, il pourrait causer une variation de l'inclinaison de l'axe, inclinaison dont, du reste, il ne parle pas plus qu'on en parlait avant Copernic ; il n'a rien vu autre chose que deux lignes géométriques, dont l'une paraît droite et l'autre oblique uniquement parce qu'il nous plaît de rapporter celle-ci à celle-là, et il a fait mouvoir arbitrairement celle qui lui a paru oblique comme il aurait fait pour l'une des branches d'un compas, sans se demander si les faits étaient d'accord avec sa manière d'opérer et sans en citer aucun qui pût lui donner une apparence d'exactitude. Cependant, en voici un qui démontre que lors même que l'écliptique aurait un mouvement giratoire à longue durée (1), ce mouvement ne causerait aucun changement dans la valeur

(1) Il est probable que l'écliptique est affectée d'une rétrogradation de ses nœuds sur l'orbite propre du Soleil et il doit résulter de ce mouvement, dont nous parlerons plus loin, une variation à longue période de l'inclinaison de l'écliptique sur

de l'obliquité, et ce fait, il lui eût été bien facile de le constater par lui-même :

Ainsi qu'on vient de le voir, l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique varie de  $5^{\circ} 0' 1''$  à  $5^{\circ} 17' 35''$  (sexagésimales) dans l'espace de 173 jours. Or, s'il était vrai qu'un déplacement de l'orbite terrestre fût la cause de la diminution de l'inclinaison de l'axe de la Terre, de la diminution de l'obliquité, il est évident que cette perturbation de l'orbite lunaire modifierait également l'inclinaison de l'axe de la Lune, c'est-à-dire l'angle que l'axe de la Lune, ou son équateur fait avec son orbite. Eh bien, cette modification n'existe pas et celui qui nous l'apprend est Delaunay, astronome des plus distingués, qui fut directeur de l'observatoire national.

On lit, en effet, à la page 404 de son traité d'astronomie :

« L'observation a fait voir que la direction de l'axe de rotation de la Lune change en même temps que celle du plan de son orbite de telle manière que *l'angle formé par l'axe et le plan reste toujours le même* ».

Est-ce assez concluant ? A qui fera-t-on croire que si les perturbations en latitude de l'orbite de la Lune ne changent pas l'obliquité existant entre son axe et son orbite, il puisse en être autrement de celles dont l'écliptique est affectée ?

En vérité, nous ne voyons guère ce que l'on pourrait objecter aux deux arguments que vient de nous

l'équateur solaire, mais ce mouvement ne peut pas plus modifier les inclinaisons respectives des orbites planétaires que l'obliquité de l'axe, et nous voulons parler ici du pseudo-mouvement par lequel Laplace a remplacé la variation de l'inclinaison de l'axe,

fournir l'analogie, mais on peut s'attendre à tout quand on voit Laplace se donner la peine d'expliquer la constance de l'inclinaison de l'orbite lunaire par le fait que l'action du Soleil la ramène sans cesse à sa valeur normale et que l'on sait que c'est précisément l'action du Soleil qui produit son unique perturbation en latitude tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, tantôt sur un point, tantôt sur un autre, exactement comme le feraient les actions des planètes sur l'inclinaison de l'écliptique relativement à un plan fixe si elles étaient sensibles. Heureusement, nous avons à notre disposition deux autres arguments du même ordre qui, au lieu d'être tirés d'une analogie, nous sont fournis directement par la théorie et l'observation des mouvements de la Terre elle-même. Il s'agit de la perturbation produite par la Lune sur la position de l'écliptique, perturbation analogue à celle produite par le Soleil sur l'orbite de la Lune et s'opérant du minimum au maximum tantôt sur un point, tantôt sur un autre, de chaque côté de l'écliptique, dans le même laps de temps. La voici, telle qu'elle a été développée théoriquement par d'Alembert dans son ouvrage intitulé : *Recherches sur la précession des équinoxes*, p. 177 :

« Comme la Lune ne se meut pas exactement dans le plan de l'écliptique, il est évident que l'action de cette planète sur la Terre doit tantôt élever, tantôt abaisser la Terre par rapport à ce plan et que, par conséquent, l'orbite terrestre, ou, ce qui revient au même, l'orbite apparente du Soleil n'est pas rigoureusement plane, de manière que le Soleil peut avoir quelque variation apparente plus ou moins sensible en latitude, en s'approchant et en s'éloignant alternativement de certaines étoiles. . . . .  
« La variation apparente du Soleil en latitude doit

« être d'environ 30 secondes, savoir 15 secondes vers le midi trois mois après (1) que la Lune (2) a passé par son nœud ascendant et 15 secondes vers le nord trois mois après qu'elle a passé par son nœud descendant. »

De cette théorie, certainement conforme à l'observation, sauf en ce qui concerne les chiffres que d'Alembert a donnés comme approximatifs, nous tirerons deux conséquences :

1° La perturbation de l'écliptique causée par la Lune ne change pas l'obliquité de l'axe de la Terre, c'est-à-dire l'angle existant entre l'équateur et l'écliptique, puisque cet angle n'a pas d'autre variation que celle de 19 secondes en 18 ans, appelée la nutation, et celle, continue, de 46" par siècle, appelée diminution de l'obliquité de l'écliptique.

2° Si cette perturbation peut changer de 15 secondes, à un moment donné, l'inclinaison normale de l'orbite terrestre relativement à une autre orbite, ce changement est momentané et il ne s'additionne pas puisque s'il s'additionnait, il produirait en quelques années une variation très sensible dans les inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique tandis qu'il résulte des observations que ces inclinaisons sont aussi stables normalement que celle de l'orbite lunaire.

Et maintenant, sur quelles raisons pourrait-on se fonder pour prétendre que si les perturbations en latitude produites sur l'écliptique par la Lune, perturbations sensibles, perturbations observées, ne changent pas l'obliquité de l'axe, il en est autrement des

(1) Ce n'est pas trois mois, mais 86 jours et demi.

(2) D'Alembert a voulu dire : trois mois après que le Soleil a passé par le nœud de la Lune,

perturbations théoriques, des perturbations insensibles causées par les actions des planètes? On serait bien embarrassé pour justifier une semblable théorie, mais on verra plus loin qu'il n'est pas difficile, en gardant le silence sur la perturbation considérable produite par la Lune (1), de figurer sur le papier les perturbations hypothétiques des planètes par des chiffres d'autant plus indiscutables dans l'esprit de leurs auteurs que, quelles que soient leurs divergences, soit d'un opérateur à un autre, soit même de la part du même opérateur dans plusieurs opérations faites à quelque temps d'intervalle, le produit de chaque opération est toujours conforme à la quantité dont l'obliquité a diminué ou dont on croit qu'elle a diminué. En définitive, on prétend réellement, quelque extraordinaire que cela puisse paraître, que les perturbations observées ne s'additionnent pas, mais que les perturbations infinitésimales, que le calcul seul peut déterminer, sont au contraire très additionnables. On pourrait, sans exagération, taxer d'excessive une pareille prétention et se dispenser d'y répondre autrement avec d'autant plus de raison que les déplacements de l'écliptique n'ont aucun rapport avec la variation de l'obliquité; mais, puisque nous le pouvons, nous préférons montrer tout de suite que, même en additionnant toutes les perturbations théoriques produites par les planètes sur la latitude de l'écliptique, on serait loin d'arriver à en tirer les 46 secondes par siècle dont l'obliquité de l'axe varie et dont on prétend que l'inclinaison de l'écliptique se déplace

(1) Laplace devait avoir l'habitude de négliger les satellites dans l'établissement de ses théories puisque d'après Poinsoy (Elément de statique, 8<sup>e</sup> édition), il n'en a pas tenu compte pour déterminer la position de son *plan fixe*.

relativement à l'ensemble des autres orbites planétaires.

La comparaison des marées produites sur l'océan par la Lune et par le Soleil a fait connaître que les perturbations mutuelles des astres sont proportionnelles à leurs masses et aux cubes de leurs distances (1). C'est une vérité connue depuis Newton, mais comme nous avons des raisons pour croire qu'on l'a perdue de vue dans les calculs auxquels nous venons de faire allusion, en voici la démonstration : sachant par l'observation que la marée solaire est à la marée lunaire comme 1 : 2,05, voyons si, par un calcul basé sur ce principe, nous obtiendrons le même résultat. Quelle est, en un mot, la marée que doit produire la Lune, celle du Soleil étant supposée 1 ?

Le Soleil étant 375 fois environ plus éloigné de la Terre que la Lune, l'effet de cette dernière est, de ce chef, 375<sup>3</sup> fois plus considérable que celui du Soleil; mais la masse de la Lune étant environ 25.800.000 fois moindre que celle du Soleil, l'action lunaire est, de ce second chef, 25.800.000 fois moins considérable que l'action solaire soit :

$$\frac{375 \times 375 \times 375}{25.800.000} = 2,05.$$

Si on ne trouve pas cette preuve suffisante parce qu'elle s'applique à une division de la perturbation produite par la Lune, en voici une autre qui s'applique à la perturbation tout entière dans le sens de la latitude :

On sait par l'observation que l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique varie, par suite de l'action perturbatrice du Soleil de 5° 0' 1" à 5° 17' 35", soit en

(1) Il est bien entendu que nous parlons ici des perturbations et pas d'autre chose.

tout de 1,054 secondes. Ce chiffre comprend deux perturbations, l'une vers le nord, l'autre vers le midi, et, par conséquent, chaque perturbation maxima est de 527 secondes. Donc, sachant que la perturbation maxima produite par le Soleil sur l'orbite lunaire est de 527 secondes, quelle est celle du même ordre que doit produire la Lune sur l'écliptique?

La distance moyenne du Soleil à la Lune et du Soleil à la Terre étant la même, et supposant que la masse de la Terre est égale à celle de la Lune, nous dirons : si l'action du Soleil sur la Lune produit 527", celle de la Lune sur la Terre doit produire, d'un côté, 375<sup>3</sup> fois plus parce qu'elle est 375 fois plus près de la Terre et, d'un autre côté, elle doit produire 25.800.000 fois moins parce que sa masse est 25.800.000 fois moindre que celle du Soleil, soit :

$$\frac{527 \times 375 \times 375 \times 375}{25.800.000} = 1.077''$$

Mais la masse de la Terre que nous avons supposée égale à celle de la Lune, pour la clarté du problème, étant 77 fois plus considérable, la perturbation doit être 77 fois moins forte, soit :

$$\frac{1.077''}{77} = 14''$$

Ce chiffre diffère d'une seconde de celui de d'Alembert que nous avons cité ci-devant ; mais, ainsi que ce savant l'a avoué, il ne pouvait donner qu'une approximation parce qu'il ne connaissait pas exactement les éléments des trois corps (1) et personne ne prétendra que son calcul puisse avoir eu pour base un principe différent de celui que nous avons employé, qu'il

(1) Du reste, notre opération n'est pas non plus d'une exactitude absolue puisque nous avons employé des nombres arrondis,

puisse avoir admis, par exemple, que les perturbations sont proportionnelles aux carrés des distances.

Ceci étant acquis, du moment que l'on connaît la perturbation maxima produite par la Lune sur l'écliptique, il est aussi facile d'en déduire les perturbations insensibles que doivent produire les planètes sur la position de la même ligne qu'il le serait de calculer les marées non moins insensibles qu'elles causent sur l'océan.

Il nous est impossible de comprendre comment, dans la pratique, les mathématiciens peuvent concevoir l'addition des perturbations produites sur la position de l'écliptique par les attractions planétaires car elles sont de tous les instants et s'opèrent successivement sur tous les points de l'orbite, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, du minimum au maximum, de telle sorte que lorsque la Terre est attirée dans un sens par une planète, elle l'est souvent par une autre dans le sens diamétralement opposé ; mais nous comprenons très bien comment cette addition peut se faire sur le papier : on peut, par exemple, additionner tous les maximums annuels, soit qu'ils se produisent sur un des points où l'écliptique croise la ligne à laquelle on la rapporte et sur laquelle on la fait pivoter, cas dans lesquels il n'y a aucun changement dans leur inclinaison respective, soit qu'ils aient lieu sur les points où les deux lignes sont le plus éloignées, seuls points sur lesquels cette inclinaison est réellement affectée par les perturbations. Prenons donc pour type Vénus qui est la planète dont l'effet doit être le plus considérable sur la Terre et voyons quelle est la quantité maxima dont elle peut la déplacer en moyenne dans le sens de la latitude :

Nous savons que la masse de la Terre étant

supposée de 1,000, celle de Vénus est de 780 et celle de la Lune de 13. Nous savons que la distance moyenne de Vénus à la Terre est la même que celle du Soleil, c'est-à-dire 375 fois environ celle de la Lune à la Terre. Nous venons de montrer par la vérification de la théorie de d'Alembert que la perturbation maxima produite sur l'écliptique par la Lune ne s'éloigne guère de 15 secondes; mais l'inclinaison de l'orbite de Vénus sur l'écliptique étant de  $3^{\circ} \frac{1}{3}$  tandis que celle de l'orbite lunaire est de  $5^{\circ}$ , cette circonstance peut diminuer un peu l'action proportionnelle de Vénus dans le sens de la latitude. Nous supposerons donc que l'action de la Lune est de 10 secondes et nous dirons :

Si une masse de 13 produit une perturbation de 10 secondes, une masse de 780 produira  $\frac{10'' \times 780}{13}$ ; mais cette masse de 780 étant 375 fois plus éloignée, elle produira 375<sup>3</sup> fois moins ou

$$\frac{10'' \times 780}{13 \times 375 \times 375 \times 375} = 0'' 0001137$$

chiffre qui, multiplié par 100 donne 0'' 001137 pour un siècle.

Lorsqu'on sait que l'influence de Vénus sur la Terre est plus considérable à elle seule que celle de toutes les autres planètes réunies, on peut se dispenser d'effectuer pour chacune d'entre elles le calcul que nous venons de faire et il est permis de supposer que pour atteindre le chiffre de 46 secondes par siècle, il serait nécessaire d'additionner, non pas les maximums qui se produisent annuellement, mais les perturbations plus ou moins fortes de tous les jours de l'année, ce qui du reste, serait tout aussi rationnel.

La théorie de Laplace suppose que l'écliptique pivote sur l'équateur céleste en se rapprochant de cette

ligne. C'est tout bonnement, ainsi que nous l'avons montré, le résultat d'un malentendu, d'une fausse expression : on a raisonné comme si le Soleil était le satellite de la Terre. Il est très vrai que si on rapporte l'écliptique à l'horizon, cette giration existe aux yeux de l'observateur terrestre, mais c'est précisément l'effet apparent que doit produire tout changement dans l'obliquité de l'axe, puisque quelle que soit cette obliquité, la position de l'équateur comme du pôle reste toujours la même par rapport à l'horizon d'un lieu donné, puisque la Terre en tournant sur elle-même dans n'importe quel sens ne peut déplacer un point quelconque de sa surface relativement à l'équateur tandis qu'elle les déplace tous par rapport à l'écliptique, et, ce qui est tout aussi certain et tout aussi facile à comprendre, c'est qu'aucun déplacement réel de l'écliptique dans l'espace, soit celui de 15 secondes produit par l'action perturbatrice de la Lune, soit celui qui résulte du mouvement propre du Soleil, soit celui qui doit exister par suite de la rétrogradation de ses nœuds sur l'orbite réelle du Soleil, ne peut changer la position de cette ligne relativement à l'horizon et que, seul, un mouvement de la Terre sur elle-même peut produire ce changement. Par conséquent, on ne doit trouver, dans les observations astronomiques, aucun fait matériel qui, par une concordance quelconque avec la fausse apparence d'une giration de l'écliptique sur l'équateur, puisse faire croire à sa réalité et effectivement Laplace n'en a cité aucun. Cependant, il paraît que Tycho Brahé a prétendu voir ce fait dans les changements de latitude des étoiles. Laplace a-t-il été influencé par cette prétention, nous ne pouvons l'affirmer, car il n'y a fait aucune allusion, mais ce que nous savons et que nous allons démontrer

facilement, c'est que le fait affirmé par Tycho n'existe pas et que même il ne saurait exister. Voici en quels termes Delambre présente l'allégation de Tycho dans son *Histoire de l'Astronomie moderne*, vol. 1<sup>er</sup>, p. 182 :

« Tycho Brahé va maintenant prouver que les latitudes des étoiles varient par suite du changement de l'obliquité. C'est une remarque bien simple, il paraît qu'elle n'avait pas encore été faite par personne. Ce changement doit être considérable vers les solstices et presque nul vers les équinoxes et c'est en effet ce qui résulte des observations. Pour le prouver, il calcule les déclinaisons observées par Tymocharis, Hipparque et Ptolémée, il prend pour bonnes les longitudes, il admet que les distances réciproques des étoiles sont invariables, etc. »

D'après Delaunay, Tycho aurait dit qu'entre les observations de l'école d'Alexandrie et les siennes les latitudes des étoiles avaient varié d'environ un tiers de degré vers les solstices.

Pour considérer une affirmation d'une inexactitude aussi manifeste et aussi facile à démontrer comme un fait exact prouvant que la variation de l'obliquité est bien due à un mouvement giratoire de l'écliptique, il faut certes beaucoup de bonne volonté ; mais ce qui surpasse l'imagination, c'est de constater que Delambre, qui nous présente ici cette affirmation comme un dogme qui ne saurait être mis en doute, a avoué, dans son *Traité d'astronomie théorique* vol. 3, p. 286, qu'il avait tenté de déterminer la diminution de l'obliquité par les variations de latitude des étoiles situées vers les solstices, mais qu'il n'avait pu y réussir ; et, ce qui est encore plus fort et qui montre combien est grande la force du préjugé, c'est que, ainsi qu'on le verra par la suite, un autre astronome

qui, comme Delambre, n'a pu faire autrement que de s'apercevoir que l'assertion de Tycho était inexacte, l'a acceptée également comme une vérité acquise en présentant avec le plus grand sérieux à son appui des faits qui démontrent au contraire sa fausseté.

Tycho, en effet, n'a pas apporté la moindre preuve à l'appui de son allégation et il a au contraire fourni le moyen de prouver son inexactitude en publiant le catalogue de ses observations, moyen qui, du reste, ne nous était pas indispensable pour faire cette preuve. Si cette affirmation était vraie, Tycho n'avait, pour le prouver, qu'à mettre les observations de Ptolémée en regard des siennes dans les quatre constellations où il lui aurait convenu de placer les équinoxes et les solstices (on verra plus loin pourquoi nous disons où il lui aurait convenu). Puisqu'il ne l'a pas fait, c'est qu'il avait pour cela des raisons que nous connaissons déjà.

On nous objectera que, d'après Delambre qui aurait pu être plus précis, il semblerait que Tycho a considéré comme fausses les observations des latitudes faites par Ptolémée et qu'il les aurait rectifiées par le calcul, en se basant sur les déclinaisons et les longitudes qu'il considérait comme exactes. Singulière explication, on en conviendra : pourquoi, si cela est, n'a-t-il pas montré ses calculs et placé leurs résultats vis-à-vis de ses observations personnelles ? Mais cela n'est pas et si Tycho a eu la prétention d'avoir fait des calculs de ce genre, Delambre a véritablement poussé trop loin la crédulité ou la distraction en la prenant au sérieux et voici pourquoi : Delambre lui-même nous dit, dans l'*Histoire de l'astronomie ancienne*, 1<sup>o</sup> que Ptolémée a observé les longitudes et les latitudes des étoiles, mais qu'il n'a pas observé leurs déclinaisons ; 2<sup>o</sup> qu'Hipparque a commencé par observer

les déclinaisons, mais qu'après avoir découvert le mouvement de la précession, il y a renoncé et qu'il n'a pas laissé le catalogue de ses observations basées sur l'équateur, sauf quelques-unes auxquelles il a fait allusion dans son *commentaire*; de plus, il n'a pas indiqué les dates des quelques déclinaisons qu'il a laissées, de sorte que lors même que ce seraient précisément celles des étoiles situées près des équinoxes et des solstices et qu'elles seraient exactes, on ne pourrait s'en servir pour corriger les erreurs des latitudes de ces étoiles. Tycho n'a donc pu faire les calculs qu'il prétend avoir faits. Du reste, on conviendra qu'il faudrait avoir une foi robuste, en admettant que les anciens eussent laissé les déclinaisons et leurs dates précises, pour croire qu'elles eussent été plus exactes que les latitudes. Et puis, en admettant que cela fût, il serait difficile de comprendre comment Tycho aurait pu le savoir.

Le calcul que Tycho a fait n'est pas difficile à concevoir. Cet astronome, qui prenait toutes les apparences pour des réalités, qui croyait à l'immobilité de la Terre et qui faisait tourner le Soleil autour d'elle, ne pouvait savoir qu'elle avait un axe de rotation puisqu'il niait cette rotation; il ne pouvait savoir que l'axe était incliné sur l'orbite et que la prétendue *obliquité de l'écliptique* n'était pas autre chose que l'obliquité de l'axe. Il ne pouvait donc, pour être conséquent avec ses fausses idées, faire autrement que d'admettre que l'obliquité était causée par l'inclinaison de la soi-disant orbite du Soleil sur l'équateur et que la variation de cette obliquité provenait d'un déplacement dans la direction du Soleil autour de la Terre, déplacement qui devait nécessairement modifier la position de l'écliptique par rapport aux étoiles par-

tout, sauf sur les points servant de pivot à cette prétendue giration et comme il croyait en même temps que les étoiles étaient fixes entre elles, il en résultait que, pour lui, ce déplacement de l'orbite du Soleil devait être, comme en effet les apparences le font croire, nul aux équinoxes et égal à la diminution de l'obliquité vers les solstices; il a raisonné, en un mot, comme si le Soleil était le satellite de la Terre, et son raisonnement serait exact en principe si les rôles n'étaient renversés depuis Copernic. Or, croyant, d'un autre côté, que l'obliquité avait varié d'un tiers de degré entre Ptolémée et lui (ce qui n'est pas puisqu'elle n'a diminué que d'un sixième) il a pensé qu'il lui suffisait de dire que les observations de Ptolémée étaient inexactes (1) pour avoir le droit d'en conclure conformément à ses idées théoriques :

1<sup>o</sup> Que les étoiles situées vers les équinoxes n'avaient pas changé de latitude tandis que celles des solstices avaient varié de vingt minutes environ.

2<sup>o</sup> Que cela indiquait un mouvement giratoire de l'écliptique ou orbite du Soleil sur l'équateur qui était la cause de la variation de l'obliquité.

Tycho a dit, en un mot « cela doit être ainsi, donc cela est ainsi » et effectivement cela ne pourrait être autrement si la Terre était immobile et si le Soleil était son satellite.

Un pareil raisonnement ne saurait surprendre de la part d'un astronome qui a fait tout son possible pour détruire le système de Copernic et qui croyait à l'astrologie; mais ce qui est incompréhensible, c'est

(1) Il aurait pu en dire autant des siennes car, d'après Hévélius, son catalogue est plein d'erreurs (Delambre, *Astronomie moderne*, vol. 2).

que personne ne se soit encore aperçu que la réalisation d'une théorie faisant pivoter l'écliptique sur les points du ciel où se trouvent les équinoxes est d'une impossibilité absolue et qu'il est impossible également que dans une giration de l'écliptique sur un pivot quelconque, les latitudes des étoiles restent constantes aux points où se trouverait le pivot de cette giration et que, vers les ailes marchantes, les variations soient égales au déplacement de l'écliptique. Les raisons de ces deux impossibilités sont faciles à concevoir et les voici dans toute leur simplicité :

1° Les équinoxes et les solstices sont mobiles, ils font le tour de l'orbite en 26.000 ans. Par conséquent, les points équinoxiaux du temps de Ptolémée ne sont pas les mêmes que ceux du temps de Tycho, et 6.500 ans avant Tycho, les équinoxes s'opéraient exactement aux points du ciel où les solstices avaient lieu de son temps !

2° Les étoiles ayant des mouvements particuliers, chacune d'entre elles doit se rapprocher ou s'éloigner pour son compte de l'écliptique. Par conséquent, lors même que les équinoxes et les solstices seraient fixes, lors même que la giration de l'écliptique serait réelle, qu'elle serait de la même valeur que la variation de l'obliquité et qu'elle en serait la cause, les changements de latitude des étoiles ne pourraient être nuls aux équinoxes, ni égaux ou à peu près égaux vers les solstices, à la diminution de l'obliquité, puisque les mouvements propres des étoiles sont souvent supérieurs à cette diminution.

3° Le Soleil se meut également dans l'espace et son mouvement occasionne nécessairement un déplacement de l'écliptique par rapport aux étoiles qui rendrait impossible la constatation d'un mouvement giratoire tel que Tycho l'a imaginé.

4° Enfin la rétrogradation des nœuds de l'écliptique sur l'orbite solaire doit produire aussi, si elle existe, un changement dans les latitudes des étoiles.

Les astronomes du siècle dernier connaissant toutes ces particularités et les contemporains ne pouvant les ignorer, il est vraiment surprenant qu'une semblable théorie ait été admise et qu'elle subsiste encore aujourd'hui.

Ce n'est pas tout encore : quoique les faits que nous venons de citer soient plus que suffisants pour démontrer l'inexactitude des assertions de Tycho, nous nous sommes donné la peine de faire ce qu'il n'a pas fait, pour d'excellentes raisons sans doute; nous avons placé dans un tableau comparatif ses observations en regard de celles de Ptolémée, en indiquant la quantité dont chaque étoile s'est éloignée ou s'est rapprochée de l'écliptique pendant l'intervalle qui s'est écoulé entre les deux observateurs et un simple coup d'œil jeté sur ce tableau suffit pour montrer que la réalité est loin de correspondre aux rêves de Tycho.

Que faudrait-il, en effet, pour que la théorie de cet astronome eût, non pas quelque fondement (chose impossible puisque les équinoxes et les solstices sont mobiles et que les étoiles le sont également) mais quelque apparence de fondement qui pourrait être, à un moment donné, le résultat d'un hasard extraordinaire et ne durerait, d'ailleurs, que jusqu'à ce que les points équinoxiaux se fussent déplacés d'une manière sensible ?

Il faudrait que dans les constellations du Bélier et de la Balance, par exemple, qui contenaient les équinoxes du temps de Ptolémée, les latitudes des étoiles n'eussent presque pas varié et que dans les constellations situées entre celles-ci et le Cancer et le



Capricorne, qui renfermaient les solstices, les variations eussent augmenté graduellement et toutes dans le même sens de manière à être d'environ 10 minutes dans ces dernières. Or, d'après notre comparaison, les variations de latitude sont sensiblement les mêmes dans toutes les constellations; dans beaucoup d'entre elles, les valeurs des changements varient depuis zéro jusqu'à parfois plusieurs degrés; dans aucune les variations ne sont toutes nulles; dans aucune elles ne sont toutes de 10 minutes; et leurs directions sont si incohérentes que souvent telle étoile se rapproche de l'écliptique, tandis que telle autre, sa voisine, s'en éloigne au contraire.

Les limites de cet abrégé ne nous permettant pas de donner ici notre tableau in-extenso, nous nous bornerons à l'extrait suivant, qui est très suffisant d'ailleurs, pour donner une idée de l'ensemble car il renferme les quatre étoiles situées dans la Balance, qui était un équinoxe au temps de Ptolémée et les huit étoiles australes comprises dans le Capricorne qui était un solstice, et on peut voir que les changements sont loin d'être nuls à l'équinoxe et de 10 minutes au solstice :

LA BALANCE (Equinoxe)			LE CAPRICORNE (Solstice)		
Latitudes observées par		Différence	Latitudes observées par		Différence
Ptolémée	Tycho Brahé		Ptolémée	Tycho	
0° 2/3	0° 26'	— 0° 14'	7° 2/3	8° 8'	+ 0° 28'
2° 1/2	1° 55'	— 0° 35'	6° 1/2 1/3	6° 56'	+ 0° 6'
8° 1/2 1/3	8° 35'	— 0° 15'	6°	6° 20'	+ 0° 20'
8° 1/2	8° 18'	— 0° 12'	4° 1/4	4° 25'	+ 0° 10'
			4°	4° 27'	+ 0° 27'
			2° 1/2 1/3	3° 1'	+ 0° 11'
			0°	0° 20'	+ 0° 20'
			0° 1/2 1/3	1° 16'	+ 0° 26'

Il nous semble que ces faits sont assez éloquents pour nous dispenser de tout autre commentaire et qu'on peut en conclure qu'il n'y a pas la moindre trace d'un déplacement giratoire de l'écliptique, ni sur le pivot impossible où Tycho a prétendu le voir, ni sur aucun autre pivot.

De même que personne n'a voulu voir que les observations des latitudes des étoiles condamnaient formellement la conclusion que Tycho en a tirée, de même aussi personne ne s'est demandé si les observations des planètes concordaient avec cette conclusion. On nous parle de déplacements séculaires des inclinaisons respectives des orbites planétaires causés par les influences mutuelles des planètes, déplacements qu'il convient de limiter parce que leur continuité dérangerait la concordance approximative qui existe dans la position des orbites des grosses planètes; on nous parle des calculs laborieux qu'on a faits en se basant sur les masses des planètes (qu'on ne connaissait pas toutes et qu'on ne connaîtra jamais toutes) pour trouver les quantités de ces prétendues variations séculaires; mais on ne paraît pas avoir songé au moyen le plus simple, on n'a pas consulté les observations. Cependant, il en existe de très anciennes comme de très modernes et si les inclinaisons respectives des orbites sont affectées de variations à longue durée, il semble que les observations des planètes doivent les révéler. On nous dira que les observations anciennes ne sont pas exactes: cela est vraisemblable, mais ce sont les planètes que Ptolémée a surtout observées et comme il a dû les observer bien plus souvent que les étoiles, on peut supposer que c'est à ce point de vue que ses observations sont le plus dignes de confiance; en outre, si on a trouvé bon d'interroger les obser-

vations des étoiles dans une question sur laquelle elles ne peuvent donner aucun renseignement, on ne peut trouver mauvais que nous nous adressions aux observations des planètes qui, au contraire, doivent nous faire connaître directement si oui ou non l'écliptique se déplace par rapport aux autres orbites ; et puis enfin si on s'en est rapporté aux observations des étoiles pour admettre leur mobilité pourquoi ne s'en rapporterait-on pas à l'observation des planètes pour trancher la question de savoir si les inclinaisons respectives de leurs orbites sont stables ou si elles sont variables ? Prenons donc ces observations telles que Ptolémée nous les a données, c'est-à-dire justes à 5 ou 6 minutes près en plus ou en moins et comparons-les avec les valeurs admises aujourd'hui. Si elles n'en diffèrent que de quelques minutes, nous dirons que les orbites planétaires sont stables entre elles. Si elles en diffèrent d'un grand nombre de minutes et si ce fait est confirmé ensuite par la comparaison des observations modernes entre elles, nous dirons qu'elles varient, mais sans admettre pour cela, bien entendu, que cette variation est en rapport avec celle de l'obliquité, puisque nous avons prouvé que la première ne peut pas plus causer la seconde que celle-ci ne peut causer la première.

Inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique :

	1° D'après Ptolémée	2° D'après les contemporains	Différence
Saturne....	2° 26'	2° 29' 40"	+ 3' 40"
Jupiter.....	1° 24'	1° 18' 41"	- 5' 19"
Vénus.....	3° 28'	3° 23' 35"	- 4' 25"
Mercure....	7°	7° 0' 8"	+ 0' 8"

Suivant Delambre, qui nous a fourni les observations anciennes, Ptolémée donne à l'inclinaison de Mars 1°, tandis qu'elle est aujourd'hui de 1° 51'. Il y a là certainement une erreur de copiste ou d'un autre genre. On aura oublié d'ajouter les fractions à l'unité et il est facile de le démontrer car Képler, qui observait il y a trois siècles, a trouvé, d'après le même auteur, l'inclinaison de l'orbite de Mars de 1° 50' 40" au lieu de 1° 51' 2" qu'on admet actuellement, soit une différence de 22 secondes seulement. D'après Halley, qui observait 100 ans après Képler, elle était de 1° 51' 0", différence 2 secondes ; personne ne nous contredira si nous disons que les observations contemporaines sont plus exactes que celles d'Halley et que celles d'Halley sont plus exactes que celles de Képler, mais qu'aucune ne saurait être précise à une seconde près ; que Képler a bien pu se tromper d'un tiers de minute (1), qu'il serait dérisoire d'admettre comme réelle une variation de deux secondes en 200 ans et que, par conséquent, l'orbite de Mars ayant été stable pendant deux ou trois siècles, c'est-à-dire depuis qu'elle a été observée par des moyens plus précis que ceux des anciens astronomes, il est inadmissible qu'elle ait varié de 51 minutes pendant les 1,500 ans qui se sont écoulés entre Ptolémée et Képler. Donc, cette énorme différence provient d'une erreur quelconque, peut-être d'une faute d'impression, et l'orbite de Mars est stable.

L'inclinaison de Mercure étant trouvée exactement la même aujourd'hui qu'il y a 1,700 ans, on ne peut nier sa parfaite stabilité, car s'il est certain que les instruments de Ptolémée ne lui permettaient pas de

(1) Il ne pouvait se tromper de moins puisque c'était la fraction la plus basse des chiffres exprimant ses observations.

donner une grande précision à ses observations, il est très admissible qu'il pouvait tomber juste une fois sur cinq. Quant aux variations des trois autres planètes qui ne dépassent pas 5 minutes, elles sont au dessous des erreurs que cet astronome reconnaissait pouvoir faire puisqu'il arrondissait ses observations en sixièmes de degré (1) et nous pouvons en conclure que les inclinaisons des orbites de ces planètes sont aussi invariables que celles de Mars et de Mercure.

Est-il possible de tirer les mêmes conséquences de la comparaison des observations modernes entre elles? On va en juger :

Voici, extrait du *Traité d'astronomie* de Lalande, 3<sup>e</sup> édition, 1792, vol. 2, p. 106, le tableau des inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique, d'après les observations de

	KÉPLER	HALLEY	CASSINI	LALANDE
Mercure.....	6° 54' 0"	6° 59' 20"	7°	7°
Vénus.....	3° 22' 0"	3° 23' 20"	3° 23' 20"	3° 23' 35"
Mars.....	1° 50' 30"	1° 51' 0"	1° 50' 54"	1° 51' 0"
Jupiter.....	1° 19' 20"	1° 19' 10"	1° 19' 30"	1° 18' 56"
Saturne.....	2° 32' 0"	2° 30' 10"	2° 30' 36"	2° 29' 50"

(même volume, p. 105) : « Méchain ayant déterminé « l'inclinaison de Mars par deux moyens différents, a « obtenu par l'un 1° 51' 8" et par l'autre 1° 50' 55", « Gentil l'a trouvée de 1° 51' 4" en 1757. »

(1) Si elles sont exprimées en minutes dans le tableau ci-devant, c'est parce qu'elles ont été revues par Delambre sur les données fournies par Ptolémée.

Quel que soit le point de vue auquel on se place pour apprécier ces chiffres, on ne peut en conclure autre chose que ce que nous avons conclu des précédents : Képler a avoué qu'il éprouvait beaucoup de difficulté à déterminer les inclinaisons des orbites planétaires et qu'il était loin de répondre de la précision de ses résultats. Ce sont, en effet, ses observations qui en général diffèrent le plus des autres et celle de Mercure en particulier est affectée d'une erreur du même ordre que celles de Ptolémée. On peut donc supposer que les différences qui existent entre ses chiffres et ceux de Lalande proviennent d'erreurs plus ou moins considérables et non de changements réels dans les inclinaisons des orbites (1). On peut même les présenter comme démontrant que les variations constatées entre Ptolémée et les contemporains proviennent bien d'erreurs d'observation, d'abord, parce que les moyens employés par Ptolémée devaient être encore plus imparfaits que ceux de Képler et ensuite, parce que c'est précisément là où Ptolémée s'est trouvé d'accord avec les observations contemporaines que Képler en diffère le plus.

Si on compare ensuite les observations d'Halley et de Cassini qui ont opéré avec des instruments plus précis que ceux de Képler, on trouve que leurs chiffres diffèrent entre eux et que, de plus, ceux qu'ils trouvent pour l'inclinaison de Jupiter diffèrent de 20 secondes tandis que ceux donnés par Képler ne s'écartent de chacun des leurs que de 10 secondes. On ne peut pas dire des différences qui existent entre Halley et Cassini qu'elles proviennent de changements réels

(1) Pour Mercure, ce n'est pas une supposition, la chose est absolument certaine dès maintenant.

puisqu'e leurs observations ont été faites vers la même époque, et la conclusion que nous venons de faire, en disant que toutes les différences constatées entre les observations anciennes et modernes résultent d'erreurs, se trouve confirmée jusqu'à la certitude.

Si on considère ensuite que l'inclinaison de Mars a été trouvée plus forte par Halley que par Képler, moins forte par Cassini que par Halley et plus forte par Lalande que par Cassini; que celle de Jupiter a été trouvée moins forte par Halley que par Képler, plus forte par Cassini que par Halley et moins forte par Lalande que par Cassini; que celle de Saturne a été trouvée moins forte par Halley que par Képler, plus forte par Cassini que par Halley et moins forte par Lalande que par Cassini; et si on ajoute à tout cela que Méchain, a pu faire pour Mars, dans le même temps, deux déterminations qui diffèrent davantage entre elles que celles de deux observateurs différents faites à deux ou trois siècles d'intervalle, on est obligé de reconnaître que la certitude devient une évidence et que la stabilité normale des inclinaisons respectives des orbites est absolument démontrée par les observations modernes aussi bien que par l'analogie tirée de la Lune, quels que soient les calculs par lesquels on prétende établir les chiffres de leurs variations séculaires.

Si nous consultons maintenant l'Annuaire du Bureau des longitudes, nous trouvons les variations suivantes entre 1800 et 1900 : Mercure 3 secondes, Vénus 6", Mars 4", Jupiter 11", Saturne 4", Uranus 8" et Neptune 3", depuis sa découverte.

Maintenant que les astronomes possèdent, dit-on, des instruments assez précis pour mesurer les secondes, on serait porté à croire, à première vue, que ces

chiffres doivent être l'expression de la vérité et que les inclinaisons respectives des orbites ont réellement un déplacement continu à longue période. Mais il faut considérer d'abord, que les moyens employés en 1800 n'étaient pas aussi exacts que ceux d'aujourd'hui, qui ne le sont certainement pas non plus au point de mesurer à la seconde près des particularités aussi difficiles à déterminer, ainsi qu'on l'a vu ci-devant, que l'inclinaison d'une orbite sur l'écliptique. Ensuite, il est très possible que les chiffres donnés par l'annuaire résultent de ce que ces petites variations sont théoriquement admises et non de ce qu'elles ont été observées; une circonstance qui nous porte à croire cette supposition assez vraisemblable, c'est que l'annuaire nous donne la variation de l'inclinaison de Neptune qui est certainement le résultat d'une théorie quelconque, puisque cette planète n'a pas encore fait un tour entier depuis sa découverte, ainsi que celle d'Uranus dont l'orbite ne pouvait être connue en 1800 que par le calcul puisqu'il n'y avait que quelques années qu'elle était observée. Et puis, du reste, en admettant que les observations modernes soient d'une précision infaillible, il y aurait toujours une petite différence entre deux observations séculaires successives d'une même orbite, puisque les satellites des planètes leur causent des perturbations en latitude qui peuvent s'élever jusqu'à 15 secondes pour la Terre et, par conséquent, on ne peut rien conclure de deux observations isolées faites à un siècle d'intervalle tant exactes qu'on puisse les supposer.

Quel est l'astronome qui, après avoir fait ces comparaisons, croirait encore à un déplacement giratoire de l'orbite égal à la variation de l'obliquité et cause de cette variation? Si l'écliptique était affectée d'un

mouvement de ce genre, il est évident que les autres orbites le seraient également, les unes dans le même sens, les autres dans le sens contraire, et alors ces dernières, dont le mouvement s'additionnerait avec celui de l'écliptique, auraient pu s'en écarter de plus de deux fois la quantité dont l'obliquité a diminué, soit d'un demi-degré environ, entre Ptolémée et nous, et au lieu de n'avoir varié que de quelques secondes pendant les derniers siècles ou d'être restées stationnaires, elles auraient varié de plusieurs centaines de secondes!

Laplace, en disant que ce sont les influences de toutes les planètes qui causent tout à la fois la variation de la prétendue inclinaison de l'écliptique sur l'équateur et la variation de son inclinaison sur les autres orbites, qui, dans son esprit, n'étaient qu'une seule et même chose, a certainement considéré cette variation comme le résultat de l'accumulation, de l'addition des perturbations en latitude dont la Terre est théoriquement affectée par l'attraction des planètes; mais comme il ne nous a donné aucune explication de la manière dont il entendait cette accumulation, incompréhensible pour quiconque ne se paie pas de mots, nous avons cherché à savoir si Euler, qu'il nous présente comme étant le premier qui ait vu des rapports de cause à effet entre les actions des planètes et la variation de l'obliquité, avait été plus explicite. Nous n'avons trouvé aucune trace de la théorie d'Euler ni dans les œuvres de Laplace, ni dans les ouvrages contemporains, mais nous avons fini par la découvrir dans le traité d'astronomie de Lalande, 2<sup>e</sup> édition, 1771, vol. 3 p. 144. Voici en quels termes cet auteur expose la conception d'Euler :

EXPLICATION PHYSIQUE DE LA DIMINUTION DE L'OBLIQUITÉ DE L'ÉCLIPTIQUE. — « Toutes les fois que deux

« planètes tournent autour du même centre, dans le même sens, mais dans des plans différents, chacune de ces planètes fait rétrograder le nœud de l'autre planète... ».

Lalande prend, comme exemple, l'attraction de Vénus qui fait rétrograder le nœud de l'écliptique sur l'orbite de cette planète de 12" 33 par an, en supposant la masse de Vénus de 0,89 de celle de la Terre.

Il constate que l'*inclinaison* n'est pas affectée par ce mouvement. (L'*inclinaison* de quoi sur quoi? Il ne le dit pas, mais au moyen de la figure qui accompagne le texte, on voit facilement qu'il s'agit de l'*inclinaison* de l'écliptique sur l'orbite de Vénus).

Il dit que la position de l'équateur céleste n'étant pas modifiée par la translation annuelle de la Terre, elle ne change pas non plus par l'effet dont il s'agit parce que l'attraction des planètes n'est pas sensible sur l'axe de la Terre; il en résulte donc que l'écliptique rétrograde sur l'équateur et ce déplacement de l'écliptique produit, avec le temps, des changements dans les longitudes et les latitudes de toutes les étoiles et dans les *inclinaisons* des orbites planétaires. (Inclinaisons sur quoi? Il oublie encore de le dire, mais la même figure montre que cette fois il s'agit des inclinaisons des orbites des planètes sur leurs propres équateurs!)

En somme, il résulte de cette explication que la rétrogradation des nœuds de l'écliptique sur l'orbite de Vénus ne change rien à son inclinaison sur cette orbite, mais qu'elle diminue l'obliquité existant entre l'orbite de la Terre et son équateur parce que le plan de l'orbite change de direction parmi les étoiles tandis que le plan de l'équateur est immuable.

Plus loin, Lalande fait voir, au moyen d'un problème, que la rétrogradation annuelle du nœud de

l'écliptique sur l'orbite de Vénus, qui est de 12" 33 par an, produit en 100 ans une diminution d'obliquité de 70 secondes.

Il n'est pas nécessaire d'étudier longtemps les termes et les principes de cette théorie pour comprendre pourquoi Laplace ne l'a pas exposée dans sa *Mécanique céleste* lorsqu'il a assigné une limite de 21,000 ans à la diminution de l'obliquité. Il l'a interprétée dans un sens qui lui a paru plus rationnel que le véritable et pour ne pas avoir à discuter, il n'a pas donné le texte et s'est même abstenu de trop préciser son interprétation personnelle. Les contemporains ont été encore plus réservés et se sont bornés à formuler la limitation de la variation de l'obliquité comme un dogme scientifique sans donner la moindre justification de cette doctrine.

En effet, autant il y a de mots dans cette explication physique, autant il y a d'erreurs, de contradictions ou de quiproquos et celui qui, sur la foi de son auteur ou de ses auteurs, est disposé à l'accepter, doit éviter avec soin de l'examiner, même superficiellement :

1° *Toutes les fois, dit Lalande, que deux planètes tournent autour du même centre, dans le même sens, mais dans des plans différents, chacune de ces planètes fait rétrograder le nœud de l'autre planète sur son orbite.*

Les nœuds de l'orbite d'une planète, d'abord, ne doivent pas être rapportés à l'orbite d'une autre planète dont elle n'est pas le satellite, mais à celle de son centre d'attraction, à celle de l'astre autour duquel elle tourne et les nœuds de l'orbite de la Terre doivent être rapportés à celle du Soleil comme ceux de l'orbite de la Lune sont rapportés à celle de la Terre.

Jusqu'à présent, l'observation n'a pu faire connaître

si la rétrogradation des nœuds de l'écliptique existe réellement, mais en supposant que ce déplacement est très lent (1), on peut attribuer cette lacune à ce qu'il se trouve faussé, caché par les résultats des mouvements propres des étoiles et du Soleil et admettre son existence en principe. Ceci étant acquis, nous reconnaissons que théoriquement parlant, l'attraction des planètes peut produire une rétrogradation des nœuds de l'écliptique comme nous avons reconnu qu'elle cause des marées sur l'océan et des perturbations en latitude sur l'écliptique, mais nous prétendons qu'en fait elle ne produit pas plus la rétrogradation des nœuds qu'elle ne produit les marées. Pour le prouver, il nous suffira de demander à l'astronomie quel est le moteur de la rétrogradation des nœuds de la Lune : Délaunay nous apprend à la page 575 de son traité que ce mouvement est causé par l'action perturbatrice du Soleil et il fait remarquer (p. 577) que *la vitesse de ce mouvement rétrograde calculée d'après l'action du Soleil est exactement la même que celle qui est fournie par l'observation du phénomène.* Donc, l'action des planètes étant étrangère, par suite de son insensibilité, au mouvement des nœuds de l'orbite lunaire, elle doit l'être à plus forte raison à celui des nœuds de l'écliptique puisque la masse de la Terre est 77 fois plus considérable que celle de la Lune et son orbite beaucoup plus étendue; d'un autre côté, ce mouvement ne peut être causé par le Soleil puisque son attraction s'opère toujours dans le plan de l'écliptique. Et par conséquent, si l'orbite de la

(1) Il faut pour cela qu'il soit beaucoup plus lent que Lalande ne l'a cru, car s'il était de 12 secondes par an, pour la part de Vénus seulement, les latitudes des étoiles auraient varié considérablement depuis Ptolémée.

Terre est réellement affectée de cette irrégularité, elle doit être attribuée à l'action unique de la Lune qui, seule, est assez sensible pour produire dans la position de la Terre par rapport au Soleil des perturbations analogues, toutes proportions gardées, à celles que celui-ci produit dans la position de la Lune par rapport à la Terre. Ainsi, s'il est permis, pour la forme, de rapporter les nœuds de l'écliptique à l'orbite de Vénus parce que celle du Soleil est inconnue, il n'en est pas moins vrai que le mouvement de ces nœuds, s'il existe, n'a aucun rapport avec l'attraction de Vénus et qu'il n'est que la répercussion de leur rétrogradation sur l'orbite solaire, causée par l'attraction de la Lune et combinée avec celle des nœuds de l'orbite de Vénus dont cette planète peut être affectée également si elle a un satellite.

2° *L'attraction de Vénus fait rétrograder le nœud de l'écliptique sur l'orbite de cette planète de 12" 33 par an.*

Ce résultat a été obtenu par le calcul, en supposant la masse de Vénus de 0,89 de celle de la Terre, chiffre qui ne s'éloigne guère de celui de 0,78 qu'on admet aujourd'hui. Il en résulte, dit Lalande, une diminution de l'obliquité de 70" par siècle. Or, nous savons aujourd'hui que l'obliquité ne diminue en tout que de 46" par siècle et nous verrons plus loin que Lalande en a eu connaissance par la suite. Comment faire pour concilier ce chiffre, à fort peu près véritable, avec les résultats du problème de 1771 qui donnent une rétrogradation de 12" 33 par an impliquant une diminution d'obliquité de 70" par siècle pour la part de Vénus seulement? C'est ce que Lalande a oublié de nous expliquer. Il en résulte cependant que le problème devant être exact en fait, son principe ne l'est pas et la théorie est fausse.

D'un autre côté, si, contrairement à ce que nous venons de démontrer, l'action de Vénus pouvait faire rétrograder les nœuds de l'écliptique et que cette rétrogradation fût de 12 secondes par an, il nous semble que celle produite par la Lune, dont l'influence, qu'on oublie toujours, est 800,000 fois plus considérable sur la Terre que celle de Vénus, serait très sensible à l'observation.

3° *L'inclinaison de l'écliptique sur l'orbite de Vénus n'est pas changée par le mouvement de ses nœuds.*

C'est très vrai. Nous savons que la rétrogradation des nœuds de la Lune ne change rien à l'inclinaison de son orbite sur l'écliptique, nous en concluons qu'il en est de même, dans les mêmes circonstances, pour les inclinaisons des orbites planétaires sur l'orbite solaire et que, par conséquent, les inclinaisons respectives des orbites ne peuvent non plus en être affectées. Mais, comment faire pour concilier cette affirmation exacte avec le tableau qu'on trouvera plus loin, donné par Lalande lui-même dans sa 3<sup>e</sup> édition, 2<sup>e</sup> volume, p. 108, *tableau indiquant les changements séculaires des inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique*, d'après des calculs basés également sur les masses des planètes? Comment concilier aussi ce fait exact avec la théorie de Laplace qui a décrété la limitation des variations de ces inclinaisons dans le double but d'assurer la stabilité du système des orbites et de limiter la variation de l'obliquité?

4° *La direction de l'équateur de la Terre n'est pas changée par son mouvement annuel.*

Ce changement n'est pas sensible à l'observation, c'est possible, mais dire qu'il n'existe pas en principe, c'est une véritable hérésie scientifique : l'équateur céleste est la projection de l'équateur terrestre et sa

position dans l'espace est nécessairement modifiée par tous les mouvements de la Terre, sauf par la rotation journalière dont il est le reflet. La translation annuelle fait varier la position de l'équateur céleste de tout le diamètre de l'orbite, c'est-à-dire de 300 millions de kilomètres ; mais comme l'orbite, vue des étoiles, ne paraît qu'un point, il en résulte que cette variation n'est pas sensible à l'observation de la sphère céleste.

5° *Lalande conclut de cette affirmation inexacte que l'équateur céleste ne change pas de situation par suite de la rétrogradation des nœuds, parce que, dit-il, l'attraction des planètes n'est pas sensible sur l'axe de la Terre.*

Lors même que la direction de l'équateur céleste ne serait pas affectée par le mouvement annuel, il est difficile de concevoir comment cela pourrait prouver que la rétrogradation des nœuds de l'orbite ne l'affecte pas non plus, car il n'y a aucune espèce d'analogie entre ces deux mouvements ; mais comment comprendre que notre planète puisse être attirée par une force quelconque sur un autre point du ciel tandis que son équateur et son axe restent toujours rivés dans leur direction primitive, comment comprendre que l'attraction des planètes puisse être insensible sur l'axe et sensible sur le reste de la Terre ? Du reste, si on ne veut pas se donner la peine de raisonner, on n'a qu'à se retourner du côté de la Lune pour voir que son axe et son équateur la suivent dans la rétrogradation de ses nœuds comme dans ses autres mouvements et que leur direction se modifie exactement dans la même proportion que celle de son orbite.

6° *Il résulte de cette immutabilité de l'équateur céleste que l'écliptique rétrograde sur lui et que l'obliquité s'en trouve modifiée.*

Ainsi que nous venons de le montrer, l'équateur céleste est aussi mobile que la Terre elle-même puisque c'est son ombre, et il n'y a qu'à regarder encore la Lune pour voir que si la direction de son orbite varie par rapport aux étoiles par suite de la rétrogradation de ses nœuds, l'angle que son équateur fait avec son orbite n'est nullement affecté par ce mouvement.

L'erreur d'Euler a pour origine un faux rapprochement facile à concevoir : la rétrogradation des nœuds de la Lune sur l'écliptique ne produit aucun changement dans l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique, mais elle produit, par cela même, une variation considérable dans l'inclinaison de la même orbite sur l'équateur terrestre. On doit, donc en conclure, par analogie, que si l'écliptique rétrograde sur l'orbite propre du Soleil, ce mouvement ne produit aucun changement dans l'inclinaison de l'écliptique sur l'orbite solaire, mais qu'il fait varier l'inclinaison de la dite écliptique sur *l'équateur du Soleil*, tandis qu'Euler en a conclu, lui, que l'inclinaison de l'écliptique sur l'orbite de Vénus ne variait pas, ce qui est exact, mais que l'inclinaison de la même écliptique sur *l'équateur terrestre* en était modifiée, ce qui est aussi illogique qu'inexact puisqu'il n'y a aucun rapprochement possible entre l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'équateur terrestre, d'une part, et l'inclinaison de l'orbite de la Terre sur le même équateur terrestre, d'autre part. Pour être logique et exact, il aurait dû dire, puisqu'il rapportait l'écliptique à l'orbite de Vénus, que l'inclinaison de l'écliptique sur *l'équateur de cette planète* était modifiée par la rétrogradation des nœuds de l'écliptique. Le rapprochement fait par Euler est un non-sens qui saute aux

yeux : il a raisonné comme si la Terre était le satellite de la Terre elle-même.

En résumé, il est bien difficile de voir quelles sont les relations qui existent entre les idées vagues de Laplace et la théorie plus explicite d'Euler, qui est tellement extraordinaire que Lalande lui-même, après l'avoir exposée, n'en a tenu aucun compte dans ses opérations non moins extraordinaires que nous montrerons bientôt, et que Laplace, qui n'y a fait qu'une légère allusion, a raisonné comme s'il l'ignorait complètement. Il faudrait vraiment avoir une foi à toute épreuve pour attacher une importance quelconque à l'une ou à l'autre de ces deux versions après les avoir comparées, lorsqu'on sait qu'elles avaient le même but dans l'esprit de leurs auteurs et que celle de Laplace se recommande de celle d'Euler.

Nous terminerons en exposant les idées de plusieurs autres astronomes sur la question de l'obliquité. Ce parallèle, qui nous fournira l'occasion de parler du chiffre auquel Laplace a fixé l'amplitude de la variation de l'obliquité, ne manquera pas d'intérêt car les divergences nombreuses et extraordinaires qu'il constatera démontreront une fois de plus l'inexactitude de la théorie qui prétend limiter ce mouvement.

Dans l'*Histoire de l'astronomie ancienne*, Delambre dit que Ptolémée et tous les auteurs de son temps pensaient que dans le mouvement de la variation de l'obliquité, c'est l'équateur céleste qui se rapproche de l'écliptique et ne prétendaient pas le moins du monde que ce mouvement fut limité.

Il est assez surprenant que Ptolémée ait deviné la vérité, en cette circonstance, puisque les apparences font croire à un mouvement de l'écliptique, mais cela s'explique par le fait que cet astronome croyant à

l'immobilité des étoiles entre elles et relativement à l'écliptique, il ne pouvait faire autrement que de mettre la diminution de l'obliquité au compte de l'équateur céleste dont il connaissait au contraire la mobilité.

Dans son *Histoire de l'astronomie moderne*, le même auteur nous apprend que parmi les astronomes du moyen-âge et des xvii<sup>e</sup> et xviii<sup>e</sup> siècles, Riccioli, Hévélius, Levera, Tacquet, prétendaient que l'obliquité était invariable et Gassendi qu'elle l'était probablement; Frascator, Whiston et Pluche croyaient qu'il s'agissait d'un mouvement continu, sans dire s'il provenait d'un déplacement de l'équateur ou de l'écliptique; Godin disait explicitement qu'il ignorait celle des deux lignes qui se déplace; Aboul Khasan, Magini, Longomontanus, Copernic et Képler attribuaient la diminution de l'obliquité à un mouvement de l'équateur, mais limité; Képler donnait à cette prétendue oscillation une amplitude de 3° 45', en rapport avec la durée de la précession comme 4 est à 3; et Copernic fixait cette amplitude à 24 minutes seulement, en disant que l'oscillation provenait d'une irrégularité de la précession.

Delambre dit ensuite que vers 1757, époque à laquelle la diminution de l'obliquité n'était plus guère contestée (1) : « La Caille rapporte les observations de « Cochéou King, il en tire une diminution de 47" 30 « par siècle qui s'accorde avec celle qu'Euler a « déduite de sa *théorie physique* (2).

(1) Delambre, *Astronomie moderne*, vol. 3, p. 490.

(2) On a vu que Lalande, en exposant cette théorie, a trouvé un chiffre beaucoup plus élevé, mais, ainsi qu'on le verra plus loin, c'est parce qu'il croyait être mieux renseigné qu'Euler sur

Que faut-il penser d'une coïncidence aussi merveilleuse que celle que La Caille a trouvée entre le chiffre donné par l'observation de Cochéou King et celui déduit par Euler de son explication physique, lorsqu'on sait que les calculs de ce dernier étaient basés sur les masses des planètes, que ces masses étaient encore mal connues à cette époque, que deux grosses planètes et une infinité de petites ont été découvertes depuis et qu'il peut en exister davantage au-delà de Neptune qu'il n'y en a en deçà? N'a-t-on pas le droit de supposer qu'Euler, qui sans doute connaissait aussi bien que La Caille les observations anciennes, a arrangé ses calculs de manière à établir un accord parfait, même trop parfait, entre la théorie et l'observation? Pourquoi! Nous venons de le voir. Avant Euler, beaucoup d'astronomes contestaient l'existence même de la variation de l'obliquité; ce mathématicien, persuadé que ce mouvement était réel, aura pensé qu'une théorie quelconque, lors même qu'elle serait aussi extraordinaire que celle que nous venons de discuter, convaincrail les plus incrédules pourvu que ses résultats supposés concordassent avec l'observation et il ne s'est pas trompé.

Ceux qui trouveraient notre supposition irrévérencieuse n'auront qu'à lire ci-après les citations exposant les idées personnelles de Delambre et de Lalande pour se convaincre qu'elle est très justifiée et très vraisemblable, car ils verront de leurs yeux ces deux grands savants faire à la main très ostensiblement et sans aucun scrupule, au moyen de la même théorie,

la quantité dont l'obliquité diminuait véritablement et qu'il voulait, lui aussi, que la théorie cadrât exactement avec l'observation.

les coïncidences extraordinaires que nous venons de constater et d'expliquer chez Euler. D'ailleurs, l'homme aime à être trompé. La Fontaine qui s'y connaissait a dit quelque part :

L'homme est de glace aux vérités,  
Il est de feu pour le mensonge.

En effet, Delambre (*Histoire de l'Astronomie moderne*, vol. 3, p. 594), dit qu'il a trouvé par un grand nombre d'observations (1) que la masse de Vénus donne 50" de diminution séculaire de l'obliquité. Il trouve que ce résultat est un peu supérieur à celui donné par les observations de 1750 et de 1800 qui est de 47"5, mais il attribue cette différence à ce que la masse de Vénus qu'il a employée est un peu trop forte.

Delambre a tellement foi à la théorie que, s'apercevant que Vénus est plus que suffisante pour donner le chiffre dont il aurait besoin, il ne pousse pas ses investigations plus loin. Comment un astronome de cette envergure a-t-il pu prendre au sérieux une théorie basée sur les masses des planètes, qui ne lui donne un chiffre approchant de celui qu'il cherche qu'en éliminant les actions de la Lune et de toutes les planètes sauf une!!

M. Flammarion, dans son *Astronomie populaire*, p. 57, dit :

« L'axe de notre planète est incliné sur la perpendiculaire au plan sur lequel elle se meut de 23° 27';  
« nous tournons obliquement, mais cette obliquité  
« diminue de 46 secondes par siècle.

(1) Il a voulu dire d'opérations, puisqu'il s'agit de calculs théoriques coïncidant à peu près avec les observations dont il parle ensuite.

« Si cette diminution était constante, nous aurions  
« dans cent quatre-vingt mille ans le plaisir d'avoir le  
« globe perpendiculaire et de jouir d'un printemps  
« perpétuel; c'est ce qu'ont rêvé de confiants uto-  
« pistes . . . . .

« La mécanique céleste montre que ce sont là des  
« rêves. Il n'y a qu'un *balancement léger de l'équateur*  
« *sur l'orbite* dont l'amplitude ne dépassera pas  $1^{\circ} 21'$ .

« La diminution va se continuer encore quelque  
« temps, puis elle s'arrêtera et un mouvement con-  
« traire s'opérera. »

Dans les *Terres du Ciel*, p. 265, le même auteur,  
énumérant les divers mouvements de la Terre,  
s'exprime ainsi :

« Un troisième mouvement *fait osciller la Terre*  
« sur le plan de l'orbite qu'elle décrit autour du  
« Soleil et diminue actuellement l'obliquité de l'éclip-  
« tique pour la relever dans l'avenir. . . . .

« Un huitième mouvement *causé par l'attraction*  
« *des planètes* et principalement par le monde gigan-  
« tesque de Jupiter et par notre voisine Vénus occa-  
« sionne des perturbations calculées d'avance *sur la*  
« *ligne décrite par notre planète* dans sa révolution  
« annuelle, la gonflant ou l'aplatissant selon les varia-  
« tions de la distance. »

Ce sont ces deux mouvements, si différents cepen-  
dant, dont Laplace a fait un seul et même mouvement.

M. Flammarion est un des rares astronomes qui  
ont su comprendre que la variation de l'obliquité de  
l'axe (1) et le déplacement de l'écliptique sont deux

(1) Dans les *Terres du Ciel*, M. Flammarion, conformément  
à l'usage, appelle l'obliquité : obliquité de l'écliptique, tandis  
que dans son *Astronomie populaire*, ouvrage plus récent, il

mouvements d'une nature différente et tout à fait  
indépendants l'un de l'autre. Non seulement il ne  
confond pas la diminution de l'obliquité avec les per-  
turbations que subit ou que peut subir la position de  
l'écliptique de la part des planètes, mais encore il dit  
clairement que dans la diminution de l'obliquité c'est  
l'équateur qui se rapproche de l'écliptique. Malgré  
cela, la puissance de la chose jugée est si grande,  
même sur les esprits les plus indépendants, que cet  
astronome ne semble pas s'être aperçu de la confu-  
sion, de l'erreur faite par Laplace et, confiant dans  
l'infailibilité de ce grand géomètre, il applique à la  
variation réelle de l'inclinaison de l'axe la limitation  
que ce dernier a formellement destinée à un prétendu  
déplacement giratoire de l'écliptique.

La mécanique céleste, dit-il, montre que ceux qui  
croient à la continuité de la variation de l'obliquité  
sont de confiants utopistes : la mécanique céleste  
dont il est question ici, c'est certainement l'ouvrage  
de Laplace qui porte ce titre et dont nous avons donné  
des extraits en commençant; ce qui le prouve c'est  
que l'amplitude de  $1^{\circ} 21'$  dont parle M. Flammarion  
est exactement la moitié de celle de  $2^{\circ} 42'$  fixée par  
Laplace. Cette divergence apparente n'est pas autre  
chose qu'une rectification discrète de disciples res-  
pectueux pouvant s'expliquer de différentes manières,  
qu'il serait d'autant plus superflu d'énumérer ici que  
nous sommes certains que notre interprétation est  
exacte puisque Arago, qui a également donné comme  
amplitude la moitié de celle de Laplace, l'a formel-

l'appelle de son vrai nom, c'est-à-dire *obliquité de l'axe*; mais  
l'appellation équivoque n'a eu aucune influence fâcheuse sur  
son appréciation de ce mouvement.

lement placée sous l'autorité de ce dernier ; mais nous ferons remarquer une fois de plus qu'il faut qu'une théorie soit bien vague, bien peu explicite et bien sujette à caution pour permettre de pareils errements. Or, Laplace n'ayant pas donné à l'appui de la doctrine de la limitation, d'autre raison que la nécessité de circonscrire dans d'étroites limites les variations des inclinaisons respectives des orbites planétaires, cette doctrine, qu'elle soit juste ou non, qu'elle ait une raison d'être ou qu'elle n'en ait pas, ne saurait être appliquée à un mouvement de la Terre sur elle-même, puisqu'il est bien certain que ce genre de mouvement ne change rien à la position de l'écliptique par rapport aux autres orbites, et par conséquent, la manière de voir de M. Flammarion est la condamnation formelle de la théorie qui limite la variation de l'obliquité.

Si, par *mécanique céleste*, M. Flammarion avait entendu parler d'une loi de la mécanique, d'une loi naturelle s'opposant à ce que la Terre eût plus de deux rotations distinctes, ce serait une doctrine toute nouvelle et il n'aurait pas manqué d'apporter à son appui les raisons qui la lui auraient suggérée ; mais puisque l'occasion s'en présente, nous examinerons ici s'il y a quelque chose dans l'ordre de notre système qui puisse faire supposer que le mouvement lent de la Terre produisant la variation de l'obliquité est une oscillation et non une rotation complète et continue.

Si la Terre n'avait pas d'autre mouvement sur elle-même que la rotation lente, on aurait autant de raisons pour croire que c'est une oscillation qu'une rotation continue et il faudrait attendre pour se prononcer jusqu'à ce qu'un tour entier eût été observé ; mais nous savons que notre planète a deux autres

rotations, l'une en 24 heures et l'autre en 26,000 ans, et puisque, certains que la première est continue, nous admettons que la deuxième l'est également quoiqu'elle ne soit connue que depuis 2,000 ans, nous ne pouvons refuser de croire à la continuité de la troisième qui a été observée longtemps auparavant.

Si les axes des planètes avaient tous la même ou à peu près la même inclinaison que celui de la Terre, on pourrait à la rigueur y voir un ordre voulu et admettre comme probable que leurs variations doivent être circonscrites dans de certaines limites ; mais c'est tout le contraire qui existe et cela à tel point que l'axe de Jupiter est presque perpendiculaire tandis que celui d'Uranus est presque couché sur son orbite et cette considération suffirait, sinon pour prouver, au moins pour faire pressentir la variation continue des inclinaisons des axes planétaires.

Il n'y a donc rien dans la nature qui puisse faire supposer que la variation de l'obliquité est limitée et tout, au contraire, témoigne en faveur de sa continuité.

On pourrait objecter à ce raisonnement que, tout en étant continue, la rotation lente de la Terre qui produit la variation de l'obliquité pourrait s'effectuer sur un plan qui ne serait pas perpendiculaire à celui de la rotation journalière, cas dans lequel cette variation serait forcément limitée à une certaine amplitude ; mais nous avons répondu d'avance à cette objection en montrant que s'il en était ainsi, la valeur de la diminution de l'obliquité ne serait pas restée la même depuis 3,000 ans, elle aurait augmenté ou diminué, et que, par conséquent, on doit admettre, conformément à ce que nous font pressentir les positions si diverses des axes des autres planètes, que celui de la Terre passe par toutes les inclinaisons possibles depuis



zéro jusqu'à 90°. On peut encore ajouter à toutes ces considérations d'ordre astronomique les faits géologiques qui exigent pour leur explication que l'axe de la Terre passe par des inclinaisons très voisines des deux extrêmes.

M. Faye, dans son *Cours d'astronomie*, vol. 2 p. 251, s'exprime en ces termes :

« L'inclinaison de l'écliptique sur le plan fixe de 1750 ne peut varier qu'entre zéro et 5°. Et comme l'inclinaison de l'équateur sur ce même plan fixe est à peu près constante, l'obliquité ne varie que de 18° à 28°. »

Qu'entend M. Faye par le plan fixe de 1750 ? Est-ce un plan passant par certaines étoiles ? Non, nous l'avons vu, un semblable plan ne peut exister puisque, d'un côté, les étoiles et le Soleil ne sont pas fixes et que, d'un autre, on ne connaît pas la quantité dont le Soleil se déplace réellement, ni même la direction dans laquelle il se meut : il s'agit du plan de l'écliptique de 1750 par rapport à l'horizon. Or, puisque l'équateur est invariable relativement à l'horizon tant que l'axe ne se déplace pas au sein de la Terre, il en résulte nécessairement qu'un déplacement réel de la direction de l'équateur dans l'espace, provenant d'une rotation de la Terre, doit se traduire par un déplacement apparent de l'écliptique et du ciel tout entier relativement à l'horizon d'un lieu donné, comme cela a lieu dans le mouvement de la précession, et celui qui prend cette apparence pour une réalité en conclut, comme M. Faye, que l'écliptique de 1850, par exemple, est inclinée de 46 secondes sur celle de 1750. La preuve que nous interprétons exactement la pensée de M. Faye en disant que son écliptique fixe est rapportée à l'horizon, c'est qu'il prétend que l'inclinaison

de l'équateur sur ce même plan fixe est à peu près constante. Pourquoi, en effet, dit-il à peu près ? Cette réserve est motivée par le mouvement appelé *nutations de l'axe de la Terre* (1) que tous les astronomes considèrent avec raison comme une oscillation périodique de l'inclinaison de l'axe et de l'équateur par conséquent. Là, M. Faye ne s'est pas laissé influencer par les apparences, il a bien compris que c'était l'équateur qui se déplaçait relativement à l'écliptique malgré son immobilité par rapport à l'horizon, et cependant ce mouvement est absolument de la même nature, produit absolument les mêmes effets réels et les mêmes apparences fausses que celui appelé *diminution de l'obliquité de l'écliptique* car tous les deux consistent en une variation de la hauteur à laquelle le Soleil parvient lors des solstices, en une variation dans l'angle que l'équateur fait avec l'écliptique, angle qui a pour cause l'inclinaison de l'axe, et ces trois mots à peu près sont suffisants pour rendre évidente l'erreur dans laquelle sont tombés la plupart des astronomes contemporains, à qui veut se donner la peine d'y réfléchir un instant, et pour faire comprendre ensuite qu'elle est la véritable explication physique de la diminution séculaire. En effet, nous défions qui que ce soit de nous montrer une différence quelconque dans la nature de ces deux mouvements, l'un à courté période et l'autre continu, et si le premier est une variation de l'inclinaison de l'axe, le second ne peut pas être un déplacement de l'écliptique ; il est aussi une variation de l'inclinaison de l'axe, une

(1) En réalité, la nutation n'est pas un mouvement distinct de la Terre, mais une irrégularité du mouvement de la précession dont on verra la cause plus loin.

variation de l'inclinaison de l'équateur sur l'écliptique de 1750 (qui ne peut pas plus s'écarter de l'équateur qu'une route ne peut s'écarter du voyageur qui la suit) inclinaison qui, par conséquent, n'est pas à peu près constante, car enfin personne ne peut contester que l'axe de la Terre est incliné aujourd'hui de  $23^{\circ} 27'$  tandis qu'il l'était de  $23^{\circ} 52'$  il y a 3,000 ans, que cette particularité consiste en apparence en ce que le Soleil s'éloigne de moins en moins de l'équateur, lors des solstices, dans son mouvement apparent, mais qu'en réalité elle provient de ce que l'axe se redresse sur l'orbite; et il n'y a pas d'autre raison que le nom équivoque qu'on a donné à ce mouvement continu pour le considérer d'une autre nature que la nutation de l'axe qui, personne ne le conteste, est une oscillation de 19 secondes en 18 ans de la même inclinaison de l'axe sur l'écliptique, oscillation consistant en apparence en ce que le Soleil s'éloigne et se rapproche alternativement de l'équateur de cette quantité, lors des solstices, et en réalité en ce que l'axe s'incline sur l'orbite pendant 9 ans après s'être redressé pendant le même laps de temps.

Ces deux mouvements étant de même nature, ils doivent provenir, sinon de la même cause, du moins du même principe, et la cause de la variation périodique étant connue, elle doit nous indiquer le principe dont découle la variation continue. Cette cause, la voici :

On sait que la rotation rétrograde de la Terre en 26,000 ans, appelée *la précession*, est produite par l'action collective du Soleil et de la Lune. L'action du Soleil s'exerçant exactement sur le cercle de l'écliptique, elle ne change pas plus l'inclinaison de l'axe que si elle s'opérait sur le cercle de l'équateur. Celle

de la Lune s'effectuant sur un cercle qui, quoique n'étant pas celui de l'écliptique, fait en moyenne le même angle que celui-ci avec l'équateur, il en résulte que les deux actions s'additionnent, que la rotation rétrograde s'opère sur le plan de l'écliptique tout comme si l'orbite lunaire coïncidait avec ce plan, et que l'action de la Lune ne change pas non plus l'inclinaison normale de l'axe de la Terre; mais cet accord n'a lieu qu'en prenant la moyenne d'un certain nombre d'années parce que, au lieu d'être constamment de 23 degrés, l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'équateur terrestre varie de  $18^{\circ}$  à  $28^{\circ}$  et il en résulte une petite oscillation périodique de l'obliquité, indépendante de la diminution continue, qui fait que l'obliquité normale n'est vraie qu'en moyenne : dès que l'obliquité de l'orbite lunaire sur l'équateur dépasse  $23^{\circ} 27'$ , l'inclinaison de l'axe augmente parce que l'action de la Lune tend alors à faire tourner la Terre sur un plan plus oblique que l'écliptique par rapport au plan de la rotation journalière, et dès que l'obliquité de l'orbite lunaire sur l'équateur descend au-dessous du même chiffre, l'inclinaison de l'axe diminue parce que l'action de la Lune tend à faire opérer la rotation rétrograde sur un plan moins oblique que l'écliptique par rapport à celui de la rotation diurne.

Eh bien, du moment où nous savons qu'une variation de l'obliquité a lieu dès que la rotation précessionnelle cesse de s'opérer exactement sur le plan de l'écliptique, on peut en conclure, sans même se donner la peine de raisonner, que la variation continue de l'obliquité doit être causée, ainsi que nous l'avons dit ci-devant, par une troisième rotation de la Terre s'exerçant sur un axe autre que celui de l'écliptique

et autre que celui de la rotation diurne. Et pour peu qu'on raisonne, l'exactitude de cette explication physique saute aux yeux, car on ne peut représenter, soit en imagination, soit par l'expérimentation, un changement dans l'inclinaison de l'axe sur l'orbite, sans imprimer une fraction de rotation à la Terre par rapport à l'écliptique. Un déplacement de l'orbite change bien la direction de l'axe dans l'espace, mais c'est précisément pour cela qu'il ne peut changer son inclinaison puisqu'il en résulte en toute évidence que la Terre ne tourne pas sur elle-même en même temps et que les deux lignes, écliptique et équateur, se déplacent de la même quantité, tandis qu'un mouvement de la Terre sur elle-même ne peut affecter à aucun degré la position de l'écliptique. Aussi, Copernic était bien conséquent avec son système en attribuant à une irrégularité de la précession la variation de l'obliquité. Il s'est trompé en fait, mais non en principe, et s'il eût connu le mouvement de la précession et celui de l'obliquité comme on les connaît aujourd'hui, il est probable qu'il aurait déterminé la troisième rotation de la Terre comme il a déterminé les deux premières, puisque cette rotation est aussi bien prouvée par la variation continue de l'obliquité que la rotation diurne est prouvée par la révolution apparente du Soleil en 24 heures, autour de la Terre; les apparences sont, en effet, absolument les mêmes dans les deux cas, avec cette seule différence que, dans la rotation diurne, le Soleil nous paraît faire sa révolution parallèlement à l'équateur, tandis que dans la rotation qui produit la variation de l'obliquité, cette révolution apparente a lieu perpendiculairement à l'équateur.

M. Faye, en disant que l'obliquité varie de  $18^{\circ}$  à  $28^{\circ}$ ,

soit de  $10^{\circ}$ , nous donne contre la théorie limitative un autre argument d'une grande valeur : dans cet ordre de choses, en effet, nous prétendons que M. Faye a au moins autant d'autorité que Laplace, et comme on ne peut attribuer à une légère erreur de calcul la différence de plus de 7 degrés qui existe entre l'amplitude accordée à la variation de l'obliquité par l'un et l'autre de ces deux grands savants, on est bien obligé de reconnaître que des amplitudes si différentes ne peuvent procéder de la même théorie et que l'un ou l'autre s'est trompé en principe. Or, comme ni l'un ni l'autre n'apportent rien à l'appui de leurs chiffres, qu'ils ne nous donnent aucun renseignement sur leur origine et que nous avons montré, du reste, l'inexactitude et même l'impossibilité de toutes les affirmations, calculs ou faits sur lesquels on a cherché à fonder la doctrine de la limitation, nous dirons que les chiffres de M. Faye et ceux de Laplace résultent, comme ceux de Copernic et de Képler et comme la théorie d'Euler, de simples hypothèses et qu'ils se sont trompés les uns et les autres. D'ailleurs, nous sommes persuadé qu'au fond M. Faye ne considère pas son opinion autrement que comme une hypothèse, car, en disant que l'obliquité varie de  $18^{\circ}$  à  $28^{\circ}$ , il semble admettre que l'oscillation se trouve aujourd'hui à son juste milieu, et il sait bien que des coïncidences de ce genre ne sont pas de nature à donner une grande confiance dans l'exactitude d'une théorie quelconque.

Voici un extrait des appréciations de Delaunay, formulées dans son *Traité d'Astronomie*, p. 308 :

« L'obliquité a toujours diminué depuis l'époque  
« des plus anciennes observations, mais cette dimi-  
« nution est excessivement faible . . . . . »

« On se demande naturellement à quoi tient cette  
« diminution lente de l'obliquité. Doit-on l'attribuer  
« à ce que l'axe de la Terre, tout en tournant autour  
« de l'axe de l'écliptique, se rapproche peu à peu de  
« ce dernier axe, ou bien doit-on la regarder comme  
« provenant de ce que l'axe de l'écliptique se déplace  
« lui-même d'une petite quantité pendant que l'axe  
« de la Terre tourne autour de lui ?

« Le plan de l'écliptique peut tout aussi bien chan-  
« ger de direction dans l'espace que le plan de l'équa-  
« teur (1); en effet, on comprend qu'il peut très bien  
« arriver que le centre de la Terre, en se mouvant  
« autour du Soleil, ne reste pas toujours exactement  
« dans un même plan. L'observation seule doit déci-  
« der la question.

« L'orbite a été supposée invariable jusqu'à Tycho  
« Brahé, mais cet astronome ayant remarqué que les  
« latitudes des étoiles situées vers les solstices avaient  
« varié d'au moins un tiers de degré depuis les pre-  
« mières observations de l'école d'Alexandrie, en a  
« conclu que l'orbite se déplaçait lentement dans  
« l'espace . . . . .

« L'examen attentif des variations éprouvées par les  
« latitudes des étoiles a fait voir que le mouvement  
« de l'écliptique ne diffère guère de celui que ce grand  
« cercle prendrait s'il tournait autour de la ligne des  
« équinoxes comme autour d'une charnière pour se  
« rabattre sur l'équateur. »

Nous croyons interpréter fidèlement la pensée de

(1) C'est vrai, mais pour qu'il en résultât une variation de l'obliquité, il faudrait que la direction de l'équateur ne fût pas modifiée par ce changement, et c'est impossible.

Delaunay en disant qu'il est resté dans le doute sur le point de savoir si la variation de l'obliquité provient d'un déplacement de l'écliptique ou d'un changement dans l'inclinaison de l'axe et qu'il n'a fait que présenter les idées de Tycho comme il les comprenait sans se donner la peine de les contrôler. Cependant, nous reconnaissons que la manière dont il s'est exprimé prête à l'équivoque et qu'on pourrait prétendre qu'il a opté pour un déplacement de l'écliptique, erreur assez surprenante de sa part puisqu'il constate à la page 404 de son traité que les perturbations de l'orbite de la Lune n'affectent pas l'angle que son équateur fait avec son orbite, ce qui est beaucoup plus concluant que les idées émises par un astronome anti-copernicien; mais ce qui est certain et confirme notre manière de voir, c'est qu'il est resté muet sur la question de la limitation de l'obliquité et qu'il n'a pas plus fait allusion à la théorie de Laplace et à tous les calculs auxquels elle a donné lieu que s'il n'en avait pas eu connaissance. Or, c'est là pour nous le point capital; il nous importerait fort peu que les astronomes se fussent mépris sur celle des deux lignes qui se déplace s'ils n'avaient pas la prétention de limiter la variation de l'obliquité, et toute discussion à cet égard serait superflue au point de vue qui nous occupe.

Arago, dans son *Astronomie populaire*, s'exprime ainsi sur la même question :

« La variation de l'obliquité existe, mais sa valeur  
« n'équivaut qu'à un quart de degré en 2.000 ans,  
« c'est-à-dire rien d'appréciable.

« Mais, il faut ajouter qu'elle oscille entre d'étroites  
« limites : Laplace a fait voir qu'après avoir atteint

« 1° 20' au maximum, elle recommencera à croître « avec la même lenteur qu'elle décroît aujourd'hui ».

Les termes employés par Arago ne nous permettent pas de dire s'il croyait, comme M. Flammarion, à un balancement de l'équateur ou, comme Laplace, à une oscillation de l'écliptique; mais, en revanche, ils nous permettent de faire une remarque qui ne manque pas d'importance, c'est qu'Arago ne paraît pas avoir réfléchi que si l'obliquité cessait de diminuer dans 10.500 ans, elle ne pourrait recommencer tout de suite à croître avec la même lenteur qu'elle décroît aujourd'hui; mais, qu'elle resterait à peu près stationnaire pendant longtemps et qu'elle croîtrait ensuite beaucoup plus lentement qu'elle ne décroît aujourd'hui. Du reste, il est probable que tous les astronomes qui ont cru à la limitation de la variation de l'obliquité ont commis la même erreur (1), car, s'il en était autrement ils se seraient aperçus que cette doctrine est condamnée par la constance de la valeur de ce mouvement, constance que personne ne conteste aujourd'hui et qui a été reconnue par Laplace et par M. Faye.

Voici, enfin, les idées personnelles de Lalande sur la variation de l'obliquité. Elles ne sont pas les moins extraordinaires.

Dans son *Traité d'astronomie*, 2<sup>e</sup> édition, 1771, vol. 3, p. 149, il dit que pendant le siècle précédent l'obliquité a diminué de 1' 28" 11 et voici la part que ses calculs attribuent à l'influence de chaque planète pour produire ce résultat :

(1) On verra plus loin que Lalande fait exception à la règle, mais cela ne l'a pas arrêté car il a prétendu, pour les besoins de la cause, que la valeur de la diminution séculaire de l'obliquité avait progressé de 8 secondes depuis Hipparque.

Saturne	diminue l'obliquité de	1" 54
Jupiter	— — —	de 15" 75
Mars	— — —	de 0" 23
Vénus	— — —	de 70" 19
Mercuré	— — —	de 0" 40

Total... 1' 28" 11

Il admettait alors que la masse de Vénus était de 0,89, celle de la Terre étant supposée 1.

(Page 153 du même volume). Il a calculé quelle était la valeur de la diminution de l'obliquité dans les siècles passés et il a trouvé qu'au temps d'Hipparque elle était de 1' 20" par siècle, c'est-à-dire inférieure de 8 secondes à ce qu'il la supposait de son temps, et qu'elle a diminué, en tout, de 26' 40" depuis Hipparque. Il ajoute que si on remontait plus loin dans l'antiquité, on trouverait qu'à une certaine époque la diminution était nulle et que si on remontait plus loin encore on trouverait une augmentation. Tout cela, dit-il, est parfaitement d'accord avec les observations des anciens astronomes desquelles il résulte que la diminution était moins considérable autrefois que maintenant. Il y a concordance aussi avec les variations de latitude des étoiles qui sont à peu près égales vers les solstices à la diminution de l'obliquité. Il cite à l'appui de cette affirmation trois étoiles. Sirius d'abord, cette étoile a varié en *sens contraire* de ce que la théorie le voudrait, mais si on tient compte de son mouvement propre, on voit que cette contradiction n'est qu'apparente (1), puis, une dans le Cocher dont la latitude a augmenté de 49 minutes et une dans les Gémeaux qui a diminué de 34 minutes. Ces deux

(1) Pour construire la théorie du mouvement giratoire de l'orbite, Tycho a nécessairement supposé les étoiles fixes, et Lalande est obligé d'invoquer leur mobilité pour ne pas avouer l'inexactitude de cette théorie!

dernières n'ont pas varié de la même quantité que l'obliquité a diminué, mais cela, dit Lalande, peut provenir de leurs mouvements propres ou d'erreurs et il n'a pas l'air de plaisanter du tout en présentant ces faits comme une confirmation de la théorie.

Accord il y a aussi, dit-il, entre les variations des inclinaisons des autres orbites sur l'écliptique, déduites du calcul, et celles qui résultent de l'observation.

Tout concorde donc, conclut-il, pour démontrer que la diminution de l'obliquité n'est pas constante. « Et puis du reste, on n'a aucune preuve de cet équilibre général, de ce printemps perpétuel que d'anciens prétendent avoir existé autrefois. »

Après l'impression de l'édition de 1771, en 3 volumes, Lalande a ajouté à son traité, à titre de supplément, un quatrième volume dans lequel on constate cette curieuse rectification qui est instructive à bien des points de vue :

« On a vu dans la Table (cette table se trouve dans un des trois premiers volumes) que la masse de Vénus est de 0,89 de celle de la Terre (c'est la masse qui lui avait servi à trouver 70" pour l'influence de Vénus) déduite de la supposition qu'on avait coutume de faire sur la loi des densités ; mais cette masse devient plus petite quand on la détermine par la diminution de l'obliquité supposée de 33" 33. On ne trouve plus alors que 0,4389 de celle de la Terre. »

Il rectifie ensuite ainsi qu'il suit les chiffres qu'il avait donnés précédemment pour l'influence de chaque planète :

Saturne	diminue l'obliquité de	1" 03	au lieu de	1" 54
Jupiter	—	de 15" 56	— de	15" 75
Mars	—	de 1" 38	— de	0" 23
Vénus	—	de 14" 59	— de	70" 19
Mercure	—	de 0" 67	— de	0" 40
Total...		33" 33	au lieu de	1' 28" 11

(La différence est grande, mais il paraît qu'elle n'empêche pas l'accord avec toutes les observations car la confiance de Lalande dans l'infailibilité de la théorie n'en est nullement ébranlée).

Quelques années après, Lalande s'étant aperçu que l'obliquité ne diminuait ni de 33" 33, ni de 1' 28" 11, mais d'environ 50 secondes, il est obligé de rectifier encore une fois les résultats de ses singuliers calculs et voici comment il s'y prend : (3<sup>e</sup> édition, 1792, vol. 3, p. 56) « Tycho, dit-il, s'est aperçu que les étoiles situées vers les solstices avaient changé de latitude. En effet, on voit que toutes les latitudes méridionales des étoiles situées vers trois signes de longitude sont devenues plus petites et les latitudes boréales plus grandes au moins d'un tiers de degré.

« (page 65) en multipliant par 100 le mouvement annuel on a le mouvement séculaire des étoiles boréales en latitude par l'action de chaque planète. Voici les nombres auxquels je m'en tiens actuellement ; ce sont ceux de Lagrange, à l'exception de Vénus dont j'ai diminué la masse d'environ un quart de manière à trouver 50" en nombres ronds de diminution séculaire de l'obliquité :

Saturne	diminue l'obliquité de	1" 39
Jupiter	—	de 15" 86
Mars	—	de 1" 03
Vénus	—	de 30" 88
Mercure	—	de 0" 84

Total.... 50"

(toujours conforme, cela va sans dire, aux résultats des observations).

(2<sup>e</sup> vol., p. 108). Voici le tableau des changements séculaires des inclinaisons vraies des orbites planétaires sur l'écliptique en tenant compte du déplacement

de l'écliptique, d'après les calculs basés sur les masses des planètes :

	CHANGEMENTS PRODUITS SUR				
	MERCURE	VÉNUS	MARS	JUPITER	SATURNE
par					
Mercure .....	+ 1" 94	— 0" 05	— 0" 95	— 1" 10	
Vénus ..	+ 9" 46	.....	+ 17" 95	— 17" 67	— 26" 55
Mars....	+ 0" 06	— 0" 42	.....	— 1" 06	— 1" 25
Jupiter.	+ 9" 87	+ 2" 60	— 13" 20	.....	+ 5" 89
Saturne.	+ 1" 04	+ 0" 35	— 1" 25	— 7" 50	.....
Totaux.	+ 20" 43	+ 4" 47	+ 3" 45	— 27" 19	— 23" 01

Voilà certes des rapprochements qui sont édifiants et qui montrent combien, lorsqu'une fois l'homme a embrassé un faux système, il lui est difficile de reconnaître qu'il s'est trompé, quelque évidente que son erreur puisse lui paraître par la suite :

En 1771, la diminution de l'obliquité calculée sur les masses des planètes est de 1' 28" par siècle. Ce chiffre concorde exactement avec l'observation directe de l'obliquité et il concorde à peu près avec les changements de latitude des étoiles. Les variations des inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique, déduites des mêmes calculs, et qui n'ont rien à faire dans la question, mais que l'on confond avec les variations des inclinaisons des axes sur les orbites puisqu'on les assimile à la variation de l'obliquité de l'axe terrestre, concordent également avec les changements constatés par l'observation.

Quelque temps après, la diminution de l'obliquité résultant de l'observation directe n'est plus que de 33" 33, c'est-à-dire trois fois moins forte qu'on ne

l'avait cru d'abord ; mais la théorie n'est pas ébranlée pour cela : en 1771, la masse de Vénus était de 0,89, elle produisait 70" de diminution d'obliquité ; on va la réduire de moitié, on dira qu'elle ne produit plus que 14", la concordance sera toujours parfaite et la théorie sera sauvée. Il n'est pas nécessaire d'être mathématicien pour comprendre qu'en réduisant la masse de Vénus de moitié, on ne diminue son influence que de moitié également et qu'elle devrait produire la moitié de 70", c'est-à-dire 35". Qu'importe, le lecteur n'y regardera pas, de si près et s'il voit des chiffres qui concordent à moins d'un centième de seconde près, il ne songera pas à suspecter l'exactitude d'une théorie qui donne d'aussi beaux résultats.

Plus tard, en 1792, de nouvelles difficultés surgissent : la diminution de l'obliquité résultant des observations est d'environ 50" par siècle. On s'en tire avec autant de facilité que précédemment : au lieu de diminuer la masse de Vénus de moitié, on ne la diminue plus que d'un quart et au moyen d'un calcul aussi merveilleux que les précédents, il se trouve qu'elle produit 30 secondes de diminution d'obliquité, c'est-à-dire exactement la quantité qui est nécessaire pour que la concordance existe toujours et que la théorie soit de plus en plus indiscutable : lorsque, en 1771, la masse de Vénus était de 0,89, elle produisait 70" ; lorsque, en 1772, elle était de 0,43, elle produisait 14" ; et lorsque, en 1792, elle était de 0,67, elle produisait 30" : comprenez qui pourra les mystères de l'analyse mathématique.

Entre autres aveux singuliers, Lalande a fait celui-ci qui mérite d'être souligné : « *La masse de Vénus devient plus petite quand on la détermine par la diminution de l'obliquité supposée de 33" 33.* »

Singulière théorie qui prétend extraire la diminution de l'obliquité de la masse de Vénus à la condition que cette masse se modifiera à volonté et qu'on pourra lui faire produire arbitrairement des résultats toujours conformes aux chiffres vrais ou faux que l'on voudra supposer ! Etrange conception qui, aujourd'hui, extrait la diminution de l'obliquité de la masse de Vénus et qui, demain, est obligée de demander à cette même diminution de l'obliquité la masse de Vénus !

La vérité est, il est bien inutile de le répéter après tout ce qui précède, qu'il n'y a aucune relation possible entre la diminution de l'obliquité et un déplacement de l'écliptique et que la variation séculaire de l'inclinaison de l'écliptique sur les autres orbites n'existant pas, on ne peut pas plus en déduire la masse de Vénus qu'on ne peut la déduire de la masse de Vénus. La masse d'une planète étant connue, on peut trouver par le calcul, ainsi que nous l'avons fait, la perturbation théorique qu'elle peut produire sur la Terre à un certain moment, mais on ne peut pas en déduire celle qu'elle produit en un siècle, par la bonne raison que les perturbations de l'écliptique sont des perturbations momentanées et non des changements de plan continus.

La vérité est qu'il n'y a jamais eu aucune concordance, si ce n'est celles que Lalande a faites à la main, entre les résultats des observations, soit de l'obliquité, soit des latitudes des étoiles, soit des inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique, et ses prétendus calculs, ni en 1771, ni en 1772, ni en 1792. Lui-même s'est chargé de nous démontrer cette vérité, soit en changeant arbitrairement trois fois en 20 ans les résultats de ses calculs, soit en nous citant à l'appui de

ses dires, des faits qui prouvent au contraire leur inexactitude. En effet, il nous signale trois étoiles pour nous prouver que ces astres se comportent conformément à la théorie et il les a si mal choisies qu'il y en a une qui tourne le dos à la direction qu'elle devrait suivre et que les deux autres vont 4 ou 5 fois plus vite qu'il ne le faudrait !

Il nous dit que d'après les observations anciennes de l'obliquité, sa diminution était moins forte autrefois qu'aujourd'hui et que cette circonstance est conforme à la théorie. Cela prouve, nous le reconnaissons à sa louange, qu'il a eu le bon sens de comprendre que si la variation de l'obliquité était limitée, la valeur de cette variation se modifierait constamment et si le fait était démontré, ce serait un argument contre la continuité du mouvement ; mais, ainsi que nous l'avons fait remarquer tout d'abord, non-seulement ce n'est pas prouvé, mais encore les observations démontrent, à l'esprit le plus prévenu, la constance de sa valeur, et si même on voulait admettre que la plus ancienne observation est exacte à une seconde près, sans tenir compte des observations subséquentes, on devrait en conclure que, contrairement aux prétendus résultats de la théorie, la diminution était plus forte que maintenant, il y a 3,000 ans.

Lalande prétend que les variations des inclinaisons des orbites planétaires fournies par ses calculs concordent avec l'observation directe et si l'on rapproche le tableau de ses calculs de celui des observations anciennes comparées à celles d'aujourd'hui, on trouve que l'inclinaison de Mercure, qui, d'après ses calculs, devrait augmenter de 20 secondes par siècle, n'a pas changé depuis Ptolémée ; que celle de Vénus, qui, d'après lui, aurait dû augmenter d'une minute depuis

Ptolémée, a diminué au contraire de cinq minutes ; que celle de Saturne, qui aurait dû diminuer de plus de six minutes, a au contraire augmenté de trois minutes. Il va sans dire que nous ne faisons ces rapprochements que pour montrer qu'il n'y a absolument rien de vrai dans toutes les prétendues concordances sur lesquelles Lalande a étayé la théorie, puisque, ainsi que nous l'avons constaté, toutes les observations tendent à prouver la stabilité des inclinaisons respectives des orbites planétaires et que, du reste, cette stabilité est reconnue par les termes de la théorie elle-même, non pas telle qu'il l'a appliquée, mais telle qu'il l'a citée.

Voici un dernier argument qui pourrait nous dispenser de tous les autres, car si ceux-ci prouvent que les inclinaisons respectives des orbites planétaires ne varient pas, celui-là démontre d'une manière indiscutable qu'elles ne peuvent pas varier : il résulte en effet d'une des lois de Képler que la durée de la translation de la Terre, le grand axe de son orbite et la longueur du trajet qu'elle parcourt sont invariables. Donc les dimensions de l'orbite sont invariables. Or, si les perturbations que peut subir la Terre de la part d'une planète quelconque affectent sa position dans le sens de la latitude, si elles font varier, à un moment donné, les inclinaisons respectives des orbites des deux corps, c'est tout bonnement parce que cette planète ne se mouvant pas exactement dans le même plan que la Terre, ces perturbations ont lieu dans un sens légèrement oblique, et il est évident que si elles ne s'additionnent pas dans le sens de la longitude, c'est-à-dire dans le sens où elles pourraient modifier la forme de l'orbite de la Terre, soit en l'allongeant, soit en la rétrécissant, elles ne peuvent s'additionner non plus

dans le sens de la latitude, c'est-à-dire dans le sens où elles modifieraient son inclinaison relativement à l'orbite de la planète perturbatrice.

En résumé, la théorie qui extrait la variation de l'obliquité des masses des planètes, en additionnant les perturbations en latitude qu'elles produisent sur la Terre pour en faire un déplacement séculaire et à pivot fixe de l'écliptique, n'est pas plus sérieuse que celle de Tycho qui place ce pivot aux équinoxes car il est aussi impossible de comprendre comment des perturbations qui s'opèrent tantôt sur un point de l'écliptique, tantôt sur un autre, pourraient s'additionner de manière à causer une giration de cette ligne sur un pivot, qu'il est impossible de concevoir comment ce pivot pourrait être fixé sur des points qui font le tour du ciel en 26,000 ans.

Nous croyons qu'après cet exposé instructif, nous pouvons clore la discussion avec la certitude d'avoir démontré jusqu'à l'évidence les vérités suivantes :

1° La variation de l'obliquité ne peut provenir d'un déplacement de l'écliptique, d'abord, parce que c'est l'axe qui est incliné sur l'orbite et non l'orbite sur l'axe et ensuite, parce que tout changement dans la direction de l'orbite d'une planète produisant un changement analogue dans la direction de son axe, ne peut, par conséquent, causer le déplacement de cet axe par rapport à son orbite.

2° Lors même qu'on prétendrait que le principe reconnu pour la Lune pourrait être particulier à cette planète, la variation continue de l'obliquité ne pourrait provenir d'un déplacement de l'écliptique puisqu'il est prouvé directement par la théorie des mouvements de la Terre et par les observations anciennes et modernes ainsi que par l'analogie, d'abord, que les

perturbations subies par l'écliptique ne changent rien à l'obliquité, ensuite qu'elles ne s'additionnent pas et, en outre, que l'inclinaison de cette ligne par rapport aux autres orbites planétaires est aussi constante normalement que l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique.

3° Puisque la position de l'écliptique dans le système planétaire est stable et que, fût-elle mobile, son déplacement ne pourrait causer aucune variation de l'obliquité, il est évident que cette particularité ne peut provenir que d'une rotation de la Terre qui, ayant lieu sur un axe différent de celui de l'écliptique et différent de celui de la rotation diurne, modifie nécessairement l'inclinaison de l'axe.

4° La position de l'écliptique étant stable et la variation de l'obliquité ne pouvant, du reste, avoir aucun rapport avec ses déplacements, il n'y a aucune raison pour limiter ce mouvement, puisque Laplace n'a formulé sa théorie limitative que parce qu'il croyait qu'il provenait d'un déplacement de l'écliptique qui aurait rompu, par sa continuité, la quasi-concordance qui existe dans les plans des orbites planétaires, tandis que la constance de sa valeur et la grande diversité des inclinaisons des axes planétaires démontrent au contraire que celui de la Terre doit passer par toutes les inclinaisons possibles.

D'ailleurs, si ce mouvement astronomique n'a pas laissé de traces dans le ciel, il en a laissé dans les entrailles de la Terre qui sont ineffaçables, et celles de son dernier cycle, qui sont encore toutes fraîches, prouvent qu'à une époque relativement récente (il y a 500,000 ans seulement) l'axe a dû passer par son maximum d'inclinaison et que quelque temps auparavant (700,000 ans) il a dû passer par la position perpendiculaire.

Nous concluons donc que s'il est impossible à un naturaliste de nier l'existence d'une évolution périodique des climats, il est tout aussi impossible à un astronome de nier la continuité du mouvement de la Terre qui explique cette évolution, et nous dirons même sans crainte d'être démenti, *qui implique cette évolution*, car elle la ferait connaître si elle n'eût été observée, de même que les faits géologiques nous dévoileraient l'existence de la variation de l'obliquité si elle n'était connue par plusieurs milliers d'années d'observations.

## IV

### Age de l'homme et de la Terre

IL Y A 1.200.000 ANS ENVIRON QUE L'HOMME SAIT FAÇONNER DES INSTRUMENTS. — L'explication des périodes glaciaires, très intéressante par elle-même, acquiert une importance considérable par le fait que le mouvement astronomique qui nous la fournit permet d'indiquer leur durée et que l'on peut, dès à présent, avoir, par ce moyen, une idée très juste des milliers de siècles qui se sont écoulés depuis l'époque à laquelle l'homme ayant acquis assez d'intelligence pour se fabriquer des instruments, il a pu nous transmettre la preuve de sa présence dans les lieux où nous recueillons ces précieuses reliques.

La plupart des naturalistes admettent comme probable que l'homme paléolithique vivait avant l'époque de la dernière extension et comme certain qu'il était au moins contemporain du paroxysme de cette extension. Voici sur quoi cette opinion est basée : on n'a rencontré aucun instrument paléolithique sur le

terrain situé au nord des moraines limitant la dernière extension des glaciers septentrionaux. Or, si l'homme était arrivé dans nos contrées seulement après le départ des glaces, il n'aurait eu aucune raison pour borner son habitat exactement à cette limite. Donc, l'homme a vu la dernière extension (1). Quant à la question de savoir pourquoi l'homme de l'âge du renne, qui a vu la retraite des glaciers, n'est pas remonté vers le nord, elle est suffisamment expliquée par l'accentuation progressive des saisons qui l'a au contraire fait émigrer vers les régions équatoriales où l'on trouve en effet des silex paléolithiques.

A l'appui de ce raisonnement, nous pouvons en ajouter un autre qui nous paraît beaucoup plus concluant.

On a recueilli à Chelles-sur-Marne des silex taillés très anciens en compagnie des restes de l'éléphant ancien, de l'hippopotame et d'autres animaux méridionaux tout à fait à la base des alluvions quaternaires; on en a trouvé également dans les tufs de La Celle qui contiennent, avec la même faune, une flore méridionale et une flore tempérée-froide réunies ensemble. Or, la réunion de ces deux flores et l'existence des animaux méridionaux n'étaient possibles dans le bassin de la Seine que lorsque le climat était exempt d'hivers, c'est-à-dire lorsque la température était constamment uniforme ou à peu près et c'est cette uniformité qui, en réduisant au minimum les températures extrêmes, a causé, dans nos contrées, le paroxysme de l'extension des glaciers. Donc, l'homme était contemporain de la dernière grande extension et puisque nous savons que l'uniformité absolue des climats est produite par la position perpendiculaire

(1) Penck, *L'Homme à l'époque glaciaire*.

de l'axe, il nous est bien facile de connaître la durée du temps qui s'est écoulé depuis cette époque :

En comptant la variation de l'obliquité à raison de 46 secondes par siècle, elle diminue d'un degré en 7.800 ans et il faut à l'axe 700.000 ans environ pour parcourir tous les degrés de l'inclinaison. C'est donc cette durée qui sépare le paroxysme d'extension des glaciers du paroxysme de leur retraite. Depuis cette dernière époque à laquelle l'axe était incliné de 90°, l'inclinaison a diminué de 67°, qui, multipliés par les 7.800 ans nécessaires à la diminution d'un degré, donnent 520.000 ans qui, ajoutés à 700.000 forment un total de 1.220.000 ans et comme 20.000 ans de moins nous laissent encore une antiquité très respectable, nous arrondirons ce chiffre et nous dirons qu'il y a 1.200.000 ans que l'homme est en possession de l'intelligence qui en a fait le roi de la création, ou, pour être plus correct, que les preuves les plus anciennes que nous possédions de son intelligence ont 1.200.000 ans d'existence.

Naguère, encore, ces chiffres auraient paru si fabuleux, si invraisemblables, qu'ils n'auraient provoqué qu'un sentiment de profonde pitié pour celui qui aurait osé les présenter. Mais, depuis quelques années le terrain leur a été suffisamment préparé pour qu'ils ne rencontrent aujourd'hui qu'une surprise relative. A ceux qui en seraient effrayés ou qui seraient tentés d'en rire, nous dirons que le temps, comme l'espace, n'est qu'une abstraction et que 1.200.000 ans ne pèsent pas plus qu'une seconde dans la balance de l'éternité. Nous ajouterons, même, que ce n'est qu'un minimum, car s'il est possible que l'ouest de l'Europe ait été le premier berceau de l'industrie humaine, il n'est pas prouvé que cela soit.

IL Y A PLUS D'UN MILLIARD D'ANNÉES QUE LES COUCHES SÉDIMENTAIRES LES PLUS ANCIENNES SONT FORMÉES. — Lorsque nous avons commencé cette étude, nous n'avions d'autre but que de déterminer la cause des périodes glaciaires. La nature de cette cause nous ayant permis de fixer leur durée, nous avons pu en déduire, d'abord, l'âge de l'homme intelligent; puis, nous étant aperçu que l'évolution des climats avait laissé d'autres traces que celles des anciens glaciers, nous en avons déduit, ensuite, l'âge minimum de la partie de la croûte terrestre reconnue comme étant le produit de la sédimentation.

De nombreux auteurs se sont occupés de cette question avant nous. On a même fait des évaluations en chiffres, mais les géologues n'ayant à leur disposition aucun chronomètre sérieux, ils sont généralement restés bien au-dessous de la réalité. La plupart ont estimé la durée totale de la formation sédimentaire à moins de cent millions d'années et quelques-uns seulement ont osé s'approcher du chiffre d'un milliard.

Quoique l'explication de l'évolution périodique des cours d'eau nous fournisse une base autrement sérieuse que toutes les hypothèses invraisemblables qu'on a imaginées jusqu'à présent, nous n'avons nullement la prétention de donner le chiffre exact de l'âge de nos plus anciens continents, car nous ne voyons, quant à présent, aucun moyen d'étendre l'application du chronomètre que nous possédons aux couches qui ont été formées dans les mers pélagiques sur la figure desquelles les périodes alternatives de grands cours d'eau et de cours d'eau réduits n'ont pu avoir aucune influence. Il n'est pas applicable non plus aux formations qui sont exclusivement le produit des érosions opérées sur les côtes par l'action des

flots. Il ne peut être employé que pour les terrains qui ont été visiblement formés par alluvions fluviales et encore à la condition qu'il y ait dans ces terrains un alternement régulier d'un certain nombre de couches d'une nature différente.

Nous l'appliquerons ici au bassin houiller de Saint-Chamond (Loire) qui contient 12 couches de houille et autant de couches de roches sur 900 mètres de puissance (1). Sachant que chaque couche de houille correspond à une période de cours d'eau réduits, causée par la petite inclinaison de l'axe, et que, par conséquent, deux de ces périodes sont séparées par une durée de 1,400,000 ans, nous multiplions ce chiffre par les 12 couches de houille et nous trouvons, en chiffres ronds, 16,800,000 ans pour une épaisseur de 900 mètres.

En étendant cette règle aux 45 kilomètres composant la série sédimentaire tout entière, nous trouvons qu'il y a 840 millions d'années que les cours d'eau ont commencé leur œuvre et que la Terre est habitable.

Le chiffre que donne notre explication pour la durée de la formation du bassin de Saint-Chamond est un chiffre exact et tous ceux qu'elle donnera pour des terrains où il y a un alternement régulier de strates d'une nature différente le seront également, mais ainsi que nous l'avons déjà fait observer, il n'en est pas de même du chiffre total, d'abord, parce qu'il est basé sur un seul fait et ensuite parce que notre moyen de chronométrie ne peut s'appliquer aux formations uniformes. S'il se trouve à tous les étages de la série sédimentaire des terrains analogues aux houillères, il sera facile de rapprocher notre évaluation provisoire de la

(1) De Lapparent, 4<sup>e</sup> édition, p. 934.



réalité; mais nous pouvons dire dès à présent qu'elle doit être considérée comme un minimum, car s'il est impossible de savoir si les formations provenant de l'action des flots sont plus lentes ou plus rapides que celles produites par les fleuves, il est bien certain que les formations pélagiques sont infiniment plus lentes. Ensuite, nous avons pris pour type, parmi les bassins houillers que nous connaissons, celui qui donne le résultat le moins élevé; si nous eussions pris celui de Mons, nous aurions obtenu un chiffre quatre fois plus considérable. En outre, le chiffre de 45 kilomètres, que nous avons emprunté à M. de Lapparent pour la totalité des terrains sédimentaires peut être regardé lui-même comme une approximation plutôt au dessous qu'au dessus de la vérité, puisque les géologues anglais admettent celui de 80 kilomètres (1) et que, de plus, on ne peut savoir ce qu'il y a ou ce qu'il n'y a pas sous les profondeurs de l'océan.

Donc, il n'est pas téméraire d'affirmer que l'âge de la Terre habitable ne peut être inférieur à un milliard d'années et c'est là surtout ce qu'il importait de savoir car lors même que ce chiffre devrait être doublé, triplé et même quadruplé, cela ne changerait rien aux conclusions philosophiques que l'on doit tirer de l'énorme durée qui nous sépare des débuts de la vie organique telle que nous la comprenons.

On dira peut-être, en mettant de côté toutes les preuves dont nous avons étayé notre théorie, sans autre raison que le préjugé qui nous prédispose à mesurer le temps sur la courte durée de notre propre existence, on dira peut-être qu'une explication qui vieillit tellement notre planète ne vaut pas la peine

(1) *Revue Scientifique* de 1901, 1<sup>er</sup> semestre, p. 138.

d'être examinée, on pourra même nous prouver par des analogies adroitement choisies qu'il n'est pas possible que 16 millions d'années aient été nécessaires pour élaborer une couche sédimentaire de 900 mètres de puissance. On pourra nous dire, par exemple: voyez le Danube, qui charrie, dit-on, 60 millions de mètres cubes de matières par an, il pourrait, à lui seul, en quelques milliers d'années, fournir l'équivalent des matériaux contenus dans le bassin de Saint-Chamond. Cela peut être vrai, mais nous répondrons à l'avance à cette objection possible qu'il serait tout aussi facile de montrer par des arguments du même ordre que le chiffre de 16 millions d'années est au contraire au-dessous de la vérité.

Au lieu d'assimiler les bassins houillers de l'époque carbonifère à nos mers intérieures entourées de vastes continents, dont les grands fleuves leur apportent d'énormes quantités de sédiments, supposons que l'Europe était alors un océan du sein duquel émergeaient çà et là des îles plus ou moins considérables, supposons en un mot que c'était un archipel. Les rivières ne pouvaient, dans ces conditions, avoir qu'un parcours très limité et, si nous admettons que les montagnes étaient peu élevées, leur courant était peu accentué et elles ne devaient apporter à la mer qu'une quantité très restreinte de matériaux. Au lieu de considérer le Danube qui descend des Alpes, qui a un parcours considérable et un courant assez rapide, supposons donc sur une île, dont le bassin de Saint-Chamond recevrait les eaux, une rivière comme la Somme qui n'amène pas autre chose à la mer, même lors de ses grandes crues, que des eaux limpides et quelques débris végétaux (1), ce n'est plus 16 millions

(1) De Lapparent, 4<sup>e</sup> édition p. 178.

d'années qu'il lui faudrait pour combler ce bassin avec des feuilles (1), mais des centaines de millions, s'il n'y avait, par suite du phénomène astronomique que nous avons invoqué une période pendant laquelle la paisible Somme a des crues qui lui font remplir un lit de plus d'un kilomètre et lui permettent de charrier à la mer des sables et des cailloux. Avec les chronomètres de cet ordre, on obtient tout ce que l'on veut ; il n'y a pour cela qu'à savoir les choisir et les appliquer suivant les besoins de la cause que l'on soutient. Cela est si vrai que nous pourrions citer tel géologue, peu partisan de la haute antiquité de la Terre, qui ayant trouvé au bord de l'océan, sous plusieurs mètres de sable, des pièces de monnaie datant de quelques siècles seulement, n'a pas craint de présenter ce fait comme un argument sérieux en faveur de son opinion : une seule tempête pourrait produire le même résultat en quelques instants !

(1) Nous ferons remarquer que, selon toute vraisemblance, les feuilles vertes seules peuvent se convertir en houille et qu'ordinairement les feuilles ne tombent des arbres que lorsqu'elles sont sèches.

## APPENDICE

Nous avons présenté au congrès d'anthropologie préhistorique de 1900 le manuscrit de cet abrégé, et la partie du compte rendu qui le concerne a été publiée par l'*Anthropologie*, puis reproduite par la *Revue scientifique*. Ce compte rendu étant de nature à influencer dans un sens peu favorable à notre explication ceux qui voudront bien nous faire l'honneur de l'examiner, nous croyons devoir montrer ici l'inexactitude de l'analyse succincte qu'on en a donnée, analyse qui en fait un non-sens, et faire connaître la réponse que nous aurions faite aux protestations, non motivées, dont elle a été l'objet, si nous eussions été présent au congrès.

Voici, d'abord, le texte du compte rendu :

« L'auteur est convaincu que l'évolution périodique  
« des climats, des glaciers et des cours d'eau tient à  
« une même cause, et cette cause c'est la variation  
« continue de l'inclinaison de l'axe de la Terre. Il  
« croit être en mesure de faire comprendre au moyen  
« de sa théorie, un certain nombre de phénomènes,  
« la formation de la houille, par exemple. Ainsi, le  
« bassin houiller de Mons a une puissance de 2.900  
« mètres et contient 157 couches de charbon de 0<sup>m</sup> 60  
« d'épaisseur en moyenne, séparées les unes des autres  
« par autant de couches de roches atteignant environ  
« 19 mètres d'épaisseur. Cette superposition régulière

« et continue de 314 couches alternantes de végétaux  
« et de minéraux est due à une succession de périodes  
« de basses eaux et de grandes crues. Pendant les  
« périodes de basses eaux, les alluvions fluviales  
« étaient constituées par les débris végétaux qui ont  
« formé la houille, tandis que les couches rocheuses  
« ont été apportées *par 157 inondations successives*.  
« Les modifications périodiques dans le régime des  
« cours d'eau tiennent à la même cause qui produit  
« les oscillations périodiques des glaciers; cette cause  
« c'est, non pas le déplacement de l'axe de la Terre,  
« mais la variation de son inclinaison. Suivant l'in-  
« clinaison de l'axe, la température varie considéra-  
« blement. La grande inclinaison de l'axe produirait  
« une diminution de la température estivale et l'ex-  
« tension des glaciers dans la zone équatoriale, *tandis*  
« *qu'elle amènerait leur retrait sur le reste du globe*.

« La variation de l'inclinaison de l'axe est indéni-  
« ble, mais elle se produit avec une telle lenteur que  
« l'obliquité ne diminue que de 46 secondes par  
« siècle, soit d'un degré en 7.800 ans et qu'il faut  
« 700.000 ans environ pour atteindre les 90° de l'in-  
« clinaison. Laplace s'est trompé en limitant la varia-  
« tion à 3°, *car l'axe peut être incliné de 90° par*  
« *rapport à l'orbite de notre planète. C'est dans cette*  
« *position que se trouvait la Terre à l'époque de l'ex-*  
« *tension glaciaire qui correspond au Chelléen. Or*  
« *l'axe étant incliné aujourd'hui de 23°, la diminution*  
« *de l'inclinaison a atteint 67° depuis l'époque chel-*  
« *léenne, et un simple calcul permet d'évaluer en*  
« années l'âge de cette époque. Citons d'ailleurs, les  
« conclusions de l'auteur :

(Cette citation étant conforme au texte du résumé  
que nous avons fourni au congrès et ne différant pas,

quant au fond, des conclusions qu'on a lues ci-devant,  
il est inutile de la reproduire ici.)

« Cette curieuse, *mais purement théorique* disser-  
« tation a soulevé plus d'une protestation.

« Sir John Evans, notamment, *rejette* les conclu-  
« sions de M. Rémond tant au nom de l'astronomie  
« que de la géologie. *Il ne peut accepter* que chacune  
« des 157 couches de houille du bassin du Mons ait  
« été produite par une révolution cosmique générale,  
« et, par suite, il considère que tous les calculs de  
« l'auteur pèchent entièrement par la base. »

Voici, maintenant, nos observations touchant l'ana-  
lyse :

Nous ne nous sommes nullement proposé d'expli-  
quer la formation de la houille qui a lieu actuelle-  
ment, tout comme à l'époque carbonifère, soit au  
fond des mers par voie de transport, soit sur place  
par suite de la submersion de forêts : nous avons  
constaté que les alternatives régulières et nombreuses,  
dans certaines houillères, de sédiments lourds et de  
sédiments légers, ne pouvaient provenir que d'une  
variation périodique et régulière dans le volume et la  
violence des crues des cours d'eau qui charriaient ces  
sédiments, variation qui, du reste, a été reconnue par  
tous les géologues qui ont étudié les terrains quater-  
naires et qui n'est une nouveauté qu'en ce sens que  
personne, avant nous, n'avait aperçu ses effets dans  
les étages géologiques antérieurs ; puis nous avons  
montré ensuite que ce phénomène était expliqué et  
impliqué, comme l'oscillation des glaciers, par la  
variation continue de l'inclinaison de l'axe.

On nous fait dire ensuite que les 157 couches ro-  
cheuses du bassin de Mons ont été produites par 157  
inondations successives. Nous avons dit au contraire

que c'était inadmissible et que, par conséquent, chacune de ces couches ne pouvait être que le résultat d'une longue période pendant laquelle les crues des cours d'eau passaient graduellement par leur maximum d'accentuation, après avoir passé par leur minimum, durant le dépôt de la couche végétale sous-jacente.

En lisant que *la grande inclinaison de l'axe produirait une diminution de la température estivale et l'extension des glaciers dans la zone équatoriale, tandis qu'elle amènerait leur retrait sur le reste du globe*, neuf lecteurs sur dix comprendront que la diminution de la température estivale produit, au gré de nos désirs, l'extension des glaciers à l'équateur et leur retrait aux pôles, ce qui serait une énormité impardonnable. On aurait dû dire que si la grande inclinaison de l'axe diminue la température de l'été à l'équateur, elle l'augmente dans les autres zones. Puis, on a oublié de dire ensuite, chose essentielle cependant, que la petite inclinaison de l'axe produit une augmentation de la température de l'été et le retrait des glaciers à l'équateur, tandis qu'elle cause une diminution de la température de l'été et l'extension des glaciers dans les autres zones. Cette lacune est de nature à faire croire que notre théorie n'explique que la moitié d'une oscillation glaciaire.

La partie astronomique de l'analyse est tout aussi incompréhensible.

Lorsqu'on dit qu'actuellement l'axe est incliné de  $23^\circ$ , c'est par rapport à la perpendiculaire à l'orbite de la Terre mais non par rapport au plan de cet orbite, et en disant que l'inclinaison diminue, on entend que l'axe se rapproche de la position perpendiculaire; par conséquent, l'axe étant perpendiculaire à l'époque

chelléenne, son inclinaison étant nulle, cette inclinaison a été ensuite en augmentant jusqu'à ce qu'elle atteigne  $90^\circ$ , c'est-à-dire jusqu'à ce que l'axe coïncide avec le plan de l'orbite; puis elle a diminué, depuis, de  $67^\circ$  et elle continuera à diminuer jusqu'à ce qu'elle soit devenue nulle de nouveau.

Voici, enfin, notre réponse aux protestations :

Cette dissertation, quel que soit le qualificatif qu'on lui applique, n'en explique pas moins, avec la plus grande exactitude, des faits géologiques très authentiques par un mouvement de la Terre non moins authentique.

Nous n'ignorons pas ce que doit la doctrine de la haute antiquité de l'homme à l'illustre anthropologiste qui, le premier, a reconnu et proclamé la véracité des trouvailles de Boucher de Perthes; mais néanmoins nous ferons respectueusement observer à Sir Evans qu'il ne suffit pas, pour détruire une théorie, de dire qu'on la rejette parce qu'on ne peut l'accepter. Rejeter et ne pas accepter sont synonymes et il faut dire pourquoi on rejette, pourquoi on n'accepte pas.

Pour rejeter notre théorie au nom de la géologie, il faut montrer qu'il n'y a d'oscillations glaciaires et fluviales que dans notre imagination, ou que ces oscillations ne sont pas expliquées par la variation de l'obliquité. Pour la rejeter au nom de l'astronomie, il faut montrer que la variation de l'obliquité est un rêve, ou bien invoquer la doctrine qui la limite à une faible amplitude, et, dans ce cas, il faut détruire les arguments par lesquels nous avons prouvé que cette doctrine est fondée sur un quiproquo et qu'elle n'a aucune raison d'être.



## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
I. — Preuves d'une évolution périodique des climats, des glaciers et des cours d'eau .....	7
Examen critique des diverses opinions émises sur la nature des causes qui ont pu produire les grandes oscillations glaciaires.....	8
Diverses observations et études géologiques démontrant l'existence des grandes oscillations glaciaires et leur périodicité régulière .....	11
Faits établissant l'existence d'une période d'extension des cours d'eau, relativement récente, qui a eu lieu à toutes les latitudes.....	21
Faits et études constatant de grands changements dans les climats avant et depuis l'apparition de l'homme.....	23
Faits établissant que l'homme a disparu de nos contrées entre la période paléolithique et la période néolithique...	25
Conséquences des faits observés par la géologie.....	27
1° Il y a une évolution périodique et régulière des climats.....	27
2° Il y a une évolution périodique et régulière des glaciers.....	30
3° Ces phénomènes ont un caractère universel.....	33
4° Chaque période doit être séparée par un laps de temps considérable.....	34
5° Les glaciers progressent actuellement dans les zones tempérées et glaciales des deux hémisphères.....	34
6° Les glaciers ont été beaucoup plus restreints qu'aujourd'hui.....	35
7° Le paroxysme de la dernière extension glaciaire a coïncidé dans notre zone avec un climat doux et uniforme, sans hivers et sans étés.....	36

	Pages
8° Il en était de même dans le nord de l'Afrique.....	36
9° Lors de la retraite des glaciers, dans notre zone, les saisons étaient très accentuées : les hivers très froids et les étés très chauds.....	36
10° La dernière extension des calottes glaciaires septentrionale et australe a été synchronique dans les deux hémisphères.....	36
11° Parallèlement à l'oscillation périodique des glaciers, il y a une oscillation des cours d'eau dont on trouve les preuves dans les plus anciennes couches sédimentaires comme dans les alluvions quaternaires, et ce fait suffit à lui seul pour démontrer l'évolution périodique des climats. Chronomètres naturels prouvant la longue durée de la période postglaciaire et de l'hiatus.....	36 44
Il y a plus de 7.000 ans que la période néolithique est terminée en Egypte.....	45
M. Goodchild évalue à 700 millions d'années l'âge du plus ancien terrain fossilifère.....	46
<b>II. — Il n'y a que la variation de l'inclinaison de l'axe qui puisse expliquer les phénomènes observés, et cette variation existe en effet.....</b>	<b>49</b>
Le mouvement de la précession des équinoxes ne produit aucun changement dans le régime glaciaire ni dans le régime fluvial.....	49
La grande inclinaison de l'axe produit la retraite des glaciers et l'extension des cours d'eau dans les zones tempérées et glaciales des deux hémisphères.....	52
La petite inclinaison produit dans les mêmes zones l'extension des glaciers et réduit les lits majeurs des fleuves à leur plus simple expression.....	54
La grande inclinaison produit, vers l'équateur, l'extension des glaciers et celle des cours d'eau.....	58
La petite inclinaison y produit la retraite des glaciers et la réduction des cours d'eau.....	59
La variation continue de l'inclinaison de l'axe explique exactement la périodicité régulière ainsi que l'universalité des phénomènes observés et ses effets concordent avec toutes leurs circonstances et les conséquences que l'on peut en tirer.....	60

	Pages
<b>III. — La variation de l'inclinaison de l'axe ne provient pas d'un déplacement de l'écliptique, mais d'une rotation de la Terre, et il n'y a aucune raison pour la limiter.....</b>	<b>73</b>
Tableau des observations constatant la diminution de l'obliquité.....	74
La valeur de la diminution de l'obliquité est constante.	75
Laplace a limité à 2° 42' la diminution de l'obliquité qu'il a cru provenir d'un déplacement de l'écliptique.....	77
Ce n'est pas l'écliptique qui se déplace, mais l'inclinaison de l'axe qui varie.....	80
Les perturbations de l'orbite de la Lune ne s'additionnant pas et ne changeant pas son inclinaison normale sur l'écliptique, les perturbations mutuelles des planètes ne doivent pas affecter non plus les inclinaisons respectives de leurs orbites.....	82
Si les perturbations théoriques des planètes pouvaient s'additionner et produire un déplacement continu ou à longue période de l'inclinaison de l'écliptique, elles produiraient le même effet sur l'orbite lunaire.....	85
Les perturbations de l'orbite de la Lune n'ayant aucune influence sur l'obliquité de son axe, il doit en être de même de celles dont l'écliptique est affectée.....	86
L'action variable de la Lune produit sur l'orbite de la Terre des perturbations observables qui ne modifient pas l'obliquité de son axe et qui ne s'additionnent pas.....	88
Lors même que les perturbations théoriques causées sur l'orbite terrestre par les planètes s'additionneraient, elles seraient loin de produire un déplacement de l'écliptique égal à la variation de l'obliquité.....	90
La conception de Tycho, qui a prétendu voir dans les variations de latitude des étoiles un mouvement giratoire de l'écliptique, est d'une réalisation impossible.....	95
La comparaison des observations de Ptolémée et de Tycho montre que ce dernier a pris ses idées préconçues pour la réalité.....	101
La comparaison des observations anciennes et modernes concernant les inclinaisons des orbites planétaires sur l'écliptique prouve qu'elles sont normalement invariables.	103

Critique de l'explication physique de la diminution de l'obliquité qui suppose ce mouvement en rapport avec la rétrogradation des nœuds de l'écliptique..... 110

Idées de divers astronomes anciens, modernes et contemporains sur la variation de l'obliquité, que les uns considèrent comme un mouvement de la Terre sur elle-même, les autres comme un déplacement de l'écliptique; que les uns croient continue, les autres limitée à une amplitude, que les uns évaluent à quelques minutes seulement et les autres jusqu'à 10 degrés, sans donner aucune raison plausible de cette doctrine, ni des chiffres qu'ils adoptent..... 118

IV. — Age de l'homme et de la Terre..... 147

L'homme paléolithique a vu la dernière extension glaciaire ..... 147

Les plus anciens vestiges de l'industrie humaine que l'on connaît ont au moins 1.200.000 ans d'existence..... 148

Il y a plus d'un milliard d'années que les plus anciennes couches terrestres sédimentaires sont formées..... 150

Appendice..... 155

