

EXTRAIT
DU
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE
DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

Tome XXIV. — Année 1910. — Procès-verbaux, séance du 19 juillet 1910, pp. 292-305.

N.-J. KRISCHTAFOWITSCH. — Sur la dernière période glaciaire en Europe et dans l'Amérique du Nord en rapport avec la question de la cause des périodes glaciaires en général. (Traduit du russe par Mr. W. P.)

Les découvertes de formations glaciaires faites pendant ces dix dernières années dans tous les continents, et cela à partir des périodes les plus anciennes de l'histoire de la Terre, ont enrichi la science de données toutes nouvelles, fort importantes et fort variées, données qui me permettent d'émettre en ce moment quelques idées générales et quelques déductions concernant les questions les plus vitales de la géologie glaciaire; nous pouvons réduire celles-ci aux interrogations suivantes : *Qu'entend-on par période glaciaire*, quelles sont les causes immédiates qui l'ont amenée et, ensuite, *qu'entend-on par époques glaciaires et interglaciaires* ?

Jusqu'en ces derniers temps, jusqu'à ce jour même, il n'y a pas trace d'entente parmi les géologues sur ces questions fondamentales. Les controverses entre savants sont fort compréhensibles, si l'on prend en considération que, d'une part, la détermination de ces termes exige leur strict accord avec tous les faits matériels connus, non seulement avec ceux qui sont en rapport immédiat avec la question, mais aussi avec toutes les parties des sciences contiguës et que, de l'autre, l'accumulation même de ces faits, entreprise par les géologues à une date relativement rapprochée, s'est développée sans plan, sans régula-

rité, et que, jusqu'à ces derniers moments, elle a été continuellement accompagnée de vraies surprises.

Je ne citerai pas en ce moment les très nombreuses opinions et les hypothèses existant sur la provenance de la période glaciaire, je ne ferai qu'indiquer qu'elles se groupent en astronomiques, cosmiques et telluriques, et que, du nombre de ces dernières, notre attention est particulièrement attirée par une hypothèse qui est la plus rapprochée de celle que je soutiendrai ici, hypothèse émise par le Prof^r A. Woeikoff, détaillée par la suite par N.-M. Knipowitch et, dans ces derniers temps, par le Prof^r E. Geinitz. Suivant cette hypothèse, la période glaciaire a été provoquée par des changements dans la répartition des mers et des terres, et par les changements de la direction des courants chauds de l'air et de la mer qui en furent la suite, particulièrement par le soulèvement de la Scandinavie et par la déviation du Gulfstream loin des rivages de cette dernière.

En étudiant pendant plus de vingt années les formations glaciaires, j'ai systématisé et qualifié soigneusement et, autant qu'il m'était possible, complètement tous les matériaux s'y rapportant, tant ceux que j'ai recueillis personnellement que ceux qui existent dans la littérature géologique.

Ce sont ces travaux qui me donnent aujourd'hui le courage d'essayer, personnellement, l'élucidation des questions susdites, questions fort difficiles et fort compliquées de la géologie glaciaire.

A partir des temps géologiques les plus éloignés, en commençant par l'ère paléozoïque, les massifs primitifs de l'hémisphère nord — le Canadien, le Scandinavien et l'Angarien — n'ont jamais été complètement submergés par les eaux de la mer et ont représenté, et représentent actuellement, les parties les plus stables des continents anciens et de ceux qui leur ont succédé. Tandis que les intervalles entre ces massifs ont été constamment soumis à des variations ininterrompues, se manifestant par des changements continuels dans la répartition de l'eau et de la terre, ces massifs mêmes sont restés de tout temps des continents peu variables.

A partir de l'ère caïnozoïque, la terre ferme de l'hémisphère boréal se soulève d'une façon presque continue, et les centres de ce soulèvement sont toujours les mêmes massifs; quant aux mers, elles reculent de plus en plus de ces centres de soulèvement. En même temps, selon le témoignage de données paléontologiques nombreuses et variées, le climat change aussi, devenant, de chaud qu'il était, de plus en plus froid, surtout dans les latitudes nord; le règne des animaux et celui

des végétaux changent aussi en composition et en habitat en rapport avec les changements du climat et des conditions physico-géographiques en général. Vers le milieu de cette ère (dès la fin de l'Oligocène), tous ces changements atteignent déjà une intensité nettement marquée, et cela partout, tant en Europe que dans l'Amérique du Nord.

Au Congrès des naturalistes russes, à Moscou (janvier 1910), nous avons entendu l'intéressant rapport du Prof^r A.-N. Krasnoff sur le résultat de ses études sur les restes de la végétation tertiaire du Sud de la Russie, rapport qui nous a dessiné un tableau magnifique du changement progressif de la végétation de cette région, à partir de l'Éocène, sous l'influence du changement graduel du climat, confirmant de la sorte la justesse de notre caractéristique pour la partie Sud-Est de l'Europe.

Vers la fin du Pliocène, le refroidissement général des mers atteignit vraisemblablement son apogée et fut si considérable que les représentants de la faune boréale se répandirent non seulement dans les parties qui appartenaient alors au bassin de l'Océan Atlantique, mais même dans les eaux de la Méditerranée; ce sont : *Cyprina islandica*, *Saxicava arctica*, *Mya truncata*, *Panopæa norvegica*, *Trichotropis borealis* et d'autres qui habitent maintenant exclusivement les mers boréales. La faune terrestre, qui, vers ce temps, avait aussi subi des changements encore plus considérables et qui avait, même sur les limites Sud-Ouest de l'Europe, un certain nombre de formes septentrionales, était limitée dans son expansion, vraisemblablement, sinon exclusivement, principalement par les contrées Sud et en partie par les contrées Ouest du continent (dans la moitié du Nord de l'Europe, on n'a pas encore trouvé un seul reste de végétal ou d'animal datant de ce temps). Dans le calcaire du Pliocène supérieur d'Odessa, dans le Sud de la Russie, on rencontre souvent des blocs de roches cristallines, apportées du Nord certainement par des glaces flottantes; c'est cette dernière circonstance qui donne de la vraisemblance à la supposition qu'alors le manteau finno-scandinave s'était déjà étendu jusque dans le bassin de la mer Pontienne, où les rivières d'alors pouvaient charrier des glaçons détachés de la calotte glaciaire portant les susdits blocs.

Tout témoigne que vers la fin du Pliocène d'énormes surfaces en Europe et en Amérique (Nord) se trouvaient déjà sous la glace et que l'influence de cette dernière se réfléchissait à un fort degré sur le caractère général de la vie des deux continents. Si le régime glaciaire régnait déjà alors en Europe et dans l'Amérique du Nord, il est indubitable qu'il faut en reporter le commencement, les premiers stades

de l'accroissement des manteaux glaciaires, loin dans les profondeurs de l'ère caïnozoïque, peut-être à la fin de l'Oligocène.

La carte de l'extension des mers baignant les bords de l'Europe et de l'Amérique du Nord indique que les eaux de l'Océan Atlantique d'alors n'approchaient pas du tout des parties Nord de ces continents et que les sédiments correspondants s'arrêtent net en Europe approximativement vers le 53° de latitude Nord et en Amérique vers le 42°. Il est évident qu'à ce moment les deux continents avaient une bien plus grande surface et que, précisément, ils étaient étirés dans leurs parties Nord à la rencontre l'un de l'autre selon la latitude.

Le relief actuel du fond de l'Océan Atlantique confirme cette déduction d'une façon remarquable, car c'est justement dans la direction de la limite Nord de l'extinction dans les eaux de l'Océan de l'expansion des sédiments pliocènes marins que se prolonge à travers l'Océan, actuellement encore, une élévation ininterrompue dont les parties les plus hautes sont : les îles Britanniques, les îles Féroé, l'Islande et le Groenland.

Cette élévation, qui traverse l'Océan Atlantique, sert maintenant encore de barrière entre ce dernier et l'Océan Glacial arctique, et est même la limite zoo-géographique de leurs faunes. Il est très vraisemblable, déjà *a priori*, que ce soit précisément cette élévation qui ait été soulevée encore pendant le Pliocène et qui ait formé une bande de terre ferme continue et proportionnellement plus large, réunissant les deux continents, et que les contours Sud de cette terre même aient formé le rivage déjà cité de l'océan pliocène.

L'existence d'un lien direct de *terre-sèche* entre l'Europe et l'Amérique du Nord en ce temps, ainsi qu'à l'époque immédiatement postérieure, est confirmée *de facto* par de nombreuses données de la faune, de la flore et même de la paléo-ethnologie ; à parler plus précisément, on a constaté dans les dépôts (sédiments) pliocènes dans les parties Est de l'Amérique du Nord et dans les parties Ouest de l'Europe un nombre considérable de formes fort proches et même identiques, qui indiquent l'existence d'un échange direct entre la flore et la faune des deux continents à cette époque.

A titre de démonstration, je citerai deux exemples. Les plus anciens types du Mammouth de l'Amérique du Nord (*Elephas Columbi* et *El. Imperator*) sont les plus proches de l'ancien Mammouth de l'Europe *Elephas antiquus*, qui était répandu principalement dans l'Ouest et le Sud de l'Europe et dans le Nord-Ouest de l'Afrique, et qui est complètement inconnu en Asie et particulièrement en Sibérie. Les restes de

la culture de la population *paléolithique la plus ancienne* de l'Amérique du Nord sont les plus voisins et par les types des instruments et par l'âge géologique de ceux de l'Ouest de l'Europe, et cette dernière, si l'on se borne aux faits existants, doit être considérée comme le plus ancien berceau effectif de l'humanité; ces restes ne correspondent pas du tout, ni sous l'un ni sous l'autre des rapports indiqués, aux types asiatiques et particulièrement au type sibérien. Pour ne pas allonger mon travail, je me bornerai, en attendant, à ces exemples, mais je répète qu'on pourrait en citer encore toute une série pour démontrer l'existence du lien direct de terre ferme entre les deux continents au temps considéré (fin du Pliocène et commencement du Post-pliocène).

Les eaux de l'Océan Pacifique, au contraire, avaient en ce même temps une communication bien plus large avec celles de l'Océan Glacial arctique qu'elles ne l'ont au temps présent, car, pendant le Pliocène, elles recouvraient les parties Nord-Ouest de l'Amérique du Nord et augmentaient de la sorte encore plus l'étendue aquatique qui sépare ce continent de l'Asie. C'est en rapport avec ce fait que l'échange de la faune et de la flore terrestres entre l'Asie et l'Amérique du Nord ne pouvait avoir lieu. Et, en réalité, cet échange entre les deux continents n'a eu lieu que beaucoup plus tard (pas avant le milieu du Pliocène), quand s'exécuta le passage dans l'Amérique du Nord du vrai Mammouth sibérien typique, *Elephas primigenius*, et même de son compagnon le Rhinocéros poilu, *Rhinoceros tichorhinus* (les restes des deux sont connus en Amérique aux limites Nord-Ouest), de beaucoup d'autres espèces d'animaux et de plantes, de même que de l'homme asiatique, qui se trouvait encore au stade paléolithique sous le rapport de la culture, mais des types les plus avancés (les instruments sont fort proches des types des stations paléolithiques de l'Est de la Sibérie). Ce dernier émigrant, s'étant ensuite répandu sur tout le continent des Amériques du Nord et du Sud, est indubitablement en rapport de famille le plus étroit avec la population indigène contemporaine du nouveau monde.

Ainsi, dans la seconde moitié du Pliocène et au commencement du Postpliocène, l'Océan Glacial arctique était *fermé*, du côté de l'Océan Atlantique, par une terre ferme, et les courants chauds équatoriaux de ce dernier ne pouvaient y pénétrer; avec les eaux de l'Océan Pacifique il avait, au contraire, une communication bien plus considérable qu'à présent, et les courants chauds équatoriaux pouvaient y pénétrer librement et baigner les parties adjacentes des continents.

Quelles conséquences une telle répartition nouvelle de la terre et de l'eau pouvait-elle avoir pour l'Océan Glacial même et pour les parties adjacentes de terre ferme qui l'entouraient ?

Il est hors de doute que dans une partie prédominante de cet océan, complètement isolée en ce temps des courants chauds, des glaces éternelles et des glaciers devaient se développer, pareillement à ceux qui dominent en ce moment au Groenland et dans l'archipel polaire de l'Amérique du Nord, où les eaux chaudes des courants équatoriaux ne parviennent presque pas. Et, au contraire, la partie de cet océan qui était acquise à l'accès des eaux chaudes de l'Océan Pacifique, pouvait avoir des conditions climatiques plus tempérées, quoique toutefois, en général, vraisemblablement fort rigoureuses, peut-être pareilles, approximativement, à celles qui existent en ce moment au Spitzberg ; c'est qu'alors cet océan était entouré par la terre sur une longueur de près de 545°, au lieu des 515° actuels.

Mais à partir de l'archipel polaire de l'Amérique du Nord (les îles Parry et Melville) jusqu'aux îles de la Nouvelle-Sibérie, l'Océan Glacial arctique, étant fermé aux courants chauds de l'Océan Atlantique, a dû en tout cas se revêtir de glaces éternelles, ce qui, à son tour, n'a pas pu ne pas se refléter sur l'abaissement général de la température des parties adjacentes de la terre ferme. Et voilà que sont créées toutes les conditions nécessaires pour la croissance intensive des glaciers continentaux, qui, s'étendant de leurs centres (massifs primitifs finno-scandinavien et canadien), ont graduellement revêtu d'un manteau glaciaire toute la partie Nord-Est de l'Amérique du Nord et toute la partie Nord-Ouest de l'Europe, et de même beaucoup d'autres hautes montagnes et cimes non seulement des latitudes boréales, mais même celles des latitudes méridionales. L'accumulation colossale des glaces dans l'Océan Glacial arctique et sur des étendues énormes de l'Europe et de l'Amérique du Nord a peut-être amené un abaissement général de la température sur toute la surface terrestre.

La grande période glaciaire de l'histoire la plus nouvelle de la Terre est arrivée.

De la sorte, *cette période glaciaire fut la suite de la fermeture de l'Océan Glacial arctique à l'influence immédiate des courants chauds de l'Océan Atlantique par une barrière de terre ferme.* Là où une pareille fermeture n'avait pas eu lieu, précisément du côté de l'Océan Pacifique, *de facto* il n'y avait pas eu du tout de glaciers en ce temps, ou ils n'étaient formés que dans des points isolés et cela très faiblement en général.

Il est certain que cette circonstance ne fait que confirmer la justesse de l'idée générale que nous développons ici.

Ainsi la fermeture de l'Océan Glacial arctique par une barrière de terre ferme du côté de l'Atlantique a été provoquée par le *soulèvement latitudinal* de la croûte terrestre sur toute l'étendue entre les massifs primitifs finno-scandinavien et canadien.

En 1894 déjà, l'Académicien A.-P. Karpinsky a établi pour la Russie d'Europe la *périodicité* des oscillations de la croûte terrestre dans les directions *latitudinale* et *méridienne*.

Actuellement, il me semble que nous pouvons de plein droit appliquer cette déduction à toute la surface terrestre (voir les cartes de la répartition de la terre et de l'eau à la surface terrestre aux diverses époques de l'histoire de la Terre par Neumayr, Lapparent, Chamberlin, Koken, Frech, Arldt, etc.), et si nous nous reportons de la dernière période glaciaire (cainozoïco-postpliocène) de l'histoire de la Terre que nous avons examinée aux périodes plus anciennes, constatées aux divers temps géologiques à partir du Précambrien, et si nous orientons les traces de chacune d'elles sur des cartes correspondantes de répartition de la terre et de l'eau, nous recevons de nouvelles confirmations remarquables des conceptions émises sur les causes de la dernière période glaciaire. Il se trouve de même que *toutes les périodes glaciaires les plus anciennes ont été accompagnées par la clôture et l'isolement des océans polaires correspondant (Nord ou Sud) aux courants équatoriaux*. Avec cela, des nombreuses traces de glaciation connues jusqu'à présent il n'y a que les glaciations précambriennes de Nan-Fou, en Chine (dans l'ang-Fsi), qui sont le plus difficiles à expliquer au point de vue émis, formations trouvées et étudiées par l'expédition américaine de l'Institut Carnegie. Cependant, dans le cas donné, en se ralliant à l'opinion de B. Willis, nous ne devons vraisemblablement voir dans ces dernières que le retentissement local du régime glaciaire de ce temps dans le Nord de l'Asie, de même que nous ne considérons la glaciation post-tertiaire de beaucoup de montagnes du Sud de l'Europe et de l'Asie que comme le retentissement du régime glaciaire général dans les contrées situées plus au Nord.

Je passe à l'éclaircissement des conceptions : *époques glaciaires* et *interglaciaires*.

Il y a trois points de vue différents dans ces conceptions.

Quelques géologues considèrent chaque époque glaciaire comme indépendante par rapport à l'extension du manteau glaciaire, c'est-à-dire qu'ils comptent qu'à chaque époque le manteau glaciaire se

développait de son centre primitif et, ayant atteint son apogée d'expansion, se rétrécissait de nouveau jusqu'à ce même centre primitif et disparaissait même tout à fait; par rapport à cela, ils considèrent chaque époque interglaciaire comme un temps intermédiaire entre deux époques glaciaires consécutives, pendant lequel le pays était *tout à fait* exempt de glace et jouissait partout de conditions favorables au développement de la vie organique.

D'autres soutiennent l'opinion qu'à chaque période interglaciaire le manteau glaciaire ne faisait que *reculer* plus ou moins loin de la limite de son expansion maximale pendant la période glaciaire précédente et qu'ensuite, pendant la période glaciaire suivante, il s'étendait de nouveau, ensevelissant les dépôts de la période interglaciaire précédente.

Enfin, les troisièmes ne démembrent pas du tout la période glaciaire en époques, n'admettant ni leur unité chronologique ni leur unité stratigraphique; ils expliquent les formations interglaciaires par des oscillations qui ne sont reliées à aucun laps de temps déterminé; dans l'histoire du développement du manteau glaciaire, ils ne distinguent que les *phases* de son expansion (progression) et, ensuite, de son extinction (retrait).

Pour déterminer lequel de ces trois points de vue correspond le plus à la réalité, nous ferons une courte revue de quelques moments et particularités les plus graves et les plus intéressants dans l'histoire du développement du manteau glaciaire finno-scandinavien pendant la dernière période glaciaire caïnozoïco-postpliocène.

Quant à la *première moitié* de l'histoire du développement de ce manteau, on n'a pas jusqu'à présent de données suffisantes pour en tirer des conclusions et des déductions positives. Nous ne possédons de riches matériaux étudiés qu'à partir de la *glaciation maximale (saxoniennne)*, dont les limites ont été en général suivies et déterminées assez soigneusement.

Ce qui suivit cette grande glaciation est nommé *époque interglaciaire helvético-neudekienne* et n'est pas mal aussi étudié à présent, quoique l'étude soit encore loin d'être complète.

J'ai repéré sur une carte tous les dépôts *intermorainiques* de ce temps, connus jusqu'à présent en Europe, et, comme résultat, il se trouve qu'ils sont tous disposés dans les limites d'une *bande* strictement déterminée, d'une largeur de 300 verstes, qui *ceint d'une façon ininterrompue le côté frontal du manteau glaciaire polono-mecklembourgien qui les recouvre*; ils ont partout pour base les formations morainiques

de la glaciation saxonnienne; ils sont composés des dépôts les plus variés : alluviaux, diluviaux, éoliens, subaéreaux, par place marins, et contiennent très souvent *in situ* les restes d'une faune et d'une flore très riches et très variées aussi.

L'ininterruption de cette bande de dépôts intermorainiques sur toute l'étendue de terrain depuis l'Océan Glacial arctique jusqu'à la mer du Nord, la stricte constance de leur position stratigraphique et, enfin, le rapport de tous uniquement à cette bande même, témoignent d'une façon convaincante que tous ces effets doivent leur existence non à des oscillations locales partielles des bords du manteau glaciaire, mais qu'ils se trouvent en rapport avec une cause *générale* grâce à laquelle le manteau glaciaire de la glaciation saxonnienne, qui avait reculé presque de 1 000 verstes de la limite de sa plus grande expansion (jusqu'à la ligne de la limite intérieure de la bande des dépôts morainiques), ce qui a, indubitablement, exigé un temps énorme pendant lequel les parties libres de glace ont eu le temps de survivre à toute une série de changements physico-géographiques et climatiques en rapport avec des changements multiples et très graves dans la composition et dans l'extension de la population animale et végétale, a recommencé à se développer et à avancer *simultanément* sur toute l'étendue de son front, et s'est propagé à des centaines de verstes (jusqu'à 500).

Ce qui vient d'être dit peut être confirmé par d'autres arguments fort sérieux.

J'ai marqué sur une carte tous les gîtes des os de Mammouth connus dans la littérature et trouvés *in situ*, et par cette voie j'ai composé une *carte de l'extension du Mammouth en Europe* pendant le Posttertiaire. La carte est fort curieuse. Il se trouve que *le Mammouth n'a pas du tout existé ni en Scandinavie, ni en Finlande, ni dans les provinces baltiques*, mais qu'en même temps il avait une grande extension vers l'extrême Nord-Est de la Russie jusqu'aux bords de l'Océan Glacial arctique et qu'il vivait en même temps sur les îles Britanniques actuelles. Quelles sont donc les causes qui ont amené sa répartition si capricieuse en Europe ? On a une réponse fort précise si l'on compare la carte de la répartition du Mammouth avec la carte de l'extension des dépôts intermorainiques examinée plus haut. En Europe, le Mammouth n'existait pas précisément au delà des limites de ces dépôts intermorainiques, c'est-à-dire, en parlant autrement, c'est le manteau glaciaire continuant à recouvrir les provinces baltiques, la Finlande et la

Scandinavie pendant l'époque interglaciaire helvétio-neudekienne, qui servait d'obstacle à son extension.

Une autre carte, que j'ai composée de la même manière, est celle de l'extension des stations paléolithiques de l'Homme préhistorique en Europe, Homme contemporain du Mammouth. En l'examinant, nous devons répéter tout ce qui a été dit à propos de la carte de l'extension du Mammouth. *L'Homme paléolithique n'a vécu ni dans les provinces baltiques, ni en Finlande, ni en Scandinavie*, parce que ces parties de l'Europe se trouvaient alors sous la glace.

Pendant, le Mammouth (*Elephas primigenius*) et l'Homme paléolithique (de la seconde moitié du Paléolithique) sont considérés, en toute justice, comme les représentants les plus caractéristiques précisément de l'époque interglaciaire helvético-neudekienne.

De tout ce qui vient d'être dit, il s'ensuit que les dépôts interglaciaires ne sont pas le résultat d'oscillations locales, partielles, non simultanées, des parties marginales du manteau glaciaire, mais qu'ils représentent des *mouvements généraux séculaires, simultanés, grandioses sur toute l'étendue, mouvement de retrait et ensuite d'avancement du manteau glaciaire*, indépendants de ses oscillations locales marginales.

Quelles sont donc les causes *générales* qui ont pu provoquer le changement des époques glaciaires et interglaciaires ?

Revenons à la théorie sus-décrite de la provenance des périodes glaciaires et supposons que la barrière latitudinale de terre ferme qui servait de clôture à l'Océan Glacial ait commencé à *s'affaïsser* temporairement dans une direction méridienne dans l'une de ses parties (probablement vers l'Ouest des îles Britanniques) et que, comme résultat, il y ait eu renouvellement de communication entre les eaux de cet océan et celles de l'Océan Atlantique. Il est hors de doute qu'alors les courants chauds équatoriaux de ce dernier auraient créé avec le temps dans l'Océan Arctique des conditions pareilles à celles qu'on observe à présent, par exemple près des bords de la Scandinavie baignés par le Gulfstream. Les manteaux glaciaires continentaux auraient aussi commencé à diminuer et à reculer, réduisant leurs dimensions. Un nouveau *soulèvement* et une nouvelle clôture de l'Océan Glacial amèneraient certes un renouvellement du régime glaciaire précédent, et les glaciers continentaux recommenceraient à croître et à s'étendre. Pour parler brièvement, nous aurions dans le cas donné précisément le tableau général qui caractérise tous les effets et tous les événements de l'époque interglaciaire.

Cependant, la *supposition* que nous avons faite des affaissements méridiens de la terre ferme durant la période glaciaire était un *fait* en réalité et avec cela un fait non exclusif, non unique même et fort *caractéristique*. Maintenant on a positivement établi que chaque époque interglaciaire a été accompagnée par des *transgressions marines* précisément *méridiennes*.

Pendant l'époque helvético-neudekienne, ces transgressions furent particulièrement nombreuses et étendues. En Europe, par exemple, on a pendant cette époque les transgressions principales suivantes (toutes dans le sens méridien) : vers le Sud de la mer du Nord, vers le Sud de la mer Baltique, vers le Sud de la mer Blanche et de l'Océan Glacial, vers le Nord de l'Aralo-Caspien (ces deux dernières ont été particulièrement étendues).

De la sorte *les affaissements méridiens durant les époques interglaciaires étaient des effets généraux et se trouvaient en liaison mutuelle, directe, ininterrompue*.

Je reviens à l'examen postérieur de l'histoire de la dernière période glaciaire. Le fait que c'est justement à ce temps que se rapporte visiblement la séparation définitive de la faune et de la flore européennes et nord-américaines, est la confirmation de la supposition sus-indiquée de l'affaissement méridien, durant l'époque helvético-neudekienne, vers le Sud des îles Britanniques actuelles.

Le temps de cet affaissement méridien, qui sans aucun doute fut très prolongé, fut de nouveau remplacé par une époque de soulèvement méridien qui referma l'Océan Glacial arctique, mais pour cette fois pour un laps de temps relativement court ou, plus justement, d'une façon incomplète. Le manteau glaciaire qui, durant l'époque précédente de l'affaissement, n'avait pas eu le temps de reculer hors des provinces baltiques, de la Finlande, etc., recommença à se développer et à s'étendre, quoique pour cette fois le territoire regagné fût incomparablement moindre et que l'époque même du régime glaciaire fût visiblement considérablement moins longue que la précédente. C'est approximativement à cette époque que l'Amérique du Nord fut temporairement reliée au Nord-Est de l'Asie (v. plus haut).

C'est ici que j'en finis de l'examen de l'histoire de la dernière période glaciaire.

Il suffit de ce qu'il a été dit pour faire une déduction générale :

La période glaciaire en Europe et dans l'Amérique du Nord a été provoquée par un soulèvement latitudinal, géologiquement long, de la croûte

terrestre, isolant l'Océan Glacial arctique des courants chauds équatoriaux de l'Océan Atlantique; quant aux époques glaciaires et interglaciaires, elles correspondent aux époques des mouvements oscillatoires séculaires de cette barrière latitudinale, donc les premières correspondent aux époques du soulèvement latitudinal maximal et à la clôture plus ou moins parfaite de l'océan polaire, les secondes aux époques des affaissements méridiens et à la communication temporaire des eaux des deux océans.

Pour conclure, encore quelques mots spécialement sur les *oscillations du manteau glaciaire*, c'est-à-dire sur les variations partielles locales de ses parties marginales.

Dans la périphérie de chaque ancien manteau glaciaire, on observe toujours de nombreuses *moraines frontales* ⁽¹⁾, disposées tantôt en rangs parallèles, tantôt s'entrecroisant dans diverses directions, parfois très petites en longueur et en développement, tantôt, au contraire, relativement fort longues et fort développées, etc.; à mesure de l'éloignement de la périphérie dans la direction du centre glaciaire, ces moraines sont de plus en plus rares et disparaissent bientôt presque complètement, et, sur d'énormes étendues, on ne trouve plus que l'extension de la moraine de fond du glacier donné.

Cette régularité dans la répartition des moraines frontales est particulièrement marquée clairement chez nous dans la Russie d'Europe, où les manteaux glaciaires saxonien et polono-mecklembourgeois avaient le plus grand développement et la plus grande extension (voir, par exemple, la carte des moraines frontales de la glaciation saxonnienne, composée par P.-A. Futkowsky pour les gouvernements de Kiev et de Wolhynie, et pour la glaciation polono-mecklembourgeoise, les cartes de A.-B. Missuna des gouvernements de Wilna, de Minsk, de Witebsk et de Fwer).

Il est indubitable que chaque moraine frontale, pour être formée, exige un certain mouvement d'avancement quoique d'une partie marginale correspondante quelconque du manteau glaciaire et que, ensuite,

(1) Ces moraines, représentant de magnifiques barrages naturels, retenaient habituellement les eaux de fonte du manteau glaciaire reculant, en formant des systèmes entiers d'innombrables étangs de grandeur variée; et comme, de la sorte, la provenance de ces étangs est reliée avec les moraines frontales, les uns et les autres forment une zone commune dans la périphérie de chaque ancien manteau glaciaire. Il va de soi que, dans la périphérie des glaciations les plus anciennes, les moraines frontales ainsi que les étangs n'existent plus maintenant dans beaucoup de cas, étant effacés et détruits par le temps ou ensevelis sous les dépôts postérieurs.

pour être déposée, un mouvement contraire de recul de la même partie du manteau glaciaire est nécessaire.

De la sorte, *chaque moraine frontale témoigne d'un certain mouvement oscillatoire d'une partie plus ou moins considérable du manteau glaciaire.*

Si nous observons sur un espace *restreint* la présence de nombreuses moraines frontales, disposées avec cela dans des directions diverses, nous avons le droit de conclure que, en cette localité, il y a eu de nombreux mouvements oscillatoires de petites portions isolées du manteau glaciaire, mouvements conformes dans leurs directions aux détails du relief local et aux autres conditions physico-géographiques.

Là où, au contraire, nous observons sur une *grande* étendue de grandes moraines frontales d'une extension ininterrompue, nous déduisons que, en ce cas, un mouvement oscillatoire d'une partie relativement plus considérable du manteau glaciaire a eu lieu.

La puissance (hauteur et largeur) et le développement de la moraine frontale indiquent aussi, au moins dans un très grand nombre de cas, la *dimension du mouvement oscillatoire* qu'elles représentent.

En prenant tout cela en considération, il est nécessaire de distinguer les susdites moraines frontales dans les périphéries des glaciations saxonnienne et polono-mecklembourgeoise, moraines relativement faiblement développées, peu étendues en longueur et fort variées par leur direction, ne témoignant que des mouvements locaux des bords du manteau glaciaire, de distinguer, dis-je, ces susdites moraines des moraines grandioses par leur développement intérieur et par leur structure, s'étendant d'une manière presque ininterrompue sur des distances énormes, dans une direction unique et strictement observée. Les premières nous dessinent le tableau de *l'agonie du manteau glaciaire* qui, avant de commencer un retrait définitif, soutenait pendant un certain temps une lutte avec les conditions climatiques, qui changeaient, et qui tremblait et se démenait comme dans des convulsions par ses parties marginales. Je rapporte au second ordre des moraines frontales la moraine frontale extraordinaire du Sud de la Finlande — *Salpausselkä* — dont on peut suivre la direction strictement observée d'une façon presque ininterrompue par le cap Hangö, les îles Oesel, Dago, à travers tout le milieu de la Suède jusqu'au Sud de la Norvège, c'est-à-dire sur une étendue de plus de 1 000 verstes. Cette moraine frontale, par place tout un système de moraines, majestueuse par son développement, ceignant tout le front du manteau glaciaire scandinave

au moment correspondant de son histoire, témoigne d'un *mouvement oscillatoire très grand, général et simultané*, de ce manteau glaciaire. Un pareil *mouvement général et simultané* du manteau glaciaire n'a pu être provoqué que par une cause *générale séculaire* et non locale, et c'est pour cela que cette moraine frontale, par sa valeur et sa signification, ne peut être mise en rapport qu'avec une nouvelle époque glaciaire qu'elle représente en ce cas ; la cause qui l'a provoquée est la même que pour les autres époques glaciaires qui se sont développées mieux et plus fortement, et qui ont autrement marqué leur existence.

