

CARACTÈRES

DE

L'ANCIENNE VÉGÉTATION POLAIRE

ANALYSE RAISONNÉE

DE L'OUVRAGE DE M. OSWALD HEER

INTITULÉ :

FLORA FOSSILIS ARCTICA

PAR

LE COMTE GASTON DE SAPORTA

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1868

CARACTÈRES
DE
L'ANCIENNE VÉGÉTATION POLAIRE

ANALYSE RAISONNÉE

DE L'OUVRAGE DE M. OSWALD HEER

INTITULÉ :

FLORA FOSSILIS ARCTICA.

La vie organique atteint sous les tropiques son maximum de puissance et d'énergie ; au contraire, elle s'appauvrit graduellement, à mesure qu'on se rapproche des pôles ou qu'on s'élève sur les plus hautes montagnes ; cet amoindrissement des productions de la vie est dû des deux parts à l'abaissement de la température ; mais dans un des cas l'abaissement tient à la raréfaction de l'air, tandis que dans l'autre il dépend de l'obliquité des rayons solaires, combinée avec la longue durée des nuits d'hiver. En effet, à partir du cercle polaire, les heures de jour pendant la saison froide s'abrègent rapidement, et l'on se trouve en présence d'une nuit absolue de un à plusieurs mois, précédée et suivie d'une série de faibles crépuscules ; plus loin, toute vie organique finit par s'éteindre, et les seuls êtres que l'on rencontre dans les latitudes les plus reculées sont ceux à qui l'émigration est permise, comme les Oiseaux et les Poissons voyageurs. Les longs jours polaires sont très-loin de balancer l'influence de l'obscurité hibernale ; l'énorme croûte de glace qui recouvre le sol des continents et des îles ne fond jamais qu'imparfaitement ; la chaleur s'établit tard et se manifeste lentement : son effet principal est de détacher et de lancer à la mer des masses flottantes, prolongement inférieur des glaciers qui baignent de toutes parts leur pied dans la mer. Cette chaleur, malgré sa courte durée, ranime aussi chaque année les oasis clair-semées où la végétation se maintient, grâce à

d'heureux accidents du sol et à la faveur de certaines expositions. Ce sont des plantes humbles de stature, vivaces pourtant, formant un gazon serré, ensevelies neuf mois sous la neige et la glace, se réveillant chaque année, durant de courtes semaines, pour se hâter de fleurir et de fructifier. La végétation n'existe dans ces parages qu'à la condition de se cacher; quelques rares espèces frutescentes dépassent çà et là de quelques degrés les limites du cercle polaire; mais les espèces réellement indigènes, le Bouleau nain, les Saules, les Empétrées et Éricacées, ne sont que des arbustes rampants; elles donnent lieu à des touffes diffuses et traînantes que le manteau de l'hiver recouvre aisément chaque année. Toutes ces plantes ne s'arrêtent pas à la fois; quelques-unes s'avancent plus loin que les autres, comme le *Saxifraga oppositifolia* et le *Silene acaulis*; enfin certains Lichens constituent le dernier terme de la végétation terrestre, aussi bien au sommet des Alpes que vers le pôle. On a comparé très-justement celui-ci à une montagne immense, à laquelle la zone tropicale servirait de base; en s'élevant en effet vers les hautes latitudes, à travers la zone tempérée, on voit s'arrêter successivement les divers groupes de plantes. Chacun d'eux a sa limite polaire; les Palmiers, par exemple, deviennent exceptionnels au delà du 36° degré; leurs espèces les plus humbles ne dépassent pas le 44° degré, et seulement sur quelques points très-rares. Les Laurinées ne vont guère au delà de la même limite, pas plus que les Mimosées; le Charme s'arrête vers le 57° degré; le Hêtre, un peu plus loin; le Chêne, au 61° degré; le Frêne, avant le 62° degré; le Tilleul, l'Orme, l'Érable, avant le 64° degré; l'Aune, le Tremble, le Pin et le Sapin, avant le 70° degré. Vers ce point, la végétation frutescente se trouve presque entièrement éteinte, et l'on n'observe plus que la flore polaire, dont beaucoup d'espèces sont les mêmes que celles des régions alpines les plus élevées. Ainsi, sur notre globe, la vie végétale, loin de rencontrer partout les mêmes conditions d'existence, a concentré son activité dans la zone périphérique la plus éloignée de l'axe de rotation; elle languit et meurt dans la direction opposée, où elle prolonge avec peine ses dernières colonies. Il semblerait, en

s'arrêtant à l'état apparent des choses, que certaines plantes aient pu seules se plier aux dures conditions de la nature polaire ; plus robustes que les autres, elles s'avanceraient plus ou moins, et les dernières s'arrêteraient enfin devant l'obstacle infranchissable du climat. Les espèces auraient alors marché du sud au nord, de divers points de la zone tempérée, convergeant toutes vers un point central qui serait le pôle. Mais les phénomènes sont en réalité bien plus complexes ; il est aisé de le prouver, soit que l'on considère les éléments de la végétation actuelle, soit que l'on remonte par l'observation des plantes fossiles jusqu'aux faits de l'ordre géologique.

En premier lieu, les végétaux ne sont pas distribués à la surface du globe, comme si, partis d'un foyer unique, ils s'étaient répandus de l'équateur vers les pôles ; loin de là, lorsque dans cette direction certaines espèces s'arrêtent, c'est pour être remplacées par d'autres que le regard rencontre pour la première fois ; de plus, les espèces n'ont presque jamais rien d'isolé dans leur maintien ; elles se combinent entre elles de manière à former plusieurs ensembles successifs, placés dans des conditions définies, et habitant une région déterminée. Les frontières indécises de ces régions végétales n'empêchent pas d'en reconnaître l'étendue, et de saisir les traits des associations de plantes propres à chacune d'elles. Quelles que soient les causes premières qui ont autrefois présidé à la constitution de ces divers ensembles, leur existence ne saurait être douteuse ; nous distinguons la flore de la Méditerranée de celle de l'Europe centrale, et celle-ci de la flore arctique. Mais si les flores se divisent par région, elles se mêlent le plus souvent de manière à se pénétrer mutuellement, comme font les races humaines, malgré leur autonomie, lorsqu'elles disséminent des colonies ou se laissent submerger par d'autres races envahissantes. Il se trouve donc, en négligeant ce qui nous écarterait de notre sujet, que la flore des régions arctiques non-seulement possède des espèces qui la distinguent essentiellement, mais qu'une notable proportion de ces espèces reparaît au sommet des Alpes, au-dessus de 1500 mètres d'élévation. Les espèces communes aux Alpes et à la zone arctique sont les plus nom-

breuses, les plus saillantes et les plus fixes ; et pourtant elles sont maintenant séparées par un grand espace continental peuplé d'espèces différentes. Il est difficile de ne pas admettre un point de départ originaire commun à toutes ces espèces ; mais où le placer ? est-ce au nord ou au sud ? En d'autres termes, les espèces alpino-polaires sont-elles parties du centre de l'Europe pour envahir la zone polaire, ou bien ont-elles rayonné de celle-ci pour venir de proche en proche occuper le sommet des Alpes ? C'est là un problème inextricable en apparence, parce qu'il tient à des causes qui n'agissent plus sous nos yeux ; toute communication directe est aujourd'hui fermée entre les deux régions, et pour que les plantes en question aient pu passer de l'une à l'autre, il faut nécessairement admettre de grands changements. Ces changements ont eu lieu en effet, et la géologie fournit la clef du problème par la théorie de l'extension des glaciers.

A une époque antérieure à la nôtre, l'Europe centrale et septentrionale était devenue une Baltique immense, bordée sur son périmètre par une série de glaciers gigantesques descendant de tous les sommets. Il est tout simple que la végétation qui couvrait alors le pied des montagnes et s'étendait aux bords des anciens glaciers ait partout revêtu une physionomie uniforme, et se soit trouvée composée des mêmes espèces, sous l'empire de conditions sensiblement égales ; mais d'où venaient ces espèces ? M. Heer, qui examine cette question au début de son ouvrage, nous paraît toucher du doigt la vraie solution, lorsqu'il observe que si les espèces polaires étaient arrivées par le sud, la zone arctique, à laquelle auraient abouti les rayons convergents du mouvement qui les aurait entraînées vers le nord, non-seulement de l'Europe, mais de l'Asie et de l'Amérique, devrait renfermer des formes empruntées à ces divers pays, et distinctes l'une de l'autre par suite de la diversité de leur origine. Or, c'est le contraire qui existe, puisque l'on signale la présence simultanée dans nos Alpes et dans celles des États-Unis d'un certain nombre d'espèces, comme le *Silene acaulis*, le *Saxifraga oppositifolia*, etc., qui se retrouvent également dans la végétation arctique. Ainsi le point de départ commun de ces espèces doit être placé

dans le nord, et c'est de là, comme d'un foyer, qu'elles ont dû s'étendre en rayonnant vers le sud. Sans cela, il faudrait admettre qu'elles sont sorties, revêtues de caractères identiques, de plusieurs centres distincts, hypothèse généralement repoussée.

Si les espèces polaires sont venues du nord, comme d'une région mère, en s'irradiant à travers les continents dont elles occupent les sommets montagneux, il est naturel de se demander quelle est leur ancienneté dans la zone d'où elles sont sorties, comment elles s'y sont formées, et enfin quel était l'aspect de la végétation arctique dans les âges antérieurs au nôtre. Tous ceux qui s'intéressent à l'histoire du globe et à celle de la végétation en particulier savent qu'au milieu des temps tertiaires l'Europe était encore loin de ressembler à ce qu'elle est maintenant. Réunie probablement à l'Amérique, elle était partagée obliquement, de la vallée du Rhône à celle du Danube, par une Méditerranée sinueuse, à qui sont dus les dépôts connus sous le nom de *mollasse*. Cette mer intérieure, couvrant la plaine suisse, des Alpes au Jura, s'étendait au loin du côté de Vienne pour se prolonger en s'élargissant jusqu'au centre de l'Asie. Essentiellement tempérée, baignant une contrée divisée au sud en plusieurs archipels, coupée de grands lacs, et dominée par des chaînes assez élevées pour rafraîchir l'atmosphère, trop peu pour recevoir encore des neiges éternelles, cette mer présentait sur ses deux rives le spectacle d'une merveilleuse végétation adaptée à un climat où l'humidité incessante de l'air et des saisons, sans extrêmes d'aucun genre, favorisait pleinement son essor.

A l'époque où les Palmiers se montraient jusqu'au cœur de l'Allemagne, où les Sapindacées, les Mimosées, les Convolvulacées tropicales, les Diospyrées, de grandes Fougères probablement arborescentes, des Broméliacées épiphytes, habitaient le nord de la Suisse, où des Laurinées, appartenant aux genres *Persea*, *Laurus*, *Cinnamomum*, *Camphora*, s'avançaient jusqu'à la Baltique, quelle pouvait être la végétation de la zone glaciale arctique? Certainement, en admettant *à priori* une dégradation climatérique analogue à celle de nos jours, la végétation devait s'étendre bien plus loin dans le nord, avant de se

trouver réduite aux proportions actuelles. Mais d'autre part, comme dans l'Europe d'alors, à côté des types miocènes de physionomie exotique, il s'en rencontre d'analogues à ceux qui vivent encore sur notre sol ou qui habitent les parties tempérées des continents voisins, on peut se demander si le même mélange existait dans la flore polaire fossile, et si elle ne renfermait pas les prototypes des principales formes qui la distinguent si nettement aujourd'hui. Du reste, ce n'est pas seulement l'abaissement de la température qui sépare les régions polaires des tempérées ; la distribution des heures de lumière et d'obscurité, leur durée relative et par conséquent l'ordre des saisons, n'ont rien de commun avec ce qui existe en Europe ; dès lors, on doit s'attendre à reconnaître les effets de cette différence dans la végétation qui les aurait subis, nonobstant l'élévation présumée de la température à la surface du globe tout entier. Telles sont les questions qu'il est naturel de s'adresser au sujet de la flore polaire fossile ; ou plutôt, jusqu'à ces derniers temps, on était à peine en état d'y songer, car les documents étaient nuls ou mal interprétés, l'ignorance absolue, les voyages difficiles ou même suivis de fréquents désastres ; et l'on pouvait croire que l'intelligence humaine négligerait longtemps de pareilles énigmes, au lieu de se fatiguer à en poursuivre la solution. La persévérance de M. Heer, unie à l'audace de plusieurs voyageurs illustres, et surtout la longue série d'expéditions organisées par les Anglais dans le but de rechercher les traces de sir John Franklin, ont triomphé de tous les obstacles. A travers des fatigues inouïes, et malgré bien des mécomptes, de riches collections d'empreintes fossiles ont été arrachées aux déserts glacés du Nord ; mais il fallait les coordonner, en saisir le sens, déchiffrer en un mot les caractères de l'inscription. M. Heer a su mener à bien cette tâche, dont nous essayerons de formuler ici les principaux résultats.

Précisons d'abord certains détails de géographie physique et de géologie.

Les plantes fossiles examinées par M. Heer proviennent de six contrées différentes, qui sont : 1° le Groënland, 2° les îles Melville, 3° le Canada septentrional sur les bords du fleuve Macken-

sie, 4° la terre de Banks, 5° l'Islande, 6° enfin le Spitzberg. Ces contrées sont situées à de grandes distances l'une de l'autre ; en sorte que la plus orientale, le Spitzberg, placée sur le même méridien que la Scandinavie, se trouve séparée du pays où coule le Mackensie par un demi-cercle de la sphère. La latitude ne varie pas moins, puisque la plupart des plantes d'Islande, aussi bien que celles du Mackensie, proviennent du 65° parallèle, c'est-à-dire de pays placés un peu en dehors du cercle polaire, tandis que les plantes du Groënland ont été recueillies sous le 70° degré, et que celles du Spitzberg ont été rencontrées vers le 78° degré. Les renseignements ainsi obtenus sur l'ancienne flore arctique ne sont pas seulement des indices épars ; ils s'étendent à un espace qui embrasse près de la moitié de la zone arctique, en deçà comme au delà du cercle polaire, et pénètrent jusqu'à une distance qui n'est séparée du pôle lui-même que d'environ 10 degrés. Tous concordent admirablement, et cette concordance harmonieuse des éléments si variés dont la science dispose fait encore mieux ressortir l'unité caractéristique de l'ancienne végétation, ainsi que son intime liaison avec celle de l'Europe contemporaine. Il est facile en même temps de constater sa vigueur, sa puissance, la richesse de ses formes ; rien de commun avec ce qu'on observe aujourd'hui aux mêmes lieux. De vastes forêts peuplaient alors l'extrême Nord, et s'étendaient probablement jusqu'au pôle. Ce ne sont point les genres ni les formes qui dominent dans la flore arctique actuelle que l'on a sous les yeux, mais plutôt les types européens, et encore mieux ceux d'Amérique. Les espèces tertiaires les mieux connues ne s'arrêtaient pas au voisinage du cercle polaire ; elles le franchissaient sans obstacle, et plusieurs parvenaient jusque dans le Spitzberg septentrional ; mais avant de pénétrer plus avant dans cette nature si curieuse, il faut insister quelque peu sur le côté géologique de la question, côté dont l'importance est très-grande, puisqu'il nous découvre l'état physique de ces contrées, dans les temps antérieurs aux nôtres, et les circonstances à la faveur desquelles les anciennes plantes nous ont transmis leurs vestiges.

Grâce aux voyages d'exploration successifs, parmi lesquels

ceux de Ross, de Parry, de Franklin, d'Ingefield, tiennent le premier rang, la géographie des terres arctiques, au nord du continent américain, est maintenant bien connue. Ces terres forment une réunion d'archipels de diverses grandeurs, entremêlés de passes étroites, presque toujours glacées, qui séparent les différentes îles, et font communiquer les mers intérieures qui s'étendent entre les principales. A l'occident, la Terre du prince Albert et celle de Banks circonscrivent une de ces mers que les îles Patrick, Melville et Bathurst, aux contours profondément déchiquetés, ferment au nord, tandis que la Terre du Prince de Galles la borne à l'est. Le détroit de Banks (1) fait communiquer à l'ouest cette mer avec la grande mer Glaciale, tandis que, dans la direction opposée, le détroit de Barrow, continu avec le canal de Lancastre, amène dans la baie de Baffin. Celle-ci, véritable méditerranée, ouverte au sud par le détroit de Davis, aboutit au nord à la mer polaire par un canal sinueux, exploré par Parry jusqu'au 84° degré. Elle baigne, à l'est, la grande terre du Groënland, qu'on peut regarder comme une sorte de continent polaire; plus loin, vers l'est, le Spitzberg se rattache au même système, tandis que l'Islande, située presque entièrement en dehors du cercle polaire, s'en sépare à divers points de vue, malgré sa proximité de la côte orientale du Groënland. La plus grande partie du Groënland et les archipels qui l'accompagnent sont compris entre le 67° et le 80° degré de latitude nord. Leur constitution géologique offre une conformité évidente, qui dénote partout la succession des mêmes phénomènes; partout les roches cristallines et les formations paléozoïques, principalement la silurienne, dominant sur toutes les autres; elles constituent presque entièrement le sol de ces régions, et montrent qu'une mer, d'abord sans limite, fit bientôt place, comme en Scandinavie, à des étendues de terre ferme que la mer n'a plus recouvertes, à partir de leur première émer-sion. L'espace occupé par cet élément dut aller en diminuant à partir de la période la plus ancienne, celle dite de transition.

Déjà au temps des houilles il existait une terre polaire; mais

(1) Ou de Mac-Clure, selon d'autres cartes.

cette terre, comme le fait remarquer M. Heer, s'étendait plutôt vers le sud, à partir du 76° degré, c'est-à-dire dans la partie méridionale des îles Parry, puisque la partie septentrionale de cet archipel est occupée par le mountainlimestone, formation marine contemporaine du terrain houiller. Des traces de houille et quelques empreintes peu nombreuses sont venues confirmer cette manière de voir. M. Heer est parvenu à déterminer douze espèces dont les principales ont été recueillies à la baie de Skène, dans l'île Melville, par le capitaine Mac-Clintock; d'autres proviennent de Graham, dans l'île Bathurst, et ce seraient les plus curieuses, si elles annonçaient, comme le croit M. Heer, un Pin (*Pinus Bathursti* Heer) caractérisé par des fragments de feuilles aciculaires. Le *Thuites Parryanus* Heer constitue de son côté un type plus analogue à ceux du Jura qu'aux espèces du terrain houiller; les autres sont des Fougères (*Schizopteris*), des *Lepidodendron*, des *Noeggerathia* réduits, il est vrai, à de très-petits fragments; mais ils suffisent pour faire voir que la végétation carbonifère de la zone arctique n'avait rien qui la distinguât essentiellement de celle des autres points de notre hémisphère. La terre qui vit s'élever ces premières plantes ne fit ensuite que s'agrandir; les traces de trias, les dépôts jurassiques moyens très-nettement caractérisés que l'on a observés sur divers points des régions polaires le prouvent surabondamment; mais il est à croire qu'à partir de la dernière de ces deux époques, il ne s'opéra plus de changements dans la configuration des terres arctiques, peut-être beaucoup plus étendues qu'à présent ou même réunies en un seul continent; le terrain jurassique supérieur, ni la craie, ni les dépôts marins tertiaires n'y ont laissé de vestiges, tandis que les empreintes végétales nous avertissent du rôle qui était alors dévolu aux plantes terrestres dans cette partie du monde.

Les plus anciennes sont des plantes du terrain crétacé recueillies à Kome, le long de la côte occidentale du Groënland, sur la rivière de Kook, au fond de la baie d'Omenak, localité située un peu au sud d'Upernavik vers le 70°, 2/3° latitude et le 52° degré longitude. Sur le gneiss reposent des lits de grès,

alternant plusieurs fois avec des schistes argileux qui renferment des lignites exploités depuis cinquante ans ; les empreintes végétales proviennent de ces schistes et comprennent une réunion de seize espèces dont plusieurs offrent beaucoup d'intérêt. Ce sont des Fougères, une Cycadée (*Zamites arcticus*) et une tige monocotylédone dénotant peut-être un Palmier. Les Conifères présentent un *Sequoia* très-répandu dans la craie d'Europe (*Sequoia Reichenbachii* Gein. — *Cryptomeria primæva* Cord. — *Geinitzia cretacea* Ung. — *Cycadopsis aquigranensis* Deb.?). Un Pin (*Pinus Peterseni* Heer), un Sapin (*Pinus Crameri* Heer), une Cupressinée (*Widdringtonites gracilis* Heer) : ces désignations, il est vrai, ne reposent que sur l'observation de rameaux. Le genre *Gleichenia* domine parmi les Fougères, qui comprennent à elles seules les deux tiers du nombre total. La concordance de cette Flore avec celles du quadersandstein de Bohême, de Moletein en Moravie et de Quetlinburg dans le Harz, est vraiment surprenante. La présence d'une Cycadée, l'absence des Dicotylédones, la prépondérance des Fougères, la reculent au delà de la craie supérieure ; mais si on la place vers la partie moyenne de ce terrain, on constatera aisément la liaison étroite qui la rattache aux autres flores de cet âge. M. Heer fait remarquer que parmi les quatre espèces de *Gleichenia*, l'une est identique avec le *G. Zippei* si répandu dans la craie de Bohême et d'Autriche, tandis que le *G. Rinkiana* Heer se rapproche sensiblement du *G. (Didymosorus) comptoniifolia* Deb., de la craie d'Aix-la-Chapelle, et du *G. Kurriana* Heer de celle de Moletein en Moravie. Une autre Fougère du groupe des Marattiées (*Dancæites firmus*), entièrement absent, comme les types précédents, de la végétation européenne actuelle, se trouve représentée dans la craie d'Aix-la-Chapelle par une forme voisine. Le *Sclerophyllina dichotoma* ressemble à une espèce wéaldienne, le *S. nervosa* Dkr., et le *Zamites arcticus* au *Z. Lyelli* Dkr. de la même formation. On voit, en réunissant tous ces vestiges, que la florule crétacée de Rome a des ressemblances bien marquées avec la série crétacée européenne, mais qu'à l'âge auquel son étude nous reporte rien ne dénotait dans l'extrême Nord la révolution végétale sur le point

de s'accomplir par l'introduction des premières Dicotylédones angiospermes. Cette catégorie de plantes, si toutefois il est permis de se prononcer sur d'aussi faibles indices, n'aurait pas devancé près du pôle le moment de son apparition en Europe et en Amérique. Jusqu'ici, c'est au fond de cette dernière contrée, à Sioux-City, dans le Nebraska, que s'est montrée la plus ancienne des flores caractérisées par la prédominance des Dicotylédones. L'observation des plantes polaires fait voir cependant qu'une très-grande égalité de conditions climatiques s'étendait alors sur notre hémisphère, puisqu'il n'existait aucune différence sensible entre la végétation de l'Europe centrale et celle du Groënland. Cette uniformité a dû persister durant une période incalculable; quoique déjà moins prononcée, elle existait encore à beaucoup d'égards des milliers de siècles après, au milieu de l'époque tertiaire. Tous les changements opérés successivement en Europe avaient eu sans doute leur contre-coup dans le Nord; les alentours du pôle avaient changé d'aspect comme l'Europe elle-même, et les deux contrées étaient demeurées assez étroitement liées pour continuer à posséder en commun de nombreuses espèces, d'autant plus faciles à déterminer que les matériaux vont être plus riches et plus abondants. Quoique rien ne trahisse encore la venue de l'état actuel, on commence dès lors à observer certains effets dépendant visiblement de la latitude, et la zone arctique, tout en possédant en partie les mêmes végétaux que l'Europe contemporaine, ne présente plus, relativement à celle-ci, la même uniformité. Ce sont là les traits dont nous allons être frappés, en poursuivant l'examen de la végétation tertiaire arctique.

Il y a plusieurs choses à considérer dans cette végétation, ses gisements, son origine, ses caractères d'ensemble, ses relations, enfin les conséquences que l'on peut retirer de son examen pour rétablir le climat de la zone arctique tertiaire et apprécier les changements de toute sorte qui ont dû s'opérer depuis. Nous serons forcés, afin de ne négliger aucun point essentiel, de glisser rapidement sur tous, en renvoyant au livre lui-même pour ce qui tient aux développements et aux descriptions.

Les gisements se ressemblent d'une manière frappante et se rattachent évidemment à l'influence d'une seule cause générale dont l'action, à un moment donné, a dû être très-énergique. Aux bords du Mackensie, sur la Terre de Banks et dans le Groënland, ce sont toujours des formations d'eau douce dans lesquelles les lignites alternent avec des grès, des argiles, mais surtout avec des concrétions presque toujours ferrugineuses, dues à l'action puissante et prolongée d'anciennes sources minérales qui ont opéré la fossilisation d'une immense quantité de bois et de tiges, de feuilles et d'organes végétaux de toute nature.

Depuis cette époque, aucune influence physique, aucun dépôt sédimentaire, aucune action érosive, en dehors de celle des glaciers, n'est venue altérer les vestiges de ces phénomènes grandioses. Ces terres vouées au silence et à la solitude sont recouvertes, sur une foule de points, des débris pétrifiés des anciennes forêts dont plusieurs occupent encore leur place naturelle, tandis que d'autres fois les tronçons amoncelés semblent l'œuvre du bûcheron qui les aurait récemment abattus. Les lignites, lorsqu'ils existent, occupent fréquemment la partie inférieure des formations d'eau douce, dont l'épaisseur atteint parfois plusieurs centaines de mètres, et qui paraissent se prolonger sur de vastes étendues. M. Heer fait ressortir l'affinité de composition chimique de ces lignites avec ceux de l'Europe miocène; ils renferment fréquemment du succin, et cette circonstance les rapproche de ceux de l'Europe où cette substance est la plus abondante.

Le principal dépôt de plantes fossiles, dans le Groënland, est Atanekerdruk, situé vis-à-vis de l'île de Disco, sur la presqu'île de Noursoak qui se trouve séparée du continent par un énorme glacier. Les couches tertiaires forment une montagne conique, de près de onze cents pieds de hauteur, escarpée et difficilement accessible. A ses pieds on rencontre un ravin profond où affleurent de nombreux lits charbonneux, renfermant des tiges fossiles. Les principales couches, au nombre de quatre, alternent avec des strates de limon et de grès. En gravissant les flancs de la montagne, vers huit cents pieds de haut, on rencontre une grande quantité de fragments de tiges carbonisées qui semblent

occuper encore, au milieu de la roche, leur position naturelle ; ces mêmes couches renferment beaucoup de succin ; un peu plus haut, on rencontre l'assise qui renferme les feuilles fossiles et que surmontent enfin de nombreux lits charbonneux. Je ne puis m'empêcher de faire ressortir l'extrême analogie de cette disposition avec celle que l'on observe dans le dépôt tertiaire de Castellanne (Basses-Alpes), qui contient aussi des bois fossiles. Ces bois, consistant en troncs de toutes grandeurs, en partie carbonisés, en partie convertis en silice, se trouvent dispersés en grand nombre dans des lits de grès marneux et d'argile qui se succèdent sur les flancs d'un escarpement très-abrupt ; plusieurs de ces troncs ont conservé leur écorce ; seulement, quelle que soit la cause qui les a entraînés au fond des sédiments en voie de formation, ils n'y sont pas implantés comme sur le sol qui les aurait portés, mais comme si un courant les avait accumulés dans les profondeurs d'un lac. Je suis disposé, malgré les apparences contraires, à penser qu'il en a été de même des tiges fossiles d'Atanekerdluk et que leur belle conservation, et peut-être la position verticale prise par quelques-uns de ces bois, a pu seulement faire croire qu'ils avaient été pétrifiés sur place. Quant aux feuilles fossiles trouvées au Groënland, elles sont enveloppées dans une pâte cristalline d'un brun rougeâtre, en grande partie ferrugineuse, mêlée d'une certaine proportion de calcaire ; les unes ont conservé leur substance et tranchent par leur couleur obscure sur le fond de la roche ; les autres sont réduites à de simples empreintes. Mais quoi qu'il en soit, l'origine de la roche doit être rapportée, dans les deux cas, à des eaux à la fois ferrugineuses et calcaires qui ont empâté les débris végétaux situés à leur portée.

Ici, se présente une objection qui ne pouvait manquer d'être formulée, et d'après laquelle tous ces débris auraient été apportés de loin, à la manière du bois flotté, par des courants semblables à celui du Gulfstream, qui les auraient rejetés le long des côtes des régions arctiques. M. Heer a examiné avec trop de scrupule peut-être la valeur de cette hypothèse dont il est aisé de prouver l'impossibilité. En effet, non-seulement cette végétation fossile, prise dans son ensemble, présente un caractère

d'unité qui la montre partout composée des mêmes éléments, mais les feuilles, les graines, les fruits accompagnent presque toujours les fragments de bois et de rameaux encore revêtus de leur écorce, et ces organes se trouvent associés sur les mêmes plaques dans des proportions qui ne varient pas. Les bois d'Abiétinées de la Terre de Banks sont accompagnés de leurs cônes, les *Sequoia* du Groënland de leurs fruits, les Bouleaux d'Islande de leurs bractées et de leurs samares. Tous ces végétaux ont donc vécu dans les endroits où on les trouve; ils y ont formé de vastes forêts, et d'ailleurs les dépôts dont ils dépendent, loin d'être littoraux, se prolongent dans l'intérieur à de grandes distances. Les glaces seules s'opposent à ce qu'on les suive dans cette direction.

Au Spitzberg et dans l'île de l'Ours, les lignites tertiaires ont été longtemps confondus avec les houilles. La masse de l'Archipel est principalement formée de roches anciennes primitives ou stratifiées, mais sans fossiles (*Hekla-Hook formation*). On voit qu'à l'origine de ces terres s'étendait une mer sans limite et dépourvue d'êtres vivants qui couvrait encore de grandes surfaces au temps où les houilles se formaient; le carbonifère marin se trouve représenté par un dépôt fossilifère, dont la puissance atteint jusqu'à quinze cents pieds vers le cap Fanshaws, mais il n'existe aucun vestige authentique de plantes terrestres datant de cette époque; le trias et le terrain jurassique se trouvent aussi représentés çà et là; mais le tertiaire est surtout très-répandu; ce sont des grès, des argiles probablement miocènes, avec des lignites subordonnés. Ces lignites sont certainement tertiaires, et renferment souvent du succin comme ceux du Groënland. Les plantes fossiles ont été recueillies dans trois localités principales par MM. Nordenskiöld et Blomstrand, membres de l'expédition suédoise, dans les années 1858, 1861 et 1864. Au détroit de Bellesound, ce sont des grès de teinte et de consistance variables, quelquefois entremêlés de schistes argileux, qui les renferment; le nord du fiord a fourni onze espèces, la plupart forestières, entre autres des Aunes, Peupliers, *Taxodium*, Tilleuls, Noisetiers, Hêtres; mais il faut distinguer parmi elles un *Potamogeton*

(*P. Nordenskioldi*), qui par l'abondance et la forme de ses feuilles flottantes, annonce la présence des eaux douces qui ont formé le dépôt tout entier. Le détroit de Bellesound est situé par les 77°, 50° degrés latitudes. Un peu plus au nord, dans la même direction sur le bord méridional du détroit des Glaces (Eisfiord), sous le 78° degré latitude, l'espèce dominante est le Platane (*P. aceroides*). La troisième localité située au sud de la Baie du Roi (King's Bay) par 78°, 56' latitude et 11°, 58' longitude a fourni surtout des empreintes de Peuplier, de Tilleul et une Fougère (*Sphenopteris Blomstrandii*), souvent confondue avec celles du terrain houiller; ici, les charbons alternent avec des grès et des argiles schisteuses, et l'ensemble de la formation atteint une puissance très-considérable. En réunissant tous ces débris végétaux, M. Heer est arrivé à un total de dix-neuf espèces.

En Islande, pays placé à peu près sous la même latitude que la Baie Mackensie, la plupart des dépôts de plantes fossiles sont compris entre le 65° et le 66° parallèle. Comme dans le Groënland et le Spitzberg, elles se rattachent à des lits de charbons feuilletés ou lignites qui prennent ici le nom de *Surturbrand* et présentent, d'après M. Heer, la plus grande affinité de structure avec les lignites miocènes du bassin rhénan et des montagnes de Rhon. Les empreintes végétales forment des taches jaunes sur le fond noir des plaques et d'autres fois se détachent en brun sur une roche de couleur claire. Le *Surturbrand* alterne avec des sédiments blanchâtres mêlés de concrétions ou passant au tuf, son ensemble atteint parfois une grande épaisseur; non-seulement les feuilles y ont laissé leurs empreintes, mais les rameaux, les tiges, les écorces ont quelquefois conservé leur apparence extérieure; les organes délicats, les fruits, les semences ailées accompagnent souvent les feuilles, auxquelles s'associent quelquefois des insectes; aucun doute n'est possible touchant la provenance de ces espèces dont la conservation, comme celle de toutes les plantes des terrains tertiaires des régions arctiques, est toujours due à la même cause, c'est-à-dire à l'abondance des eaux douces, exerçant leur action sur une grande échelle et chargées de substances

propres à incruster les végétaux tombés dans leur sein ou même à les pétrifier.

On conçoit très-bien comment, lorsque des accidents orographiques de plus en plus considérables vinrent à se produire dans ces contrées, les eaux courantes et en particulier celles de source durent abonder sur les terres arctiques, encore soustraites à l'influence des glaces. De nos jours, les eaux converties en masse solide remplissent un rôle tout différent ; au lieu d'imbi-ber le sol à de grandes profondeurs et d'aller jaillir plus loin en nappe inépuisable, au lieu de former au fond des vallées des lagunes tourbeuses ou de vastes bassins, elles descendent lentement des hauteurs en pesant sur le sol et vont atteindre la mer pour y déposer des blocs flottants. Tout a donc changé depuis l'envahissement des glaces ou plutôt des glaciers. D'après ce que l'on sait du rôle prépondérant exercé par l'humidité dans ce phénomène, lorsqu'elle se combine avec une altitude suffisante pour convertir en névé la neige des sommets, on peut croire que cet envahissement a commencé de se produire avant même la fin des temps tertiaires, c'est-à-dire à partir du pliocène, dernière formation dont il existe des traces au Spitzberg. Il y aurait eu à cette époque un surexhaussement général dans le relief des terres du nord, surexhaussement dont la formation des glaciers aurait été la conséquence immédiate. Plus tard, M. Heer admet un mouvement contraire, c'est-à-dire un affaissement de toutes les côtes, coïncidant avec ce qui se passait en Scandinavie, et dont le résultat a été de ne laisser au-dessus des eaux de la mer que les parties montagneuses, dès lors recouvertes d'un glacier continu. Ces mouvements divers et successifs tendant à accroître d'abord le relief des terres, pour l'exagérer ensuite et se terminer par un affaissement progressif des côtes, semblent se lier à un phénomène général pour notre continent, et l'on peut dire pour l'ensemble de notre hémisphère. Il explique la plupart des grands changements qui eurent lieu vers la fin des temps tertiaires, et s'il ne justifie pas à lui seul l'abaissement définitif de la température, on ne peut méconnaître qu'il a dû y contribuer dans une large mesure.

Voici maintenant quelques détails du plus haut intérêt sur les caractères qui distinguent l'ensemble de la végétation tertiaire arctique. Afin de n'affaiblir aucun trait, nous laisserons parler l'auteur lui-même, qui a condensé en un petit nombre de pages, sa composition, ses contrastes et ses affinités.

« En excluant de l'ensemble les Cryptogames cellulaires, nous obtenons 156 plantes vasculaires dont 28 herbacées (12 Fougères ou Équisétacées, 14 Monocotylédones et 2 Dicotylédones) et 128 de consistance ligneuse, si l'on prend pour guide leur analogie avec les espèces vivantes. Parmi ces dernières, 78 espèces étaient probablement arborescentes, 31 simplement frutescentes (19 demeurent douteuses). Leur présence prouve l'extrême variété qui régnait alors dans la végétation forestière de l'extrême nord. Dans le groupe des Conifères, les *Taxodium*, *Glyptostrobus*, *Salisburia* perdaient leurs feuilles au retour de l'automne, tandis que 27 autres de la même classe les conservaient certainement pendant l'hiver. 56 espèces d'arbres ou arbustes angiospermes avaient des feuilles caduques, tandis que 21 espèces, si l'on en juge par la consistance coriace de leurs organes appendiculaires, demeuraient toujours vertes. Ce sont les suivantes : *Populus sclerophylla*, *P. arctica*, *Myrica acuminata*, *M. borealis*, *Quercus drymeja*, *Q. furcinervis*, *Q. steenstrupiana*, *Daphnogene Kani*, *Hakea? arctica*, *Mac-Clintockia dentata*, *M. Lyellii*, *M. trinervis*, *Andromeda protogæa* et *Saportana*, *Diospyros Loveni*, *Magnolia Inglefieldi*, *Ilex longifolia*, *I. reticulata*, *Hedera Mac-Clurii*, *Callistemophyllum Moorii*, *Prunus Scottii*. On voit par là que les régions polaires miocènes étaient plus richement pourvues d'essences à feuilles persistantes que notre zone tempérée actuelle. Pourtant, si l'on excepte le Lierre, cette catégorie de plantes se trouvait restreinte au Groënland.

La connaissance encore imparfaite que nous avons de la Flore polaire miocène infirme les conclusions qu'il serait naturel de formuler, en songeant à l'absence de certaines formes végétales ; pourtant, il est impossible de ne pas remarquer l'exclusion, absolue jusqu'à ce jour, des Palmiers, des Mimosées, des *Cinnamomum*, si fréquents dans l'Europe tertiaire ; point de traces non plus de *Porana*, ni de Sapindacées, tandis que les formes actuellement propres à la zone tempérée sont évidemment les plus saillantes et les plus répandues.

Les arbres et arbustes qui reparaissent le plus souvent dans la Flore arctique sont les suivants : *Taxodium dubium*, *Sequoia Langsdorfi*, *Populus Richardsoni* et *P. arctica*, *Alnus Keffersteinii*, *Corylus Mac-Quarii*, *Fagus Deucalionis*, *Quercus Olafseni*, *Platanus aceroides* ; ces arbres existaient probablement dans toute l'étendue des régions polaires.

De toutes ces espèces, le Chêne et les deux Peupliers sont les seules

qui appartiennent en propre à la zone arctique ; les autres se montraient aussi dans l'Europe centrale et quelques-unes pénétraient même jusque sur les bords de la Méditerranée actuelle. En résumé, l'ensemble comprend 50 espèces déjà connues et 112 nouvelles, qui n'ont été encore observées que dans le Nord. Parmi ces dernières, et en dehors de celles que nous avons citées plus haut comme répandues partout, il faut distinguer particulièrement les suivantes : *Taxodium angustifolium*, *Salisburia borealis*, *Smilax Franklini*, *Potamogeton Nordenskioldi*, *Quercus Groënlandica*, *Q. platania* et *Steenstrupiana*, *Ulmus diptera*, *Daphnogene Kanii*, les *Mac-Clintockia*, l'*Hedera Mac-Clurii*, les *Vitis islandica*, *arctica* et *Olriki*, les *Magnolia*, *Paliurus* et *Ilex*, les Tilleuls et le *Prunus Scottii*. Il n'est cependant pas certain que ces espèces aient toutes fait partie au même titre exclusif de la Flore arctique. Nous connaissons jusqu'ici fort peu de chose de la Flore miocène du nord de l'Europe, de celle de l'Amérique et de l'Asie, et ces Flores peuvent nous réserver la surprise de bien des espèces que nous n'avons encore rencontrées que dans l'extrême Nord. Le rôle si remarquable dévolu alors aux Peupliers doit être remarqué d'autant plus que les Saules à côté d'eux ne se montrent qu'en échantillons isolés et sans aucune liaison avec ses formes boréales.

Il est en effet bien singulier de n'observer, dans cette foule d'espèces, aucun représentant des formes aujourd'hui exclusivement arctiques, et d'y rencontrer au contraire les analogues de celles qui vivent maintenant dans la zone tempérée, d'où elles remontent jusque dans le voisinage du cercle polaire. Nous pouvons désigner comme faisant partie de cette seconde catégorie les *Pteris Rinkiana* et *œningensis*, *Pinus Mac-Clurii*, *Potamogeton Nordenskioldii*, *Sparganium stygium*, *Populus Richardsonii* et *Zaddachi*, *Alnus Keffersteinii*, *Corylus Mac-Quarii*, *Betula* et *Menyanthes*, c'est-à-dire un total de 11 espèces.

En réalité, la plupart des espèces n'ont rien de commun avec celles de la flore polaire actuelle, et leurs affinités les plus étroites les rattachent constamment à des contrées situées plus loin vers le midi. Il y a donc eu depuis lors une révolution complète dans les éléments constitutifs de la végétation du nord ; et nous observons même ici ce singulier mélange de types végétaux, maintenant disséminés sur plusieurs points du monde, qui nous frappe si justement lorsque nous considérons l'Europe miocène. En fait de types centro-européens, nous devons signaler les *Pteris œningensis* et *Rinkiana*, les *Equisetum*, *Phragmites*, *Sparganium*, *Potamogeton*, le *Populus Richardsonii*, les *Salix*, l'*Alnus Keffersteinii*, le *Corylus Mac-Quarii*, le *Fagus Deucalionis*, les *Menyanthes*, *Galium* et *Hedera* ; en fait de types austro-européens : le *Diospyros brachysepala*, les *Paliurus*, *Colutea* et le *Prunus Scottii* ; en fait de types japonais : les *Glyptostrobus*, *Thuiopsis* et *Salisburia* ; en fait de types asiatiques proprement dits :

les Peupliers à feuilles coriaces, le *Planera Ungerii*, le *Betula prisca*, le *Juglans acuminata* et probablement le *Quercus Steenstrupiana*; en fait de types américains : l'*Osmunda Heerii*, le *Lastræa stiriaca*, les *Taxodium* et *Sequoia*, les *Pinus Mac-Clurii*, *Martinsi*, *Steenstrupiana* et *Ingolfiana*, le *Populus Zaddachi*, le *Betula macrophylla*, 4 espèces de Chêne, l'*Ostrya Walkeri*, le Platane, l'*Andromeda protogæa*, les 3 *Vitis*, le *Magnolia* et le Tulipier, le *Juglans bilinica*, le *Tilia Malmgreni*, le *Rhamnus Eridani* et les deux espèces de *Cratægus*. L'élément américain prédomine dans la Flore fossile du Groënland, de l'Islande et du Spitzberg, comme dans celle de l'Europe miocène contemporaine; et cet élément se manifeste, soit que l'on considère les espèces que l'extrême nord possédait en commun avec nos contrées, soit que l'on examine celles qui lui appartenaient en propre. Il y a lieu pourtant d'être surpris que l'on n'ait pas encore découvert dans la zone polaire certaines espèces alors répandues dans toute l'Europe miocène; je citerai particulièrement l'*Acer trilobatum*, le *Liquidambar europæum*, les *Populus latior* et *balsamoides*; des explorations ultérieures les feront peut-être rencontrer, il faut ajouter cependant qu'elles sont également absentes de la Flore miocène de Dantzig et de celle de Kœnigsberg.

Nous avons réuni à la Flore arctique les plantes d'Islande et des rives du Mackensie, parce que les localités qui les ont fournies se trouvent dans le voisinage immédiat du cercle polaire. En opérant le retranchement de ces espèces, on obtient pour la zone qui s'étend du 70° au 80° degré de latitude, un total de 123 espèces qui manifestent une grande uniformité de caractères, comme si elles avaient autrefois dépendu du même ensemble végétal. Parmi les plantes qui proviennent des deux premiers pays, il ne se trouve aucun type qui, comparé avec ceux du Groënland, puisse devenir l'indice de divergences climatiques entre les deux régions. La Flore de toutes les localités réunies de la zone arctique est empreinte d'un cachet d'uniformité très-remarquable, quoique chaque contrée possède aussi des espèces qui lui sont propres; mais cette dernière particularité tient sans doute à la connaissance imparfaite que nous avons encore de cette végétation fossile.

Il est surprenant, eu égard au voisinage de l'Islande et du Groënland, que le nombre des espèces communes entre ces deux pays ne soit pas plus considérable; ainsi, Atanêkerdluk, sur la côte occidentale du Groënland, possède moins d'espèces communes avec l'Islande qu'avec le Spitzberg et les lignites du Mackensie, bien plus éloignés cependant. Il est naturel d'en conclure que le Groënland miocène se trouvait sans doute en liaison directe avec le continent américain d'une part et le Spitzberg de l'autre, tandis que l'Islande en était déjà séparée par la mer. Le Groënland et le Spitzberg possèdent en commun plusieurs espèces particulières.

rement propres à la zone arctique, tandis qu'à l'exception du seul *Quercus Olafseni* les plantes qui se montrent à la fois en Islande, dans le Groënland et au Spitzberg se retrouvent aussi sur le continent européen, à l'époque miocène. Considérée dans son ensemble, la Flore miocène d'Islande diffère sensiblement de celle des autres localités arctiques ; les nombreuses espèces de Bouleaux et de Pins, la fréquence de l'*Acer otopterix* et du *Sequoia Sternbergii*, la présence d'un Ormeau et d'un Tulipier, comme aussi l'absence des Peupliers, communiquent à cette Flore une physiologie spéciale. La Flore du Groënland septentrional se distingue par une merveilleuse profusion de formes. Il suffit de jeter un regard sur la masse de plantes que renferment les roches ferrugineuses d'Atanekerdluck, ou seulement de parcourir les planches de cet ouvrage, pour se convaincre que l'on a sous les yeux les restes ensevelis d'une forêt composée d'une multitude d'arbres et d'arbustes, dans des proportions plus variées que dans aucune des contrées actuelles de l'Europe centrale. Il est déjà possible, en effet, de signaler 76 espèces susceptibles d'en avoir fait partie. Les *Sequoia* et les Peupliers ont dû dominer dans cette forêt, mais à ces arbres se joignaient des Chênes (on en compte 8 espèces dont quelques-unes avaient des feuilles qui atteignaient un demi-pied de longueur), 4 espèces de Hêtres, un Platane, des Plaqueminiers et des Noyers ; les Houx aux feuilles coriaces et les Magnolias n'y étaient pas rares, et des Chênes, des Charmes, des *Ostrya* leur étaient associés. A ces arbres s'attachaient un Lierre et deux espèces de Vignes au feuillage élégamment découpé, tandis que des Aunes, des Noisetiers, des Andromèdes, des Cornouillers, des Nerpruns et des Aliziers, entremêlés de Fougères aux frondes déliées, constituaient d'épais taillis. Il faut encore citer, au nombre des types les plus remarquables de cette Flore, les *Salisburia*, les *Thuiopsis*, les *Daphnogene*, les remarquables *Mac-Clintockia*, deux espèces de Paliures et de Houx, le Magnolia, les Vignes, un Cerisier à feuilles persistantes, des Chênes-verts et un Noyer. Les espèces les plus saillantes du Mackensie sont le *Glyptostrobus* et un *Smilax*. Parmi celles du Spitzberg, il faut remarquer une Fougère élégante, une Prêle, le *Tacodium* à feuilles étroites et le Tilleul. Il est surprenant de n'y observer aucun Bouleau et de constater aussi que, dans le Groënland, on n'a encore recueilli que des fragments d'écorce et une seule feuille assimilables à celles de ce genre.

Si l'on se base sur le grand nombre d'espèces communes au Canada septentrional, au Groënland et au Spitzberg, pour admettre l'existence d'un vaste continent miocène s'étendant sans discontinuité dans l'intérieur de la zone arctique, il est permis de se demander s'il ne communiquait pas directement avec le continent européen. L'abondance des espèces communes aux deux régions rend cette supposition vraisemblable ; mais il s'agirait encore de rechercher dans quelle direction une

connexion de ce genre a pu avoir lieu. Une liaison du Spitzberg avec le cap Nord, par l'intermédiaire de l'île de l'Ours, n'aurait rien en soi d'in vraisemblable, à moins que l'on ne préférât admettre une jonction du Groënland septentrional avec la Laponie. L'absence de tout vestige de plantes fossiles en Scandinavie enlève la possibilité de vérifier si cette hypothèse repose sur quelque fondement; mais peut-être cette lacune sera-t-elle un jour comblée, peut-être aussi une autre liaison a-t-elle existé par le sud du Groënland, et dès lors on se trouve entraîné vers l'opinion qui soutient l'existence probable de l'Atlantide. J'ai développé moi-même ailleurs cette idée d'une manière trop détaillée pour songer à la discuter de nouveau. Je me contenterai d'observer que la présence des plantes miocènes d'Europe dans la zone arctique et la physionomie américaine de la Flore miocène trouvent dans cette hypothèse une explication des plus naturelles. Si la Flore européenne miocène n'avait compris en fait de types américains que ceux qui se montrent aussi dans la Flore miocène arctique, il en résulterait que la nature végétale n'aurait exercé son action dans les deux mondes que par l'intermédiaire unique de la zone arctique; mais nous observons aussi en Suisse des types américains subtropicaux, comme les Sabals et les Palmiers à frondes pinnées, qui certainement n'ont pu suivre cette route de l'extrême nord pour arriver jusqu'en Europe. »

On voit par ce qui précède que la végétation tertiaire arctique se compose de deux éléments bien distincts : l'un spécial aux régions polaires, l'autre commun à ces régions et à l'Europe miocène. Prenons-les successivement, et tâchons d'en fixer les caractères respectifs; cette étude indispensable servira de base à nos appréciations sur la nature du climat qui régnait alors dans la zone arctique.

La Fougère la plus curieuse est certainement le *Sphenopteris Blomstrandi* de la Baie du Roi (*King's Bay*) au Spitzberg; M. Heer la rapproche du *Gymnogramme calomelanos* Kaulf., espèce de l'Amérique tropicale; mais il serait peut-être plus naturel d'y reconnaître un *Asplenium* assez semblable à l'*Asplenium Wegmanni* Brngt. parmi les fossiles, et parmi les vivants à notre *Asplenium lanceolatum* Sw. Le *Sphenopteris Miertschingi* du Groënland se rattache évidemment au même groupe.

Parmi les Abiétinées, les Pins proprement dits n'ont laissé que de faibles traces; mais les Sapins offrent sur divers points

des spécimens propres à démontrer l'importance qu'ils avaient déjà acquise dans le nord.

L'*Abies Mac-Clurii* de la Terre de Banks présente des cônes presque entiers : ils sont cylindriques, de petite taille, et indiquent, ainsi que les rameaux, une espèce voisine de l'*A. alba* Michx ; les cônes que l'on recueille dans la forêt submergée de Norfolk (*Forest bed*) ont une ressemblance singulière avec ceux-ci, bien qu'ils soient plus grands ; les uns et les autres sont loin d'égaliser ceux de notre *Epicea*, dont ils diffèrent en effet beaucoup.

Le *Pinus microsperma* Heer se rapproche au contraire des *Tsuga*, tandis que les *Pinus Ingolfiana* et *Strenstrupiana* montrent une étroite affinité avec les *Abies Fraseri* et *religiosa*. Il paraît donc certain que les principales sections du genre actuel se trouvaient alors représentées dans le Nord.

Parmi les Monocotylédones, le *Potamogeton Nordenskioldi* se fait remarquer par la netteté de ses caractères ; il est difficile à distinguer du *P. natans* L., aujourd'hui répandu dans les eaux douces du monde entier.

Le plus commun des Chênes arctiques est le *Quercus Olafseni* ; les empreintes provenant d'Atanekerdluk sont les seules qui paraissent incontestables ; ses feuilles annoncent une espèce analogue au *Quercus prinus* L. d'Amérique. Le *Quercus groenlandica* se rattache plus étroitement encore à ce même type ; M. Heer peut à peine signaler, entre la forme ancienne et celle de nos jours, quelques légères différences dans le contour du limbe et le nombre des principales nervures.

Le *Populus Richardsoni* faisait évidemment partie de la section des *Tremula* ; il reproduit le type de notre espèce actuelle dont il diffère surtout par la forme des dentelures qui sont plus nombreuses, plus profondes, et découpées en forme de crénelures. Le *Populus Hookeri* des lignites du Mackensie se range dans la même section ; mais il se rapproche plutôt du *P. tremuloïdes* Michx par la forme de son contenu et ses crénelures faiblement prononcées.

Le *Populus arctica* est bien plus curieux ; la consistance

presque coriace de ses feuilles, la direction ascendante de leurs nervures, leur bord inégalement denté ou sinué, quelquefois à peu près entier, son extrême polymorphie, le rangent évidemment à côté des *P. euphratica* Oliv., *diversifolia* Schr. et *pruinosa* Schr., espèces asiatiques, seuls représentants actuels d'une section, dont le rôle paraît s'être amoindri depuis l'époque tertiaire. Le *P. arctica*, quoique distinct spécifiquement du *P. sclerophylla* Sap., d'Armissan, montre plus d'affinité avec lui qu'avec le *P. mutabilis* d'Oëningen; tous deux semblent également opérer un passage vers la section des Trembles, et donnent lieu respectivement à des variations analogues. Il est bien moins certain, selon nous, que les *P. sclerophylla* et *Gaudini* aient fait réellement partie de la flore arctique, comme M. Heer incline à le penser; mais nous venons de signaler dans les argiles du bassin de Marseille un *Populus* qui semble se rapprocher beaucoup des empreintes que M. Heer partage entre ces deux espèces.

Les attributions précédentes ne sont pas douteuses quant au genre; mais M. Heer place dans la famille des Morées, des Laurinées et des Protéacées, des formes dont le classement générique nous semble tout à fait hypothétique; avec elles nous sortons brusquement du vraisemblable pour toucher au conjectural; il est vrai qu'il ne s'agit que d'un petit nombre d'espèces, dont les caractères énigmatiques sont faits pour exciter la curiosité; mais d'après ce que nous savons de la dégradation du climat sous l'influence des latitudes dans les temps miocènes, il est peu probable que les *Ficus*, les Laurinées et les Protéacées, déjà fort clair-semées relativement dans les dépôts de l'Allemagne du Nord, se soient étendus au delà du cercle polaire. Or, les espèces décrites par M. Heer, quelque curieuses qu'elles soient par elles-mêmes, sont loin d'infirmes cette loi.

Le *Ficus? groenlandica* a plutôt la forme et la nervation d'un Tilleul (1); sa ressemblance avec le *Ficus tiliæfolia* d'Oëningen

(1) D'après une lettre que M. Heer a bien voulu m'écrire tout récemment, une nouvelle exploration du Groënland septentrional aurait amené la découverte d'une assez longue série de feuilles que cet auteur serait disposé à classer parmi les Büttnériacées dans le genre *Pterospermites*, à côté du *P. integrifolius* déjà signalé par lui

ne doit pas faire illusion; car l'attribution générique de cette dernière espèce est elle-même fort douteuse.

Le *Daphnogene Kaniï* constitue une forme des plus remarquables, mais qui n'a de commun, en réalité, avec les *Cinnamomum*, que la disposition triplinerve de ses feuilles; un réseau veineux assez compliqué s'étale dans l'intervalle des principales nervures; le bord est entier, les dimensions très-grandes relativement, la forme ellipsoïde-allongée, la consistance plus ou moins coriace et persistante. Parmi les affinités que M. Heer passe en revue comme susceptibles de donner lieu à un rapprochement sérieux, il en est une à laquelle nous donnerions la préférence, tellement elle nous paraît naturelle; nous voulons parler du groupe des Ménispermées, dans lequel on observe le *Cocculus laurifolius*, dont les feuilles ressemblent beaucoup à celles du *Daphnogene Kaniï*, sauf un moindre prolongement des nervures latérales. La présence constatée de plusieurs types nord-américains dans le Groënland tertiaire donne de la probabilité à ce rapprochement.

Il vaut mieux avouer la complète ignorance où nous sommes

dans la Flore arctique; ces feuilles donneraient lieu à deux espèces nouvelles, sans compter celle dont il vient d'être question, et c'est à l'une d'elles qu'il faudrait rapporter le *Ficus? gröenlandica*, dont le genre devrait ainsi, selon mes prévisions, être effacé de la Flore polaire. M. Heer observe du reste que l'attribution générique de ces feuilles demeure entachée d'obscurité, tout en faisant ressortir leur affinité apparente, d'une part, avec celles qu'il a désignées sous le nom d'*Apeibopsis*, dans la Flore fossile de Suisse, et de l'autre avec les *Grewiopsis* de Sézanne, dont j'ai moi-même remarqué la liaison avec les *Credneria* du terrain crétacé. Ne pourrait-on pas tirer de ces indices réunis la conclusion que toutes ces espèces, que rattachent un lien commun, ont également appartenu aux Tiliacées, groupe encore aujourd'hui caractéristique de notre hémisphère. M. Heer mentionne aussi la découverte de folioles d'Araliacées, voisines spécifiquement des *Aralia zachariensis* et *lanceolata*, que j'ai découverts dans le tongrien et le miocène inférieur du midi de la France (voy. t. XIX, 4^e série, p. 78, pl. 9, fig. 2; t. IH, 5^e série, p. 117, pl. 6, fig. 2, et t. IV, 5^e série, p. 155, pl. 9, fig. 3, des *Annales des sciences naturelles*), ainsi que les belles empreintes d'une Fougère dont il ne connaissait que de petits fragments, le *Pecopteris Torelli*, espèce voisine du *Pecopteris ligatum* Giéb. (Voy. *Annales des sciences naturelles*, 5^e série, t. VIII, p. 42, pl. 3, fig. 4-5), si répandu dans l'Europe miocène; comme celle-ci, l'espèce du Groënland est une robuste plante dans laquelle il serait peut-être naturel de reconnaître une Cyathée, si l'absence de sores n'obligeait de suspendre tout jugement.

des affinités véritables du genre *Mac-Clintockia* que d'y reconnaître un genre de Protéacées, supposition que rien ne justifie. Ces empreintes ressemblent à des phyllodes d'*Acacia* garnies sur les bords de dentelures plus ou moins acérées, au moins vers le sommet du limbe. On observe, à l'époque actuelle, des formes assez analogues chez quelques Urticées exotiques (*Boehmeria*) et chez certains *Plantago* ; mais il faut avouer que leur rencontre est rare parmi les Dicotylédones.

Le Lierre arctique (*Hedera Mac-Clurii*) différait du nôtre par l'absence de feuilles lobées, celles des rameaux stériles étant seulement arrondies et sinuées sur les côtés, celles des rameaux fertiles se montrant plus allongées ; il se rapproche sensiblement de la variété *irlandica* et aussi de l'*H. prisca*, que j'ai signalée dans l'éocène inférieur de Sézanne, et dont les feuilles étaient sinuées-anguleuses, plutôt que vraiment lobées.

L'*Andromeda denticulata* appartenait au groupe des *Leucothoe* ; et ressemble beaucoup au *L. acuminata* de l'Amérique septentrionale.

Les *Vitis Olriki* et *arctica* rappellent les *Vitis vulpina* L. et *cordifolia* Mich. ; mais le *V. islandica* semble plus douteux, et peut-être faudrait-il y voir plutôt un *Acer*.

Le *Magnolia Ingefeldii* avait des feuilles un peu plus larges et peut-être moins coriaces que celles du *M. grandiflora*, auquel il ressemble du reste tellement, que l'on serait tenté de reconnaître en lui un prédécesseur direct de l'espèce américaine actuelle (1).

Le *Tilia Malmgreni* portait de larges feuilles très-analogues à celles du *T. americana* et de notre *T. grandifolia*. Les Tilleuls sont rares dans l'Europe tertiaire ; ils ne se montrent guère que dans le pliocène ; ils habitaient probablement l'extrême Nord avant de se répandre dans le centre de l'Europe ; ils sont au contraire très-fréquents dans les tufs de l'âge quaternaire.

Les *Cratægus antiqua* et *Warthana* reproduisent le type du *C. tomentosa* L. d'Amérique ; mais on peut aussi les comparer à

(1) La découverte récente des fruits de cette espèce est venue pleinement confirmer un rapprochement d'abord fondé uniquement sur la connaissance des feuilles.

notre *C. Aria* L., dont les empreintes abondent dans les travertins quaternaires du midi de l'Europe.

Au total, il est aisé de reconnaître que la plupart des espèces appartenant en propre à la zone arctique se rattachent étroitement à des types de la zone tempérée actuelle. Rien chez elles, sauf le genre *Mac-Clintockia*, ne dénote une végétation d'un caractère spécial; l'examen des espèces communes à la flore polaire et à celle de l'Europe miocène va nous confirmer dans cette idée. Presque toutes celles que comprend cette dernière catégorie correspondent à des espèces de l'époque actuelle, et beaucoup d'entre elles appartiennent à des genres maintenant confinés dans une seule région, et représentés par un petit nombre d'espèces ou par une espèce unique, comme si ces genres, après avoir occupé une vaste étendue, avaient été successivement refoulés vers un seul point et détruits partout ailleurs. Voici la liste de ces principales espèces tertiaires, avec la mention de leur représentant direct dans la nature vivante :

<i>Pteris ævingensis</i> Al. Br.....	<i>Pteris aquilina</i> L.
<i>Osmunda Heerii</i> Gaud.....	<i>Osmunda spectabilis</i> W.
<i>Taxodium dubium</i> Stb.....	<i>Taxodium distichum</i> Rich.
<i>Glyptostrobus europæus</i> Brgt.....	<i>Glyptostrobus heterophyllus</i> Br.
<i>Thuiopsis europæa</i> Sap.....	<i>Thuiopsis lætevirens</i> Lindl.
<i>Sequoia Langsdorfii</i> Brgt. (1)....	<i>Sequoia sempervirens</i> Lamb.
<i>Sequoia Couttsiæ</i> Heer.....	} <i>Sequoia gigantea</i> Endl.
<i>Sequoia Sternbergii</i> Heer.....	
<i>Salisburia adiantoides</i> Ung.....	<i>Salisburia adiantifolia</i> Sm.
<i>Betula macrophylla</i> Gæpp.....	<i>Betula excelsa</i> Ait.
<i>Betula prisca</i> Ett.....	<i>Betula Bojpaltra</i> Wall.
<i>Carpinus grandis</i> Ung.....	<i>Carpinus betulus</i> L.
<i>Corylus Mac-Quarii</i> Forb.....	<i>Corylus avellana</i> L.
<i>Fagus Deucalionis</i> Ung.....	<i>Fagus sylvatica</i> L.
<i>Fagus castaneæfolia</i> Ung. (2)....	<i>Castanea vesca</i> Gærtn.
<i>Planera Ungerii</i> Ett.....	<i>Planera Richardi</i> Sp.
<i>Platanus aceroides</i> Gæpp.....	<i>Platanus vulgaris</i> Sp.
<i>Diospyros brachysepala</i> A. Br.....	<i>Diospyros Lotus</i> L.
<i>Liriodendron Procaccinii</i> Ung....	<i>Liriodendron tulipifera</i> L.
<i>Acer otopterix</i> Gæpp.	
<i>Juglans acuminata</i> Al. Br.....	<i>Juglans regia</i> L.
<i>Juglans bilinica</i> Ung.....	<i>Juglans nigra</i> L.

(1) Un récent examen de M. Heer portant sur les fruits adultes et les chatons femelles de cette espèce, le porte à admettre l'identification complète de l'espèce fossile avec celle de la Californie; les différences que l'on pourrait signaler entre les deux formes se trouvant trop faibles pour motiver une distinction spécifique. Il en serait de même du *Taxodium dubium* Stb. qui devrait être réuni au *T. distichum* Rich.

(2) M. Heer vient de recevoir d'Atanekerdluk une involucre pétrifiée, garnie de ses

Ainsi, l'*Acer otopterix* est la seule de ces espèces qui ne soit pas représentée par une analogie directe dans la végétation de notre époque. Toutes les autres se trouvent liées d'une manière si étroite avec les espèces que nous avons placées à côté d'elles, qu'en déterminant les aptitudes de celles-ci, c'est-à-dire les conditions de température et de climat qu'elles demandent pour vivre, fleurir et fructifier, on peut par cela même reconstituer presque à coup sûr la nature du climat qui régnait autrefois dans la zone arctique, et alors qu'elle était habitée par leurs congénères fossiles. Cette recherche est d'un immense intérêt, non-seulement en elle-même, pour mesurer, s'il est possible, la somme de chaleur dont le globe a été privé depuis, mais encore pour examiner si, dans la végétation tertiaire arctique, on ne retrouve aucune trace de l'influence qu'aurait dû exercer, en tout état de cause, la distribution actuelle des jours et des saisons. Dans le cas où l'on constaterait l'absence de toute influence de cette sorte, ne serait-on pas en droit de supposer que le globe lui-même aurait été placé autrefois dans des conditions astronomiques différentes de celles qui le régissent aujourd'hui ?

Avant d'aborder la question de climat, M. Heer jette un coup d'œil rapide sur l'état actuel de la végétation polaire. Il fait voir que les arbres y sont très-rares et que tous appartiennent à des espèces plus méridionales, qui ne s'avancent vers le Nord qu'en amoindrissant leur stature. On en compte en tout quinze espèces qui dépassent çà et là le cercle polaire, et cinq espèces seulement, un Pin, deux Bouleaux, un Tremble et un Sorbier, qui prolongent leur existence jusqu'aux limites extrêmes de la végétation arborescente. Cette limite ne coïncide pas avec le cercle polaire ; comme les isothermes, elle est tracée par une ligne sinueuse, sujette à bien des irrégularités, puisque d'une part elle atteint ou dépasse même en Laponie le 70° degré de latitude, tandis que sur le continent américain elle redescend au 63°, à l'ouest de la baie d'Hudson, et

piquants, presque aussi gros que ceux du *Castanea vesca* et qui ne laisse aucun doute au sujet de l'attribution de cette espèce au genre *Castanea*, opinion déjà formulée par le savant de Zurich.

même jusqu'au 58° dans le Labrador; plus loin, au contraire, vers l'embouchure du fleuve Mackensie, elle remonte au 69° degré, et, après un nouveau circuit, dépasse encore ce même degré dans la région qui s'étend, au nord de l'Asie, entre la Lena et le Jenissei. Il est facile de reconnaître que le tracé de cette ligne coïncide à peu près avec l'isotherme de 10 degrés centigrades, pour la moyenne du mois le plus chaud, quelle que soit d'ailleurs la rigueur de l'hiver. Certaines espèces ligneuses peuvent alors se maintenir, tandis que d'autres terres, où la moyenne annuelle est bien supérieure à 0 degré, en sont totalement dépourvues, parce que si les hivers y sont doux, les étés y sont sans chaleur. Le point le plus avancé vers le pôle où la végétation arborescente se montre encore est le cap Nord; mais sur ce point, l'hiver est relativement modéré, par suite du Gulf-Stream, et l'été atteint la moyenne voulue pour le mois le plus chaud; les deux causes se combinent ici pour amener un résultat favorable. Il est donc évident que de tous les facteurs la chaleur estivale est le plus efficace; en effet, on conçoit qu'un arbre doit non-seulement produire des fleurs et mûrir ses fruits, comme la plante la plus humble, mais qu'il lui faut encore une certaine durée de chaleur utile pour lui permettre de procéder à la consolidation de la couche ligneuse annuelle, opération qui exige plus de temps que les premières. Cette nécessité, d'une saison chaude et lumineuse pour l'existence de la végétation arborescente, est un élément essentiel qu'il ne faut pas négliger dans la recherche des conditions climatériques de l'ancienne végétation polaire.

N'oublions pas d'ailleurs que l'inégale distribution de la chaleur, dans le sens des latitudes, ne s'est établie que graduellement et tardivement à la surface du globe. La flore crétacée du Groënland ne se distingue encore par aucun caractère sensible de celle qui existait en Europe à la même époque; mais les effets de la latitude deviennent visibles lorsqu'on aborde le miocène; il est aisé d'en mesurer l'intensité en comparant les plantes de Kome à celles d'Atanekerdluk; l'abaissement calorifique qui s'est produit dans l'intervalle a été assez marqué pour

interdire l'accès des régions du Nord à une portion des types végétaux propres à l'Europe centrale, mais pas assez violent pour les exclure tous. C'est de l'étude de ceux qui persistent à habiter l'intérieur du cercle polaire, ou plutôt des espèces analogues qui les représentent parmi nous, que M. Heer a retiré la formule du climat arctique de cette époque. Pour obtenir ce résultat, il s'attache à considérer trois termes ou points de repère échelonnés à des latitudes différentes : le Spitzberg par 78 degrés latitude, le Groënland par 70 degrés, l'Islande par 65 degrés, comprenant en tout environ 13 degrés de latitude, c'est-à-dire plus de la moitié de la distance du cercle polaire au pôle. Mais il est facile de s'assurer que la végétation arborescente ne s'arrêtait pas à la limite que nous distinguons actuellement, puisque les Pins et les Peupliers que l'on observe au Spitzberg s'y trouvent accompagnés de Tilleuls et de Platanes, et que les premiers de ces genres, dans la nature actuelle, s'avancent vers le nord 6 et 15 degrés plus loin que les derniers. Il est permis de croire qu'il en était de même autrefois, de sorte qu'en admettant, ce qui n'est nullement prouvé, que les Platanes et les Tilleuls ne dépassaient pas le 78° degré, les Peupliers et les Pins ont dû s'étendre jusqu'au pôle, si toutefois la terre ferme se prolongeait jusque-là.

Il n'est pas difficile à M. Heer d'établir pour le Spitzberg miocène, à l'aide du Hêtre, du Platane, du Tilleul et du Cyprés-chauve qui s'y trouvaient alors réunis, un minimum de température estivale de 15 à 16 degrés centigrades, de — 4 pour l'hiver, correspondant à une moyenne annuelle d'environ 5 degrés 1/2 centigrades, c'est-à-dire au climat actuel de la Scanie, où le Hêtre, le Tilleul sont indigènes et où le Platane et le Cyprés-chauve peuvent se cultiver en plein air. Cependant ce minimum semble inférieur à la réalité. En Amérique, le Platane ne dépasse pas le 50° degré latitude, au nord du lac Supérieur, et le *Taxodium distichum* ne franchit pas le 40° degré dans le Delaware. En Europe, ce dernier arbre est cultivé jusqu'à Berlin, où il mûrit (?) quelquefois ses fruits vers le 52° degré latitude. La moyenne annuelle de cette dernière ville, 8°,6 centi-

grades, serait donc à peine acceptable, d'autant plus que rien dans la végétation ancienne du Spitzberg ne dénote une tendance vers le rabougrissement des formes; les feuilles sont larges, les ramules développés; si l'on en juge du reste par les aptitudes actuelles des deux essences analogues, elles auraient pu supporter des hivers relativement froids, mais en exigeant pour se développer une chaleur estivale forte et prolongée, comme dans les États-Unis; la moyenne annuelle du Spitzberg étant de nos jours de $-8^{\circ},6$ centigrades, suivant M. Martins, la différence entre le climat ancien et le climat actuel serait de 14 degrés au moins, plus probablement de 17 degrés.

Le Groënland fournit des éléments plus nombreux et plus concluants; M. Heer retire de leur examen la notion que le climat qui régnait alors sous le 70° degré latitude était au moins égal à celui qui existe maintenant sur les bords du lac de Genève et dont la moyenne annuelle est de $9^{\circ},70$ centigrades, le mois le plus froid étant $-1^{\circ},28$, le plus chaud $19^{\circ},11$. C'est là encore, à ce qu'il nous semble, un minimum qui ne saurait être accepté comme l'expression probable de la vérité. Il est basé sur ce que la plupart des espèces analogues à celles du Groënland tertiaire réussissent en plein air aux environs de Lausanne et y mûrissent annuellement leurs fruits. Cependant, comme les types dont les affinités méridionales sont les plus accentuées doivent être exclusivement pris en considération, il faut remarquer que les genres *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Taxodium*, *Thuopsis*, *Salisburia*, *Diospyros*, *Magnolia* étaient représentés dans le Groënland tertiaire par des formes dont les analogues directs habitent de préférence le midi de la zone tempérée. La culture a bien pu les propager en Europe au delà du 45° degré latitude, en mettant à profit certaines circonstances exceptionnellement favorables, comme l'égalité de température qui est propre à l'ouest de la France et à une partie de l'Angleterre; mais n'oublions pas qu'il s'agit ici de plantes indigènes, associées de manière à former concurremment de vastes forêts et se reproduisant naturellement. Il faut donc considérer, pour arriver à une juste appréciation des faits, que, dans l'ordre actuel,

le *Sequoia sempervirens* ne dépasse pas le 42° degré; que, même en Provence, il est quelquefois atteint par les froids subits; qu'en été, il ne souffre de la chaleur que si l'humidité lui fait défaut, condition qui paraît lui être indispensable. Il fleurit de très-bonne heure et ne mûrit ses fruits que dans l'automne avancé. Il en est à peu près de même du *Magnolia grandiflora*, à qui la fraîcheur et le voisinage des eaux courantes sont absolument nécessaires en Provence, mais qui ne souffre pas de la chaleur des étés, même en Italie, quoique dans l'ouest, près de Nantes et d'Angers, il atteint de belles proportions sous l'influence d'une température égale et humide. A Paris déjà, le *Magnolia grandiflora* ne rencontre plus les conditions d'un développement normal. En Amérique, il ne s'étend pas au delà du 40° degré latitude; le *Glyptostrobus heterophyllus*, le *Salisburia adiantifolia* et les *Thuopsis* s'arrêtent encore plus bas dans la Chine et au Japon. Toutes ces essences manifestent à peu près les mêmes aptitudes; capables de supporter un maximum de froid assez élevé, elles exigent en même temps un été chaud; mais l'humidité du sol, et subsidiairement celle de l'air, leur est absolument nécessaire dans cette saison; enfin, si l'humidité seule leur reste, elles peuvent encore réussir, pourvu que, dans ce dernier cas, le climat soit égal et l'hiver très-doux. Le caractère commun de tous ces arbres, auxquels on peut joindre les Vignes, plusieurs Chênes, les Charmes, les Platanes, Planera, Frênes, et les Cerisiers à feuilles persistantes, qui tous montrent les mêmes tendances, est de supporter sans peine un assez grand écart entre le froid de l'hiver et la chaleur estivale, mais de ne pouvoir se passer de l'humidité du sol, sinon de celle de l'atmosphère. L'abondance des eaux, et par conséquent l'influence d'un ciel pluvieux dans les hautes latitudes, vers le temps miocène, ressort clairement de la puissance et de l'étendue des dépôts d'eau douce, la plupart produits de l'action des sources qui surgissaient de toutes parts sur ces terres aujourd'hui glacées. En pesant ces diverses considérations, on ne sera peut-être pas éloigné d'admettre pour le Groënland miocène une moyenne annuelle plus ou moins voisine de celle que pré-

sentent quelques localités de la Provence ou de la France austro-occidentale, mais avec un climat beaucoup plus humide et des saisons plus régulières que dans le premier de ces deux pays. En cherchant à préciser davantage, on pourrait supposer sans invraisemblance que les plus grands froids, tempérés par des brumes épaisses et de fréquentes averses, ne descendraient probablement pas en dessous de 12 à 15 degrés centigrades, tandis que les plus grandes chaleurs pouvaient s'élever à 28 ou 30 degrés centigrades et se maintenir à 25 degrés en moyenne pendant les mois les plus chauds; la moyenne hivernale aurait été ainsi de 5 degrés centigrades et la moyenne annuelle de 12°,5. Ces données, que nous croyons peu éloignées de la vérité, s'écartent notablement de celles que M. Heer a adoptées, car ce savant se contente d'une moyenne de 9°,6; il est vrai que pour lui, nous le répétons, c'est là un minimum que tout annonce avoir été dépassé.

En ce qui concerne l'Islande, le calcul de M. Heer est principalement basé sur l'observation du Tulipier de l'époque tertiaire qui croissait dans cette île et différait à peine de celui de nos jours. Cet arbre, à l'état spontané, ne s'étend guère en Amérique au delà du 40° degré latitude, mais en Europe il est cultivé à l'air libre jusqu'en Allemagne et même en Scanie. Selon M. Heer, il se contente à Zurich, à Dublin et à Stettin d'une moyenne annuelle de 9 degrés centigrades; mais ici encore nous croyons cette évaluation trop basse, dès qu'il s'agit d'une espèce livrée à elle-même et par conséquent assez vigoureuse pour lutter avantageusement contre celles qui l'entourent. Le Tulipier, comme le Magnolia à grandes fleurs, est une espèce méridionale, et s'il est exclu de certaines parties du Midi, c'est uniquement par le défaut d'humidité qui lui paraît indispensable. Nous croyons donc qu'il est plus naturel de se rapporter à sa limite géographique actuelle et d'accorder à l'Islande tertiaire une température semblable à celle de l'Ohio, région où, comme dans l'Islande tertiaire, le Platane se trouve associé au Tulipier, et qui correspond aussi aux parties de la Californie habitée par les *Sequoia*. Du reste, les Ormes, les Bouleaux, les Aunes, les Érables, les Peupliers d'Islande, en dénotant une grande humidité dans le climat, ne

paraissent pas marquer une plus grande élévation de température que dans le Groënland, malgré la différence que devrait amener une latitude déjà plus méridionale de 5 degrés environ.

Les chiffres adoptés par M. Heer, comme exprimant la moyenne annuelle des principales localités arctiques, à l'époque tertiaire et impliquant une surélévation de 9 degrés centigrades calculée au niveau de la mer, par rapport à l'état actuel, ne concordent du reste ni avec la distribution actuelle des lignes isothermes, ni même avec l'hypothèse de Dove, que la décroissance normale de la température, abstraction faite des irrégularités, doit être de $0^{\circ},5$ par degré de latitude. Les chiffres de M. Heer sont trop élevés dans le premier cas, trop faibles dans le second, sauf en ce qui concerne le Spitzberg, dont la moyenne supposée de $5^{\circ},5$ concorderait avec celle du calcul de Dove; mais nous avons vu que cette moyenne, comme celle attribuée au Groënland, était probablement trop faible. Dès lors, il résulte pour nous de ces divers essais de concordance du passé avec le présent que les climats, en dehors même de l'élévation présumée de la température, se trouvaient autrefois distribués d'après des règles qui ne coïncident pas avec la limite actuelle des lignes isothermes. *A priori*, il était facile de le présumer. Tout a changé depuis lors, la configuration des terres et des mers, la marche des courants, la hauteur et peut-être la direction des montagnes. Les glaces polaires, de même que les neiges perpétuelles et les glaciers, sont des phénomènes d'un âge plus récent que celui dans lequel nous nous sommes transportés; dès lors, que peut-il y avoir de commun, au point de vue du climat, entre cet âge et le nôtre, puisque toutes ces causes combinées exercent une immense influence pour accroître ou diminuer les sources de chaleur, et que les deux dernières, les plus actives de toutes, n'existaient probablement pas ou se réduisaient encore à des phénomènes insignifiants? Il faut donc chercher ailleurs la solution des problèmes qui se rattachent à la nature des anciens climats. Pour cela, l'étude des faits géologiques considérés en eux-mêmes, c'est-à-dire de l'aspect du sol, de sa configuration à l'époque que l'on examine, des plantes qui l'habitaient, sur-

tout de celles dont les aptitudes peuvent être le mieux déterminées, doivent être d'un secours très-puissant. C'est en cela surtout que les recherches de M. Heer acquièrent une très-grande importance, en fournissant des éléments sérieux et variés pour atteindre la solution.

Sur bien des points, M. Heer nous semble avoir touché du doigt la réalité, ou du moins il jette sur elle d'assez vives clartés pour nous permettre de l'entrevoir; la question qu'il examine se partage d'ailleurs en deux. On peut se demander, en effet, d'une part, quel était le véritable état des choses, c'est-à-dire le vrai caractère de la végétation polaire et les conditions de climat qu'il implique, et, d'autre part, l'élévation de température une fois constatée, quelle est la cause qui explique le mieux son existence. Ces deux questions se lient cependant, car il est impossible de suivre l'extension de la végétation arborescente jusqu'aux environs immédiats du pôle, sans chercher à se représenter la nature du phénomène physique auquel cette extension était due.

Arrêtons-nous d'abord sur la végétation; les espèces dont elle se composait nous sont maintenant connues, et les aptitudes de celles qui s'en rapprochent le plus dans l'ordre actuel sont assez faciles à déterminer pour nous permettre d'asseoir un jugement. Les plus délicates supportent sans souffrir un minimum de — 15 degrés centigrades, pourvu que ce froid ne soit ni trop brusque dans sa venue, ni trop prolongé dans son action; nous obtenons ainsi la presque certitude que les Magnolias à feuilles caduques, les Tulipiers et les Séquoias arctiques ont dû traverser des hivers bien marqués, et peut-être assez rudes dans leur période la plus prononcée. Il est, de plus, essentiel de rechercher l'époque de floraison de toutes ces espèces, parce qu'elle constitue un des meilleurs indices de l'ordre présumé des saisons; les espèces fossiles arctiques montrent sur ce point un accord remarquable.

Les arbres et arbustes se divisent, sous le rapport de leur floraison, en quatre catégories, qui toutes se rattachent à un mode particulier de développement des organes floraux. Dans

la première, la floraison suit immédiatement l'évolution des rameaux dont elle dépend ; les inflorescences sont terminales ou axillaires, et disposées sur les pousses nouvelles. Cette floraison peut être nommée estivale ; elle donne lieu à des fruits dont la maturité s'acheve avant l'hiver, temps de repos absolu pour les végétaux de cette catégorie, que leurs feuilles soient persistantes ou caduques. Les Magnolias, les Tulipiers, les Vignes, les Tilleuls, les *Diospyros*, etc., appartiennent à ce premier groupe, qui jouait évidemment un rôle considérable dans la végétation polaire de l'époque tertiaire.

La seconde catégorie comprend des végétaux dont les inflorescences paraissent, comme les précédentes, sur le bois nouveau et pendant l'été, mais qui, au lieu de se développer immédiatement, attendent pour s'épanouir soit l'automne avancé, soit même l'hiver. Beaucoup d'arbres méridionaux sont dans ce cas, entre autres ceux dont la floraison hivernale implique une grande douceur de température pour cette saison. Les Laurinées, si fréquentes dans la végétation de l'Europe miocène, se comportent ainsi, et l'on doit ranger dans le même groupe le Lierre, l'Arbousier, le Laurier-tym, etc. ; les essences à feuilles persistantes y dominent, comme on le voit, et il est à remarquer que le Lierre est la seule plante, parmi les genres qui s'y rapportent, que l'on observe dans la végétation arctique, d'où les Laurinées se trouvent justement exclues ; du reste, le Lierre (1), malgré sa floraison automnale, s'avance encore de nos jours fort loin dans le nord.

La troisième catégorie présente une floraison vernale, mais qui doit nécessairement avoir lieu au premier printemps ; elle comprend des types monoïques, dont les organes sexuels se montrent dès l'été au sommet des pousses nouvelles consolidées, mais ne sont destinées à se développer que vers la fin de l'hiver ; les *Sequoia*, les Bétulacées, les Corylacées, les Juglandées, appar-

(1) Il existe à cet égard, en Provence, une différence assez marquée entre le Lierre d'Irlande, *Hedera helix* var. *hibernica*, et le Lierre indigène ; celui-ci épanouit vers la fin d'août les fleurs de ses ombelles les plus précoces ; la floraison du premier est plus tardive et se prolonge jusqu'à l'entrée de l'hiver.

tiennent à cette section, et l'on conçoit que leur floraison se trouve plus ou moins hâtée, suivant l'intensité et la durée de la saison froide. Enfin il existe un autre mode de floraison vernale, d'après lequel les organes floraux qui doivent se développer au printemps sont séparés ou réunis avec les feuilles, dans des bourgeons écailleux jusqu'au moment de l'évolution ; seulement, suivant la position et la nature des bourgeons floraux, cette évolution peut précéder, accompagner ou suivre celle des feuilles. Les *Taxodium*, *Glyptostrobus*, *Salisburia*, les Chênes, les Platanes, les Frênes, les Érables, la plupart des Pomacées et des Amygdalées appartiennent à cette catégorie, qui se trouve plus spécialement appropriée au climat tempéré, et dominait parmi les végétaux arctiques de l'âge tertiaire. On voit donc que tout dénote, pour le pays où vivaient ceux-ci, l'existence d'une saison de repos complet, suivie d'un printemps qui devait s'établir sans secousse, sans retours partiels de froid et d'assez bonne heure. Par la même raison, l'été devait être chaud, car les types les plus méridionaux de cette époque, les Magnolias, Tulipiers, Plaqueminiers, Sequoias, Jujubiers, Vignes, etc., sont tous des plantes dont les fruits se développent lentement, et ne mûrissent que dans l'automne plus ou moins avancé. Enfin l'humidité est nécessaire à la plupart d'entre eux, et pour résumer ce qu'il y a de plus saillant dans leurs aptitudes, on peut dire que le défaut de chaleur limite actuellement leur extension vers le nord, en empêchant la maturité de leurs fruits, tandis que la sécheresse, bien plus que l'excès de chaleur, les arrête vers le sud.

Nous sommes donc à peu près fixés sur la nature du climat des régions arctiques miocènes ; mais ces conditions sont loin de ressembler à celles qui existent actuellement dans la même zone, en y admettant même un accroissement de chaleur. M. Heer a parfaitement démontré que l'intensité relative de la chaleur estivale était le principal agent qui favorisait l'extension des types arborescents vers le nord, lors même que cette intensité répondait à un extrême de froid pendant l'hiver. Ce sont là les effets d'un climat continental, et, dans ce cas, la stature des arbres qui s'y trouvent exposés s'amoin-drit toujours dans une cer-

taine mesure. Dans quelques îles, au contraire, caractérisées par un climat maritime et par une sorte de neutralisation des saisons extrêmes, dans l'île de l'Ours, par exemple, vers le 74° degré latitude, les hivers sont relativement doux, et la température estivale s'élève à peine à 2 ou 3 degrés centigrades. Mais dans ce cas on n'observe de nos jours aucune trace de végétation arborescente ; en ajoutant même 9 degrés centigrades à la moyenne annuelle d'un pareil climat, on serait encore assez loin de la limite nécessaire pour la prospérité des espèces observées à l'état fossile. Ainsi, dans l'ordre actuel, il n'y a que deux sortes de climats dans la zone arctique : l'un maritime et relativement égal, mais absolument impropre à la végétation des essences ligneuses ; l'autre continental et excessif, mais susceptible, à cause de la chaleur de l'été, d'en admettre un petit nombre.

Cet état résulte de la nature même des choses ; la coïncidence des glaces permanentes sur les terres, et de l'absence de lumière solaire durant une partie de l'année, constitue une cause prépondérante de froid dont rien ne saurait contrebalancer l'intensité ; en effet, en se reportant au milieu des temps tertiaires, si l'on consent à laisser de côté l'influence de la chaleur centrale, qui devait être devenue à peu près nulle bien avant cette époque, il ne reste plus à invoquer que celle des régions chaudes du globe, s'exerçant à l'aide de courants marins ou atmosphériques ; mais si l'on conçoit qu'il puisse résulter de ce fait une certaine atténuation, susceptible de favoriser sur quelques points, comme maintenant, l'extension de la végétation vers le nord, comment concevoir que cette influence ait pu à elle seule neutraliser les effets du rayonnement, arrêter le développement des glaces et suppléer complètement à l'absence de la lumière solaire ? Il existe certainement là une inconnue à dégager ; nous sommes très-loin, il est vrai, de penser que le problème puisse être dès maintenant résolu ; mais nous devons suivre M. Heer dont nous analysons l'œuvre, et l'imiter dans les efforts qu'il fait pour jeter sur cette question les premières clartés.

Après avoir repoussé l'idée que l'action depuis longtemps insensible de la chaleur interne pût encore influencer sur le climat de

la surface terrestre, à l'époque tertiaire, M. Heer combat avec raison l'opinion de M. Sartorius qui, cherchant le mot de l'énigme dans une autre distribution des terres et des eaux, fait résulter l'ancienne élévation de température de la prédominance d'un climat maritime. Les chiffres auxquels arrive M. Sartorius par sa manière de calculer les isothermes sont tellement en désaccord avec ceux que fournit l'étude des végétaux fossiles, qu'il n'y a pas lieu de s'y arrêter ; ses moyennes sont évidemment inférieures à toutes les conditions que durent exiger pour vivre les anciens végétaux arctiques ; elles ne concordent ni avec le caractère bien connu de la végétation d'Oeningen, ni encore moins avec ceux de la flore de l'extrême Nord ; et d'ailleurs, comme le fait observer M. Heer, il ne saurait être question ici d'un climat exclusivement maritime, puisque l'âge dont il s'agit a vu les continents actuels déjà en grande partie formés, et les terres circompolaires peut-être plus étendues que de nos jours.

M. Heer, recherchant une cause générale, serait plutôt disposé à la voir dans la diversité des milieux que le système solaire a dû traverser dans sa marche à travers l'espace. L'ancienne élévation de la température, suivie d'un abaissement aussi marqué, serait à ses yeux une des saisons que le cercle immense, parcouru par le soleil autour de l'astre central qui le régit, doit nécessairement amener. La périodicité obligée de ces sortes de saisons concorderait avec le retour des révolutions grandioses dont notre globe a été affecté à tant de reprises ; la vie aurait été ainsi tour à tour éteinte et ranimée, à la suite des hivers et des printemps de cette année incommensurable ; mais ici, il faut le dire, nous naviguons en pleine hypothèse, en formulant une idée que rien ne semble justifier, car rien de périodique ni de vraiment régulier ne se montre dans les phénomènes qui ont successivement agité la surface du globe. Ceux à qui est dû le renouvellement des êtres vivants ressemblent bien plutôt à d'insensibles transformations. L'ensemble de ce qui a vie n'a jamais péri à la fois ; l'homme se fait illusion à lui-même quand il observe un terrain dénué de vestiges organiques, et qu'il en conclut que la vie était à ce moment éteinte sur le globe. Il fait

comme celui que l'obscurité porterait à nier l'existence des objets, ou qui, devant un désert, déclarerait la terre privée d'habitants. On ne saurait s'élever avec assez de force contre une pareille pensée, si pleinement en désaccord avec cette chaîne continue, qui fait du passé de notre planète un tout solidaire dans ses diverses parties, dont les intervalles se comblent incessamment, à mesure que l'homme accumule ses découvertes.

Où donc chercher cette cause qui semble échapper à l'analyse ? Nous pensons avec M. Heer qu'on est loin de posséder à cet égard les éléments d'une vraie solution ; cependant il est naturel d'épuiser pour l'obtenir l'étude des phénomènes qui peuvent se produire sur notre globe, avant que de placer cette cause en dehors de lui, dans le fond de l'espace ; elle peut d'ailleurs avoir été d'une nature très-complexe, et c'est là encore ce qui semble le plus probable. L'observation de la nature organique, vers le milieu des temps tertiaires, fait voir qu'alors, à une décroissance moins rapide de la température dans la direction des pôles, se joignait une plus grande humidité atmosphérique. Malgré l'insuffisance des documents empruntés au règne végétal, l'étude des animaux marins et des Mammifères fossiles de l'Inde démontre qu'à la même époque la zone tropicale ne possédait pas un degré de chaleur supérieur à celui qu'elle a de nos jours. Il résulte de tout cela qu'il y avait alors une tendance bien marquée vers l'égalité des climats, quoique l'effet des latitudes fût déjà sensible. En remontant plus loin dans le passé, on voit cette uniformité faire des progrès, puisqu'elle devait être à peu près complète à l'époque de la craie. Ainsi, autant que l'on peut en juger, la marche du phénomène le plus général dont il nous soit donné de saisir la marche, a consisté dans une diversité croissante des climats, au moyen d'une dégradation de plus en plus prononcée de la chaleur terrestre dans le sens des latitudes. Or, la cause déterminante de la diversité des climats et de leur échelonnement sur la ligne des parallèles nous est bien connue ; c'est le résultat direct de l'inclinaison de l'axe terrestre sur le plan de l'orbite, et il faut bien avouer que les choses étaient autrefois disposées comme si cette inclinaison avait été moindre ou

même nulle. A cette cause, si elle a existé, plusieurs autres ont pu se joindre encore ; elles sont au nombre de quatre : une moindre étendue des continents, ou plutôt des continents plus divisés par la mer ; une plus grande densité de l'atmosphère ; un moindre relief des montagnes ; en dernier lieu, enfin, l'absence de glaces polaires. Il est impossible de calculer à quel point ces causes secondaires ont pu contribuer à l'élévation de la température, tandis que le redressement de l'axe la rendait nécessairement plus égale ; mais il est indispensable de remarquer que l'absence de glaces polaires et de neiges permanentes sur les montagnes peut expliquer l'accroissement de l'humidité et l'abondance des eaux douces. Il suffit de réfléchir à l'énorme quantité d'eau qui s'est trouvée par ces deux causes soustraite à l'atmosphère, et fixée par la congélation. Non-seulement ces eaux autrefois retombaient en pluie, mais, à l'état de vapeur, elles devaient accroître la densité de l'atmosphère, et par conséquent son pouvoir calorique, en diminuant les effets du rayonnement. On voit donc que tout, dans notre série d'hypothèses, concourt au même résultat, et que ce résultat est justement identique avec ceux que nous révèle l'étude des plantes fossiles. En supposant l'axe terrestre incliné de 10 degrés seulement, le cercle polaire se trouve rejeté au nord du Spitzberg, par conséquent plus d'obscurité de plusieurs mois pour les régions dont M. Heer décrit la végétation ; l'obliquité seule des rayons solaires, compensée pourtant par la longueur relative des jours d'été, y aurait amené un abaissement de température hivernale, assez éloigné des extrêmes qu'on observe maintenant aux mêmes lieux, pour justifier la présence des *Sequoia*, des *Taxodium* et des *Magnolia* d'une part, comme de l'autre l'exclusion des types subtropicaux, assez peu prononcé encore pour expliquer la vigueur des essences polaires et la beauté présumée des anciennes forêts. Ne l'oublions pas cependant, ce qui précède n'est qu'une donnée conjecturale qui a pour elle, il est vrai, le merveilleux accord qu'elle manifeste avec les faits paléontologiques. On peut le dire en effet, comment comprendre sans elle le rôle des principales espèces tertiaires que l'on suit sans interruption, des bords de la Méditerranée à l'ex-

trémité supérieure du Spitzberg, sur un espace de 40 degrés latitude, et qui semblent avoir rencontré partout des conditions sensiblement pareilles, sinon identiques? C'est là une vue de plus jetée sur ce monde naguère inconnu, maintenant ouvert aux explorations de la science, grâce à l'initiative infatigable de M. Heer. Répétons-le en terminant, avec le savant professeur de Zurich, il faut abandonner l'œuvre aux travaux communs des géologues et des astronomes; le temps finira bien par amener la solution du problème.