

type struthionien, et l'on peut se demander si tous les oiseaux disséminés de la sorte, les uns sur de grands continents, les autres sur des îles isolées, ne seraient pas descendus d'espèces appartenant primitivement à une même faune locale, mais dispersée au loin à une époque géologique très-reculée, pendant laquelle des communications auraient existé entre l'Amérique, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, Madagascar, l'Afrique, etc., communications qui, peu après, auraient été rompues.

Dans l'état actuel de nos connaissances, cette question ne peut recevoir aucune solution directe; cependant, beaucoup de présomptions existent en sa faveur. Ainsi, la faune néozélandaise nous rappelle encore celle des temps géologiques anciens par le mode de structure des reptiles aborigènes qui s'y trouvent.

Dans tout ce qui précède, je n'ai pris en considération que les types les plus élevés du règne animal. Il me serait facile de montrer que l'étude de la distribution géographique des types secondaires ou d'un ordre inférieur qui dérivent de ces formes organiques conduit à des résultats également favorables à l'idée de l'existence ancienne de foyers zoogéniques localisés et de l'extension centrifuge des représentants de ces types subordonnée à quatre conditions principales :

- 1° Le mode de locomotion auquel les animaux sont appropriés;
- 2° Les relations géographiques du foyer zoogénique avec les parties circonvoisines du globe;
- 3° L'aptitude de ces régions (aptitude due aux conditions du climat, de nourriture, etc.) à être habitées par ces émigrants qui arrivent du dehors;
- 4° L'époque géologique à laquelle remonte le type zoologique réalisé par ces êtres.

### III

## L'ANCIENNE VÉGÉTATION POLAIRE

D'APRÈS LES TRAVAUX DE M. LE PROFESSEUR HEER (1)

ET LES DERNIÈRES DÉCOUVERTES DES EXPLORATEURS SUÉDOIS

AVEC DEUX CARTES EXPLICATIVES

Par M. le comte G. DE SAPORTA

A une époque où les aperçus géologiques n'étaient encore que des vues intuitives presque entièrement dénuées de la sanction des faits, Buffon émit cependant l'idée que le refroidissement du globe s'étant opéré graduellement,

(1) *Flora fossilis arctica* — *Die fossile Flora der Polarländer*, von Dr Oswald Heer, 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, et 3<sup>e</sup> parties. J. Warster et comp., lib. à Zurich, 1868-72.



les contrées polaires avaient dû posséder les premières une chaleur assez modérée pour permettre à la nature vivante de s'y établir. Le Nord, par conséquent, avait dû être habité alors que le Midi était encore trop brûlant pour donner naissance à des êtres organisés, et il avait dû nécessairement exister une longue suite de temps pendant laquelle les terres septentrionales, après avoir cessé d'être incandescentes, comme elles l'avaient été originairement, à l'exemple de toutes les autres, *avaient joui de la même chaleur dont jouissent aujourd'hui les terres les plus avancées vers le sud* (1). Ces données hypothétiques sont demeurées vraies, et cependant les choses ne se présentent pas aujourd'hui aux yeux des géologues comme elles se montraient à l'esprit de Buffon. A mesure que les phénomènes anciens, alors à peine soupçonnés, ont tendu à se préciser, il n'a plus suffi de quelques formules générales, à la fois absolues et vagues, pour résumer en peu de mots tout le passé de notre planète. Plus on observait rigoureusement, plus les théories d'ensemble perdaient de leur importance et disparaissaient, pour ainsi dire, dans l'extrême lointain des événements auxquels se rapportaient ces théories, pour céder la place aux faits partiels dont l'investigation se poursuit sans trêve, jusqu'à ce que le moment soit venu de réunir leurs traits épars et de remonter enfin vers les causes prochaines qui produisirent ou déterminèrent ces faits.

La fluidité ignée et l'incandescence originaire du globe sont admises certainement par les géologues comme un phénomène initial, comme le point de départ probable de tous ceux qui ont suivi; la chaleur intérieure d'une part (quelle que soit d'ailleurs la nature et l'intensité réelle de ce phénomène si difficile à préciser), de l'autre, l'enveloppe de gaz et de vapeur ou atmosphère dont la surface terrestre est entourée, aussi bien que la masse aquatique qui emplit ses dépressions au-dessous d'un niveau déterminé, sont bien considérées comme représentant les vestiges et, pour ainsi dire, ce qui a survécu de la fluidité primitive. Dans quel éloignement faut-il cependant reporter l'époque où le phénomène s'exerçait encore sans limite et où l'eau n'existait qu'à l'état de vapeur? Il paraît impossible à l'esprit d'en essayer le calcul ni même d'en apprécier les phases. Mais en admettant ce premier état comme une hypothèse vraisemblable dont les détails nous échappent, on conçoit sans peine, qu'à cette période, la plus ancienne de toutes, a dû succéder une seconde période également immense par la durée et pendant laquelle les eaux, à moitié liquides, à moitié vaporisées et presque bouillantes, ne cessèrent d'agir pour remanier les roches primitives, les attaquer, les désagréger et en accumuler les débris au fond des bassins maritimes en voie de formation.

Ainsi se constituèrent ces grandes étendues de roches stratifiées primitives, ces gneiss, ces schistes cristallins qui occupent tant d'espace à la surface du globe et répondent à une période *azoïque* pendant laquelle les eaux, quel que fût le degré de leur chaleur insensiblement décroissante, jouaient déjà un rôle prépondérant, sans pouvoir encore présenter des conditions d'existence supportables aux organismes vivants, même les plus inférieurs. C'est seulement au sein d'une mer dont l'eau, malgré sa chaleur, n'atteignait plus

(1) Buffon, *Des époques de la nature; Hist. nat. gén. et part.*, édit. petit format de l'imprimerie royale, 1778, suppl. t. IX, p. 36.



le degré auquel a lieu la coagulation de l'albumine, que l'on doit vraisemblablement placer la manifestation de la vie organique, non pas au contact de l'atmosphère, du reste encore peu distincte de l'Océan primordial, mais au sein même des eaux, et par conséquent dans des bassins relativement calmes, susceptibles de favoriser l'apparition, puis le développement de la vie par le maintien des conditions qu'elle exige et sans lesquelles elle n'aurait pas manqué de succomber dès ses débuts. Rien n'empêche de croire, comme l'a pensé Buffon, que c'est aux environs du pôle que la vie naissante a rencontré ces conditions indispensables et qu'elle a localisé ses plus anciennes productions, avant de se propager et d'envahir l'universalité du globe. Rien n'empêche de croire non plus que c'est dans la zone polaire que la vie cessa d'être exclusivement aquatique et sortit du milieu purement liquide dans lequel les êtres ont dû primitivement flotter, pour commencer à habiter le sol émergé dans un milieu encore tout baigné de vapeurs et ruisselant de tièdes ondées. Ce berceau de la vie qui débute nous apparaît humble et faible, à l'exemple de tous les commencements; mais, en l'entrevoyant, nous rejetons en même temps la pensée de ceux qui admettent la répétition de ces phénomènes de la vie initiale dans chaque étage géologique, dès que, sur un point donné, ils croient apercevoir les traces d'une interruption de la série de strates, indices selon eux d'une perturbation physique après laquelle ils observent de nouveaux fossiles distincts à quelques égards de ceux qui existaient auparavant aux mêmes lieux. Si la vie a commencé une fois, c'est que son commencement s'impose à notre esprit comme une nécessité évidente; nous pouvons même préciser le degré de température au-dessous duquel la vie cesse d'être réalisable et celui au-dessus duquel elle n'a pu se manifester, mais nous ignorons si la vie a paru dès que les conditions susceptibles de comporter sa présence se sont montrées. Nous ne connaissons pas même les êtres qui furent les premiers de tous, et cela par une raison bien simple, c'est qu'il ne suffit pas qu'il y ait eu autrefois des êtres pour que ces êtres nous soient connus, il faut encore qu'il se soit rencontré des circonstances matérielles de nature à nous en conserver les traces. Or un heureux hasard ou plutôt des coïncidences qui sont loin d'avoir toujours eu lieu, sont cependant indispensables pour que nous possédions les fossiles d'une époque ou d'une contrée donnée pendant cette époque. C'est à quoi on n'a pas toujours réfléchi : les êtres vivants ne sont pas également susceptibles de laisser d'eux des vestiges saisissables; les organismes mous, certaines catégories de plantes herbacées sont dans ce cas; nous ne connaissons jamais leur histoire, ou nous ne la connaissons qu'à l'aide d'analogies très-indirectes. Mais si, parmi les êtres vivants, il en est qui peuvent avoir laissé des traces de leur existence ou des parties d'eux-mêmes, c'est là une simple possibilité qui demande encore, pour passer à l'état de fait, un concours de circonstances extérieures qui a dû faire souvent défaut; et il est bien certain que même en ne s'arrêtant qu'aux organismes de chaque période les mieux prédisposés à devenir fossiles, le plus petit nombre et l'exception seulement ont pu profiter de cette facilité et parvenir jusqu'à nous.

Non-seulement, la plupart des êtres vivants les plus anciens, animaux et



plantes, ont dû posséder une consistance molle, les téguments et les charpentes ayant été le résultat d'un développement ultérieur des types, mais les roches stratifiées primitives, malgré leur épaisseur, dans un âge où la vie était relativement pauvre et encore localisée, par suite aussi des altérations qu'elles ont subies, n'ont dû rencontrer presque aucune occasion de nous apprendre à l'aide des fossiles l'aspect des populations vivantes contemporaines de leur formation. Il faut bien le redire et y insister, puisque de cette circonstance est née une confusion et une source d'erreurs sans cesse renouvelées : des lits dénués de fossiles sont loin d'être une preuve que la vie était absente, ni même qu'elle était indigente dans les eaux où se sont déposés ces lits; une pareille pauvreté est possible, mais il est possible aussi et en même temps plus probable que l'absence de tout vestige organique, lorsqu'elle existe, soit uniquement due aux circonstances qui présidèrent à la formation du dépôt et à la structure de la roche à laquelle le dépôt a donné lieu.

Plusieurs faits géologiques remarquables sont de nature à donner à penser que la vie eut son foyer primitif, sinon au pôle même, du moins dans son voisinage, et qu'une fois développée, elle demeura longtemps plus active et plus féconde dans les contrées qui touchent au cercle polaire et vers les hautes latitudes. Les couches fossilifères les plus anciennes et en même temps les plus riches se trouvent comprises dans la zone boréale; elles abondent surtout dans la partie froide de cette zone, du 50° au 60° degré de latitude nord et encore au delà. On rencontre, il est vrai, des formations siluriennes dans le sud de l'Espagne et en Amérique, à une latitude correspondante jusque vers le 35° lat. N.; cependant les localités les plus célèbres sont situées plus au nord, en Bohême, en Angleterre, en Scandinavie, aux États-Unis. Le système *laurentien* acquiert son plus grand développement au Canada, et les roches paléozoïques, associées à des massifs cristallins, couvrent une portion considérable des terres polaires qui s'étendent au nord des lacs américains. Il en est évidemment de même des parages qui cernent la baie de Baffin et d'une partie au moins du Groënland et du Spitzberg.

Le dévonien supérieur, les divers étages du système carbonifère, surtout le *bergkalk* ou *calcaire de montagne* (*mountain-limestone*), qui représente les dépôts marins immédiatement antérieurs au niveau des houilles, sont également très-répandus dans les régions voisines du pôle. L'archipel Parry, au delà du 76° degré de latitude nord, l'île Bathurst, le Groënland, le Spitzberg (Klaas Billen-Bay), vers le 79° degré de latitude nord, l'île des Ours, située entre le Spitzberg et le cap Nord, sous le 70° 30' latitude nord, en ont fourni des preuves répétées, basées sur l'observation des espèces caractéristiques de chacun de ces étages, que rien ne distingue, ni l'aspect minéralogique, ni les fossiles, de ce qu'ils sont en Europe et en Amérique, trente degrés plus au sud. Depuis longtemps, le professeur d'Archiac avait remarqué que les dépôts de houille devenaient exceptionnels au delà du 35° degré dans la direction du sud, tout en continuant à se montrer dans le nord sous de très-hautes latitudes. Il s'ensuivrait que les conditions climatiques ou simplement géographiques propres à la génération de la houille, que l'on s'accorde



maintenant à considérer comme s'étant formée au sein de vastes tourbières, ne se sont pas manifestées partout durant la période carbonifère, mais seulement dans une zone dont les limites méridionales peuvent être tracées approximativement, tandis que vers le nord cette zone a dû s'étendre très-loin et aller même jusqu'au pôle.

### I. — FLORE CARBONIFÈRE ARCTIQUE.

Les plantes terrestres les plus anciennes dont on ait connaissance ont laissé leur empreinte dans les schistes qui accompagnent généralement les lits de houille ou charbon minéral. Il ne s'ensuit pas pourtant qu'en dehors des localités inondées ou tourbeuses qui donnèrent lieu au dépôt des schistes ou des grès feuilletés, riches en empreintes végétales, le sol émergé proprement dit, c'est-à-dire les massifs cristallins qui représentent les continents de l'époque, fussent dénués de végétaux. Loin de là; on sait, au contraire, par les graines silicifiées, empâtées dans des brèches de l'âge carbonifère, qu'il existait alors une végétation forestière composée surtout de conifères prototypiques et différente de celle dont les houillères nous ont transmis les vestiges. La première occupait l'intérieur des terres et les parties accidentées du sol depuis longtemps émergées, la seconde fréquentait les lieux bas, surtout les dépressions littorales où les eaux douces venues de l'intérieur s'accumulaient en donnant lieu à des lagunes aussi vastes que peu profondes. Les terres arctiques, qui ne différaient alors en rien de celles de nos latitudes par la chaleur ou le climat, comprenaient sans doute aussi ces deux catégories de végétaux, dont l'une nous est si bien connue, grâce à la multitude d'empreintes que les dépôts houillers nous ont conservées, tandis que l'autre se laisse à peine entrevoir par suite de l'extrême rareté des débris susceptibles d'attester son ancienne existence.

L'âge carbonifère a dû être d'une durée énorme, bien que l'on ne puisse songer un seul instant à l'égaliser au silurien. La période dévonienne sert de transition entre les deux et mène insensiblement de l'un à l'autre. L'Océan était alors immense et le sol émergé, plus étendu pourtant qu'on ne serait porté à l'admettre au premier abord, ne se composait que des seules régions primitives cristallines. Sans être très-hardies de profil ni présenter une ossature établie sur une bien large échelle, ces terres paléozoïques avaient pourtant un certain relief et leurs plages devaient être découpées avec une certaine netteté. C'est à des émergences opérées à plusieurs reprises, de manière à retirer chaque fois des eaux une ceinture basse autour des continents de l'époque, que sont dus en réalité le phénomène des houilles et les dépôts auxquels ce phénomène donna lieu. C'est toujours le long du littoral et le plus souvent sur les formations marines immédiatement antérieures que s'établirent les bassins houillers, et, à cet égard, on voit bien par les descriptions de M. Heer et les indications du célèbre explorateur suédois Nordenskjöld, que les localités arctiques ne diffèrent en rien, par les circonstances qu'elles permettent de constater, de celles de l'Europe observées à la même époque.

Les plus reculées de ces émergences suivies de dépôts de houille et de



schistes charbonneux à empreintes végétales eurent lieu vers le dévonien supérieur. Ce sont là les plus anciennes plantes terrestres dont nous ayons connaissance, ce qui ne veut pas dire que ce soient réellement les premières, loin de là. Il est en effet aisé de constater que la végétation, déjà bien éloignée de son point de départ originaire, contenait à peu près les mêmes éléments que lors du terrain carbonifère proprement dit, sauf les variations et modifications partielles que la flore ne cessa de subir en traversant cette grande période.

Les plantes dévoniennes sont rares partout et elles n'ont pas été encore rencontrées dans les régions arctiques; mais à la partie supérieure du dévonien, entre cet étage et celui du bergkalk ou calcaire de montagne, avec ses *Productus* et *Spirifer* caractéristiques, on observe sur un assez bon nombre de points, soit en Europe, soit dans la zone polaire, un premier niveau houiller, avec des plantes terrestres, qui témoigne partout d'une grande uniformité de végétation. C'est à ce niveau houiller inférieur que M. Schimper a récemment appliqué le nom d'étage *paléanthracitique* et M. Heer celui d'étage *ursien*, de l'île des Ours (Bären Insel), où il paraît plus développé qu'ailleurs et où il est, de plus, encadré entre deux assises marines, ce qui prouve que la mer s'étant retirée pendant le dépôt des lits charbonneux qui renferment les empreintes, elle revint ensuite recouvrir le dépôt une fois formé, dépôt essentiellement littoral par conséquent, bien que certainement d'eau douce. Les plantes distinctives de ce niveau *ursien* reparaissent non-seulement dans les îles Parry et au Spitzberg, mais plus loin, en Islande, près d'Aix-la-Chapelle et dans les Vosges, où elles ont fourni à M. le professeur Schimper la matière d'un important mémoire *sur la flore du terrain de transition des Vosges*.

Il s'agit donc là, non d'un simple accident local, mais bien d'une période végétale très-antérieure à celle des houilles, coïncidant avec une série d'émer-sions simultanées, dont le résultat a été de nous faire connaître les formes principales qui dominaient alors parmi les végétaux, mais seulement dans le périmètre d'une zone littorale assez peu étendue. Voici, du reste, comment M. Heer décrit la végétation de cet âge en mêlant le récit des événements au tableau que présentait l'ensemble des espèces dont ces événements ont favorisé la conservation.

« Vers la fin de la période dévonienne, la terre ferme s'agrandit notablement dans l'hémisphère boréal; c'est là une époque de soulèvement du fond des mers. Avec cette extension du sol continental opérée sur une vaste échelle, commence une nouvelle période, celle des houilles (période carbonifère). Nous avons désigné sous le nom d'étage *ursien* la première subdivision de cette période; avec elle coïncide l'apparition de la plus ancienne flore terrestre, assez riche pour nous donner une idée de l'aspect de la végétation à cette époque primitive. Cette flore peut être, en effet, observée à travers l'hémisphère boréal, dans l'ancien comme dans le nouveau continent, du 47° jusqu'au 74° ou au 75° degré de latitude nord, et partout elle montre le même caractère. Partout apparaît le *Calamites radiatus* qui couvrait de ses hautes tiges en colonne les bas-fonds marécageux, tandis que ses grands



rhizomes pénétraient de toutes parts dans le sol tourbeux. Partout aussi se font voir, associés aux surprenants *Knorria* les *Lépidodendron* avec leurs tiges ramifiées par dichotomie et leurs feuilles réunies en panache serré. Les *Cyclostigma* que nous trouvons également dans le sud de l'Irlande et dans l'île des Ours manquent rarement aussi au sein de ces couches formées sur un sol émergé, et ces plantes ont composé en partie les forêts à l'ombre desquelles les *Cardiopteris* et les *Palæopteris* étendaient leurs frondes puissantes.

» Cette flore comprend déjà un nombre assez considérable d'espèces, et beaucoup d'entre elles se montrent en même temps dans des régions si éloignées les unes des autres, que leur présence répétée autorise à soupçonner l'existence d'un vaste continent qui se serait étendu à la fois dans la zone tempérée et dans la zone arctique. La région carbonifère russe se prolongeait peut-être jusqu'à l'île des Ours, et la végétation de cette île aurait alors fait partie intégrante de la flore carbonifère inférieure de la Russie dont elle marquerait la continuation vers le nord. La preuve que l'étage ursien a dû être formé le long des côtes d'un grand continent résulte de la présence même d'animaux d'eau douce, de coquilles stagnales et de névroptères, qui ne peuvent avoir vécu que dans une terre assez considérable pour contenir des lacs et donner naissance à des fleuves.

» Quelle fut la durée de cette période? c'est ce que l'on ne saurait déterminer; ensuite commença un nouvel affaissement des terres; les formations d'eau saumâtre et les formations purement marines recommencèrent; les schistes charbonneux et le calcaire de montagne recouvrirent le sol précédemment émergé avec ses empreintes végétales. La grande extension du bergkalk sur divers points de l'Europe et de l'Amérique du Nord, et le petit nombre de dépôts d'origine continentale qu'il comprend, nous démontre que cet affaissement des terres dut être le résultat d'un phénomène général. L'hémisphère boréal eût donc très-certainement alors un tout autre aspect que pendant l'étage ursien. Mais ensuite on vit se renouveler le même phénomène qu'au commencement de la période carbonifère. Nous constatons, à la suite d'un redressement ultérieur opéré sur de vastes proportions, la formation continentale du *culm*, et plus tard celle du carbonifère moyen, qui marque le moment où ces sortes de dépôts atteignent leur plus grande extension et leur entier développement. La flore, prise dans son ensemble, avait peu changé pendant une aussi longue période. Beaucoup d'espèces dominantes sont demeurées telles au delà même de ce temps et nous fournissent ainsi la preuve qu'à l'époque du bergkalk la terre n'a jamais été tout entière sous les eaux; qu'il est toujours resté, par conséquent, un certain espace continental émergé, suffisant pour donner asile à ces espèces de plantes, en sorte que celles-ci, aussitôt que le *culm* par son émergence eût ouvert devant elles un nouvel espace, en profitèrent pour s'étendre et se propager de plus en plus.

» On ne saurait révoquer en doute la longueur de temps qui a dû s'écouler du commencement de l'étage ursien jusqu'à celui du *culm*, et pendant la longue série de siècles qui se succédèrent alors, les conditions vitales des êtres organisés ne restèrent sans doute pas immuables. C'est là un fait remarquable à



constater que, nonobstant ces changements, des espèces aussi nombreuses aient traversé la durée entière de cet âge et pénétré au delà, sans éprouver de modification appréciable. Les formes multiples que revêt le *Calamites radiatus* à l'île des Ours reparaissent toutes dans l'étage le plus récent du carbonifère inférieur, je veux dire dans les schistes tégulaires (*dachschiffer*) de Moravie; mais ensuite ce type se perd sans que l'on puisse citer aucune forme qui lui soit analogue dans le carbonifère moyen, et il en est de même des *Knorria*, des *Cardiopteris* et *Palæopteris*. Ce sont là des faits qui protestent décidément contre la transformation incessante et graduellement progressive des espèces que les partisans de cette théorie ne sauraient pourtant ignorer.

» Leur importance est d'autant plus grande que visiblement les plantes de l'île des Ours ont dû vivre sous d'autres conditions de lumière que celles des Vosges ou de l'Irlande, puisqu'elles ont eu à supporter une longue nuit hibernale. Il est, en effet, surprenant que des arbres toujours verts, comme l'étaient probablement les *Lepidodendron*, et des plantes à feuilles aussi amples que le *Cardiopteris frondosa*, se soient accommodés d'une obscurité aussi prolongée pendant l'hiver; mais, à cet égard, nous devons aussi prendre en considération cette circonstance que la flore de l'île des Ours est presque uniquement composée de cryptogames (1), qui peuvent se passer de lumière plus facilement et plus longtemps que les phanérogames. Au reste, le climat de l'île des Ours devait être tout aussi favorable à la croissance des végétaux que celui qui régnait alors en Irlande et dans les Vosges, bien que cette île se trouve située vingt-six degrés et demi plus au nord, puisque, en définitive, les espèces qu'elle renfermait sont aussi grandes, aussi luxuriantes d'aspect, et qu'elles ont donné lieu à une couche de houille aussi épaisse que partout ailleurs à un niveau correspondant, mais à de moins hautes latitudes (2). La chaleur était donc encore, à ce moment, distribuée d'une manière égale à la surface du globe, tandis que dès la période miocène il existe à ce point de vue une inégalité bien marquée, qui est devenue plus prononcée encore dans la nature actuelle.

» Une étude comparative de la faune marine recueillie à l'île des Ours nous amène à des résultats semblables.

» Le *Productus giganteus*, les *Productus striatus*, *punctatus* et *hemisphericus*, que nous savons exister dans le bergkalk de cette île, ont été découverts presque partout dans ce calcaire de montagne et possédant une extension, équivalente à celle du *Knorria imbricata*, du *Lepidodendron Velthrimianum* et du *Calamites radiatus*. Bien plus, deux mollusques du calcaire de montagne du Spitzberg (*Spirifer Keilhauii* et *Productus costatus*) ont été également signalés dans les Indes, et une autre espèce, le *Productus Humboldtii*, dans l'Amérique du Sud, en sorte que les espèces polaires s'étendaient alors jusque

(1) Deux *Carpolithes*, selon M. Heer, auraient seuls appartenu à des Phanérogames.

(2) Le grès jaunâtre d'Irlande présente seulement quelques minces lits de charbon dans le voisinage immédiat des plantes. Dans les Vosges, et généralement dans tout le carbonifère inférieur, on ne rencontre nulle part des couches de houille bien puissantes. Ces couches commencent à se montrer seulement à partir du carbonifère moyen, qui a été désigné en conséquence comme étant la période de formation productive des houilles. (Note de M. Heer.)



sous les tropiques. La présence, à cette époque, d'un climat, non pas seulement égal, mais encore chaud, se trouve prouvée par les bancs de coraux qui se formaient au Spitzberg et aussi par la grande dimension des cryptogames vasculaires arborescents et par les fougères aux larges frondes que renfermait l'île des Ours (1). »

Un tableau aussi vivant et aussi complet, en dehors de l'intérêt qu'il présente par lui-même, est bien fait pour nous suggérer quelques réflexions. M. Heer n'admet pas, avec raison, que la terre entière ait été jamais submergée durant l'époque d'invasion maritime représentée par le bergkalk; il comprend la nécessité d'un ou plusieurs continents servant d'asile aux plantes refoulées des parties envahies, et qui reparurent ensuite, lors du culm et du houiller proprement dit, les unes sous la même forme qu'auparavant, les autres représentées par des formes alliées quoique distinctes. Mais M. Heer s'étonne que certains types se soient perdus après le culm, sans jamais reparaitre, après avoir traversé, sans modification aucune, la longue période qui venait de s'écouler depuis la base extrême du carbonifère inférieur. Ce sont là, selon lui, des faits en contradiction avec la théorie de la transformation insensiblement progressive des espèces. M. Heer ne nie pas cependant la possibilité des transformations organiques; mais il les veut subites, se produisant à certains moments, et capables d'amener un renouvellement général après lequel les types spécifiques ayant reçu la marque d'une nouvelle empreinte, reprennent ensuite leur immobilité pour ne plus donner lieu qu'à de faibles oscillations, jusqu'au moment éloigné où le même mouvement palinogénésique se fera sentir de nouveau. Une pareille théorie, que l'auteur a exposée à la fin de son beau livre sur la *Suisse primitive* (*Die Urwelt der Schweiz*), a l'air d'être très-opposée à celle de l'évolution; en réalité, elle y confine presque. Jamais aucun évolutionniste n'a cru ni énoncé que les espèces aient varié incessamment ni insensiblement dans tous les cas, de manière à graviter sans trêve vers un développement nouveau dont la direction serait, pour ainsi dire fatale, mais dont le but ne serait jamais atteint, puisqu'il se déplacerait toujours devant de nouveaux progrès. Une pareille pensée n'a pu venir à un observateur vraiment sérieux: il n'y a qu'à voir, pour être persuadé du contraire combien la tendance à la variabilité est elle-même variable, inégale selon les groupes et changeante selon les temps. Pourquoi des plantes accommodées à un état de vie une fois défini, à des conditions d'humidité et de chaleur déterminées, nécessairement durables pour avoir engendré un phénomène aussi arrêté dans son mécanisme que celui des houilles, pourquoi ces plantes auraient-elles beaucoup varié, lorsque rien ne les sollicitait à un changement? Mieux encore; chez elles la tendance à varier se réduisait, sans doute, à ce minimum de plasticité organique qui reste inhérent à tout être, même le plus immuable en apparence, sauf à demeurer à l'état latent ou à n'entrer que faiblement en jeu. Une faculté aussi amoindrie n'en existe pas moins, mais si elle s'exerce, elle produira lentement et irrégulièrement des diversités individuelles ou locales qui, même à travers des cen-

(1) Heer, *Foss. Fl. der Bären Insel*, p. 22-14. — *Fl. oss. arctica*, Pars II.



taines de siècles, pourront n'entraîner pour les espèces modifiées d'autres résultats que de multiplier leurs races. Les races, à leur tour, douées elles-mêmes d'une plasticité inégale, peuvent longtemps persister dans le même état, jusqu'à ce qu'elles trouvent dans l'établissement de nouvelles circonstances une occasion de changements plus profonds ou de disparition finale. Mais si la race ou l'espèce s'éteint, par son extinction elle occasionne nécessairement un vide, et ce vide amène forcément un contraste qui accroît la distance entre les formes survivantes.

Cette marche est certainement très-complexe. Bien que l'esprit la saisisse, il voudrait encore qu'il lui fût possible de la confirmer par l'observation de faits nombreux et concluants; et cependant, lorsque l'on songe à la nécessité où nous sommes de n'entrevoir dans chaque âge la nature organisée qu'à l'aide de quelques circonstances heureuses, propres à nous en dévoiler une faible part, en laissant l'autre à jamais cachée, on comprend aisément que les vides soient trop considérables et les découvertes trop minimes pour nous permettre d'aller du premier bond jusqu'au fond des choses. Des lagunes nombreuses et littorales que nous a permis de connaître l'examen du terrain houiller, il faudrait aller plus loin et plus haut au sein des continents de l'époque, remonter les pentes et les cours d'eau, visiter le bord des lacs intérieurs, fouiller les vallées et les plaines, pénétrer au fond des bois montagneux, et savoir enfin s'il n'existait pas dès lors des cimes couvertes de végétaux particuliers. Nous ignorons tout cela, nous n'avons pas même à notre portée, pour asseoir notre jugement, un criterium pareil à celui que nous fournit la végétation tertiaire, je veux dire la comparaison des espèces fossiles avec celles qui leur correspondent dans la flore actuelle. Il n'est pas probable, selon moi, que nous apprenions jamais comment les végétaux anciens se sont graduellement modifiés et multipliés. Le problème de l'origine des espèces, reporté dans un passé aussi lointain, n'en devient que plus obscur; c'est plutôt, je le crois, en recherchant le point de départ des végétaux actuels, en suivant leur marche et leur développement successifs dans un âge relativement récent, que nous retrouverons les titres de filiation de certaines espèces et indirectement de toutes les autres.

Il doit suffire maintenant que les faits primitifs n'aient rien de contradictoire avec la marche progressive que nous supposons, en définitive, avoir été celle de la nature vivante tout entière. Mais, sur ce point même, il existe en réalité des confusions de mots regrettables, sortes de malentendus qu'on ne saurait trop repousser. Le progrès organique n'est nullement l'équivalent du progrès absolu qui n'a jamais été le partage que d'un petit nombre d'êtres dans la création, mais qui pourtant n'a jamais cessé de se manifester, si on le considère d'une façon générale et par rapport à l'ensemble. A chaque époque et dans l'intérieur de chaque série, à côté du progrès absolu et définitif, il y a le progrès partiel et relatif à certaines catégories, à certains appareils, à certains côtés des êtres, propre à leur communiquer une supériorité momentanée dans un milieu et sous des conditions déterminés.

Les organismes ont suivi, dans leur marche à travers le temps, des voies très-diverses; bien des groupes favorisés par les circonstances se sont rapi-



dement et à tout jamais fixés dans leurs traits principaux. Plus libres, plus robustes, plus indifférentes, à raison même de leur plus grande simplicité, plus à l'abri de la concurrence vitale, moins adaptées que leurs successeurs à des conditions strictement définies, des catégories inférieures ont retiré de leur infériorité des chances et presque des garanties de durée. Malgré tout, on ne saurait affirmer que les animaux et les plantes des âges primitifs fussent déjà plus parfaits que ceux qui suivirent, uniquement parce que ces animaux et ces plantes, favorisés par un concours particulier de circonstances, n'ayant pas d'ailleurs à lutter contre des organismes plus élevés, encore absents ou rudimentaires, avaient atteint un haut degré de développement et possédaient le nombre, la force et la beauté, qui sert toujours de corollaire à la puissance. Le progrès organique, je l'ai dit ailleurs, est, comme son nom l'indique, une *marche* (*progressus, incessus*); il résulte d'un degré plus avancé de complexité, mais cette complexité peut devenir abortive et régressive, et l'adaptation graduelle qui constitue réellement le progrès organique, bien qu'il résulte toujours d'une plus grande complexité, est loin d'amener dans tous les cas le perfectionnement absolu. Un être étroitement adapté à des conditions spéciales, quelque inférieur qu'il puisse d'ailleurs paraître par rapport aux types synthétiques dont il est sorti, s'est cependant perfectionné en un sens, en se spécialisant, et il semble même que ce soit là le but final de la vie ici-bas.

Mais, si cette marche est complexe au point d'engendrer, à côté de la perfection, les dégradations d'où sort le parasitisme et ces adaptations obscures et individuellement misérables qui fixent à tout jamais un être mobile seulement au début, cette même tendance à la complexité graduelle produit dans d'autres cas la division du travail organique, la localisation des fonctions et le perfectionnement des facultés, d'où sort finalement tout progrès, soit organique, soit même intellectuel.

Ces réflexions ne nous éloignent pas trop de notre sujet. La grandeur des calamites, la beauté des fougères, la puissance des lépidodendrées, ont paru à M. Williamson une preuve que la nature végétale n'avait pu se transformer et se perfectionner en se transformant, puisque, à l'origine, elle possédait des types de cryptogames très-supérieurs à ceux qu'elle comprend de nos jours, de même que les poissons cartilagineux, les reptiles marins et les crustacés trilobites paraissent l'emporter de beaucoup sur les animaux correspondants venus postérieurement. Mais on peut répondre justement que ces catégories d'êtres, malgré la prépondérance qu'elles ont jadis obtenue, sont loin d'être les plus élevées dans l'intérieur de chacune des classes dont elles font partie. Celles qui leur succédèrent le sont certainement davantage; mais à l'époque où, par suite de l'absence de types plus élevés, ou du moins plus rigoureusement adaptés, les cryptogames vasculaires sur la terre, les poissons cartilagineux et ensuite les reptiles énélosauriens dominèrent sur le globe et y rencontrèrent, soit dans l'atmosphère, soit dans le milieu aquatique, des circonstances propres à les favoriser; comment s'étonner qu'au sein de chacun de ces groupes primitifs, alors dans tout l'éclat de l'apogée, il se soit établi un mouvement organique qui les ait promptement amenés au



degré de perfectionnement relatif qu'ils étaient susceptibles d'atteindre? Sans doute, ces types relativement parfaits n'ont pas tous survécu au déclin de leur classe; plus délicats, à raison même de cette perfection hâtivement acquise, beaucoup d'entre eux ont péri, d'autres se sont amoindris, et ceux qui survivent, parfois méconnaissables, ne donnent plus qu'une très-faible idée de ce que furent leurs ancêtres.

Mais qu'y a-t-il là de surprenant, puisque en effet, plus un organisme tend à se perfectionner, même relativement, plus il devient susceptible d'être atteint par les changements et moins il se trouve capable de résister, soit à la concurrence des types nouveaux plus robustes, soit aux mutations qui altèrent les conditions extérieures auxquelles il devait son extension et dont le retrait entraîne sa perte.

L'étage carbonifère proprement dit, ou terrain houiller, qui marque après le sous-étage du culm ou *millstone-grit* une nouvelle extension du sol continental suivie de l'établissement, le long des plages soulevées, d'une puissante végétation de tourbières, n'est pas inconnu dans les terres arctiques, où jusqu'ici, cependant, il a été rarement observé. Un grès pesant, ferrugineux, gris à l'intérieur, rougeâtre à la surface, recueilli par MM. Fries et Nanckhoff à Ujarasusuk, dans l'île de Disco (Groënland), par 70° de latitude, a dû appartenir à cet étage, et renferme des traces végétales dont quelques-unes seulement ont été soumises à l'examen de M. Heer. La seule espèce déterminée est une fougère arborescente, *Protopteris punctata* Sternb., dont les tiges, épaisses de plus d'un décimètre, sont parfaitement reconnaissables, et qui a été signalée également en Europe sur plusieurs points du terrain houiller. Cette forme de fougère rappelle évidemment les *Dicksonia*, groupe dont les espèces frutescentes sont de nos jours en grande majorité tropicales (îles de l'Océan Pacifique, Amérique équatoriale, Indes), mais dont il existe pourtant deux espèces dans la zone tempérée australe (Nouvelle-Hollande orientale et Van-Diemen). M. Heer tire de la présence dans le Groënland septentrional à l'époque houillère, d'une fougère arborescente spécifiquement pareille à celles qui couvraient alors notre continent et analogue à celles de la zone tropicale actuelle, la preuve que le climat était fort doux et surtout fort égal du temps des houilles, que rien n'était changé à cet égard depuis le dépôt de l'étage ursien, et que rien non plus ne troublait encore la diffusion d'un même climat s'étendant à la terre entière, sans distinction de latitudes. J'adhère aussi à cette conclusion; mais si la température était alors partout élevée, sans variations bien sensibles, on peut se demander également si les régions polaires, pourvues à l'époque des houilles des mêmes végétaux que l'Europe elle-même, étaient soumises aux extrêmes saisons qui font de leurs étés un jour continu de plusieurs mois et de leurs hivers une seule nuit prolongée dans la même mesure.

L'égalité de température en toutes saisons, si favorable au développement des cryptogames vasculaires, semble au premier abord incompatible avec de pareilles alternatives périodiquement renouvelées, et, d'autre part, certaines îles, l'île des Ours elle-même, et les Orcades, perdues dans la brume de l'Océan et attiédies par un courant venu du sud, ont à la fois des hivers mo-



dérés et des étés sans chaleur, sous l'influence d'une humidité permanente. L'esprit hésite à aborder pour le passé de semblables problèmes qu'il ne peut résoudre par l'analyse seulement et qu'il redoute de trancher à l'aide d'une hypothèse. Il est cependant probable que tout a changé sur notre globe depuis un temps si lointain. L'effacement absolu de latitudes est un indice que la lumière solaire n'était pas répartie de la même façon que de nos jours. Les cryptogames vasculaires qui dominaient incontestablement recherchent l'ombre bien plus que les phanérogames. L'épaisseur d'une atmosphère humide leur est favorable. Est-ce là toute l'explication des climats primitifs et du mode de distribution de la lumière dans l'âge des houilles? Ces calamites, ces fougères en arbre, ces lépidodendrées semblables à des lycopodes gigantesques, supporteraient-elles une nuit d'hiver de plusieurs mois, sans que le climat du pôle fût affecté de cet ordre de saisons? On hésite entre plusieurs solutions. Certainement la densité de l'atmosphère, diminuée d'âge en âge, a dû jouer un grand rôle dans les phénomènes relatifs à l'élévation des anciens climats; sans doute aussi l'augmentation du rayonnement a dû plus tard entraîner des extrêmes de température d'abord inconnus; mais il se peut aussi, comme je l'ai déjà avancé ailleurs, que la condensation graduelle de l'astre central, alors peut-être encore éloignée de son terme, ait été originairement la cause la plus active d'une lumière plus libéralement et moins inégalement déversée aux régions polaires qu'elle ne l'est de nos jours aux mêmes lieux.

## II. — GÉOGRAPHIE ET GÉOGNOSIE DES RÉGIONS POLAIRES; PRINCIPAUX EXPLORATEURS ET GISEMENTS.

Ce qui précède, quelque soin que nous ayons mis à faire ressortir l'importance des documents publiés par M. Heer, ne saurait pourtant donner qu'une faible idée des travaux de l'illustre professeur de Zurich. Faible de corps, alité même pendant des années, mais infatigable malgré ses infirmités, appliquant la lucidité de son esprit et ses connaissances aussi étendues que variées à la poursuite d'un but dont la haute valeur lui fut révélée dès les premiers jours, il est devenu, à l'exemple de ce pôle dont il dévoile les arcanes, le centre immobile vers lequel gravitent depuis dix ans les pionniers du Nord, les marins illustres, les explorateurs habiles, à la fois énergiques et laborieux, hommes de science et hommes d'action, à l'occasion hommes de peine, qui parcourent de tous côtés les solitudes arctiques pour en relever les plagès, en fouiller les falaises, en sonder les profondeurs, et finalement en rapporter, en guise de trophées, des caisses de fossiles et de minéraux, qui ne sont devenus la propriété des musées de Dublin, de Londres, de Copenhague et de Stockholm qu'au prix d'actes incessants de courage.

On connaît les expéditions successives de Ross, de Parry, de Franklin, et, après la perte de ce dernier, les tentatives organisées à plusieurs reprises pour retrouver ses traces et dont l'une coûta la vie au Français Bellot. D'autres noms seront mentionnés plus loin lorsque je parlerai des points de la zone



arctique d'où viennent les plantes fossiles décrites par M. Heer. Mais auparavant, pour fixer l'esprit du lecteur, il est indispensable d'entrer, sur les contrées qui s'étendent par delà le cercle polaire, dans quelques détails géographiques de nature à faire comprendre ce qu'est aujourd'hui cette région inhospitalière et ce qu'elle a dû être jadis dans les époques antérieures à l'existence de l'homme.

Les régions ou zones polaires, au nombre de deux, l'arctique et l'antarctique, sont circonscrites par les cercles polaires qui marquent leurs limites extérieures vers les zones tempérées. La superficie de chacune d'elles est donc configurée en forme de calotte ou de coupole légèrement déprimée et ayant pour centre et pour sommet le pôle lui-même, seul point immobile, placé aux extrémités des hémisphères terrestres. Aussi, tandis que toutes les zones, ainsi que leur nom l'indique, constituent des ceintures ou des bandes plus ou moins larges qui entourent le globe dans le sens des latitudes, les seules régions polaires donnent lieu respectivement à un espace circulaire disposé autour d'un point central et mis en contact, vers la circonférence, avec la zone immédiatement contiguë, à travers laquelle peuvent librement rayonner les êtres organisés qui, après avoir eu leur point de départ à l'intérieur du cercle polaire, en sortiraient pour se répandre au loin par voie d'émigration. Nous verrons que le pôle arctique a dû être effectivement le siège de plusieurs mouvements d'émigration de ce genre, mais comme à l'égard des organismes terrestres, la distribution des parties émergées et les connexions continentales ont dû nécessairement restreindre ou favoriser, rendre possible ou neutraliser un rayonnement de ce genre, il est bon de faire remarquer, en premier lieu, que les deux pôles terrestres sont loin de se ressembler.

Le pôle antarctique entouré d'une mer immense et presque déserte, semble occupé par une seule terre ou du moins par une agglomération d'îles soudées en un seul tout par la glace dont les bords sinueux s'avancent seulement sur quelques points, entre autres vers la pointe australe du continent américain et le 60° degré de longitude O., au delà des limites du cercle polaire, pour rester généralement bien en deçà de ces limites. Si cet isolement a toujours subsisté, ou seulement si les attaches entre le continent polaire austral et les terres tempérées ont toujours été faibles ou momentanées, il se peut que la région antarctique n'ait jamais servi de berceau originaire à des flores ou à des faunes bien considérables et n'ait jamais été non plus le siège d'un mouvement d'émigration semblable à celui dont le pôle opposé va nous offrir le tableau.

Le pôle boréal comparé à l'autre, présente effectivement les plus éminents contrastes. La terre et l'eau entremêlées s'en disputent l'empire et, de plus, au lieu d'un océan, ce sont les deux continents, l'ancien et le nouveau, qui dilatent leur surface et multiplient l'étendue de leurs côtes pour lui constituer une ceinture qui pénètre presque partout au delà du cercle polaire, tout en laissant vers le détroit de Behring d'un côté, de l'autre entre le Groënland et la Norvège, une entrée aux eaux de l'Océan. Le plus grand diamètre de ce bassin intérieur, à travers une mer supposée libre, mais en réalité encore par-



faitement inconnue, mesure environ 40 degrés, soit 1000 lieues, du cap Nord à la partie de la côte américaine qui avoisine le détroit de Behring. Le Lapland, ou Laponie norvégienne, avec ses plages déchiquetées, va jusqu'au 71° degré de latitude nord; la mer Blanche donne lieu, au contraire, à une échancrure sinueuse et profonde; mais entre Archangel et l'embouchure de l'Obi, de nouvelles coupures festonnent le littoral sibérien vis-à-vis les grandes îles de la Nouvelle-Zemble, et séparé d'elles par la mer de Kara; puis, après une nouvelle embouchure, celle de l'Iénisseï, la Sibérie prolonge sa pointe la plus avancée jusqu'au 76° degré de latitude septentrionale. Plus loin, vis-à-vis des embouchures de la Léna, se trouve placé l'archipel de la Nouvelle-Sibérie. Si l'on continue à suivre les plages des continents qui bordent la mer arctique, après avoir dépassé la dépression au fond de laquelle s'ouvre le détroit de Behring, presque sous le cercle polaire, on voit la côte américaine dépasser le 70° degré à la pointe de Barrow, puis s'incliner de nouveau au sud pour recevoir les eaux du fleuve Mackensie, après lequel le cap Bathurst présente une nouvelle saillie. C'est au delà de ce point, du 120° au 60° degré de longitude ouest, entre le cap Bathurst et la baie de Baffin, que se trouvent placés, jusqu'au 80° degré de latitude nord, peut-être plus loin encore, de grands archipels formés d'îles profondément découpées, séparés les uns des autres par des passes étroites et entremêlées d'innombrables îlots. Au nord, ce sont les îles Parry, dont les principales sont, de l'ouest à l'est : Prince Patrick, Melville et Bathurst; à l'ouest, c'est la terre de Banks, à laquelle confine au sud la terre du Prince Albert; puis viennent à l'est l'île de Sommerset et celle du Prince de Galles. Ces îles circonscrivent une sorte de bassin intérieur presque toujours glacé, ainsi que les passes qui y conduisent : c'est le canal de Melville, qui communique à l'ouest, par le détroit de Banks ou de MacClure, avec la grande mer Glaciale, et à l'est, par le détroit de Barrow et le canal de Lancastre, avec la grande nappe ou méditerranée, improprement nommée baie de Baffin. La baie de Baffin, à son tour, est limitée à l'ouest par d'autres îles contiguës aux précédentes et encore plus grandes. Ce sont, à partir du détroit de Davis qui coïncide, comme celui de Behring, avec le cercle polaire, la terre de Cumberland, celle de Cockburn et l'île James, le North-Devon, au nord du canal de Lancastre, et, en continuant dans la direction du pôle, le Nord-Lincoln, la terre Ellesmere et celle de Grinnell, découverte par Kane au delà du 80° degré de latitude nord. On sait que la baie de Baffin est bornée à l'est par la côte occidentale du Groënland, tandis que la côte orientale de cette grande terre se rapproche de l'Islande à la hauteur du cercle polaire et touche presque au Spitzberg vers le 80° degré.

La mer de Baffin est le vaste rendez-vous des *ice-bergs* qui s'y pressent en foule innombrable, après s'être détachés des glaciers qui, de toutes parts, descendent des hautes cimes pour baigner leur pied dans la mer. Des multitudes de *fiords* dentèlent de sinuosités sans fin les plages de ce petit continent polaire du Groënland, moins grand que l'Europe, mais plus étendu que la France, l'Allemagne et l'Italie réunies. Au nord, la mer de Baffin se rétrécit et donne lieu à une passe sinueuse, c'est le canal de Smith, puis le canal Kennedy, exploré par Kane et suivi par lui jusqu'à la baie de Lady Franklin,



où, des hautes falaises qui lui servaient d'observatoire, il aperçut au loin le mont Parry et une mer qui paraissait s'étendre librement jusqu'au delà du 83° degré. Du pôle même au détroit de Behring, entre la Nouvelle-Sibérie et le cap Bathurst, il semble, au contraire, que la mer soit ouverte et que les terres soient plus rares. C'est du moins ce que l'on peut conjecturer; mais, en tout cas, on voit par le tableau qui vient d'être tracé que le pôle de notre hémisphère est loin de ressembler au pôle antarctique, quelles que soient d'ailleurs les découvertes qui restent à faire.

Aujourd'hui, rien de plus pauvre en fait de végétation que la région arctique, sauf sur les points extrêmes des trois continents ou grâce à des conditions locales exceptionnelles, la végétation arborescente s'avance un peu au delà du cercle polaire, mais si elle dépasse le 70° degré, c'est seulement en Laponie sur les bords de l'Alten-fiord, et en Sibérie, entre la Léna et la Chatanza, dans le premier cas, sous l'influence du gulf-stream, et dans le second, à cause des étés exceptionnellement chauds de la Sibérie. Partout ailleurs, à côté des plantes polaires à la souche vivace, rampante, et aux fleurs rapidement écloses, mais souvent si brillantes dans leur mélancolique beauté, on ne rencontre que des bouleaux nains, des saules couchés et herbacés, quelques andromèdes et des *Empetrum* trainants sur le sol. Les étés de ces parages sont courts, quelquefois nuls, pleins de tourmentes, tardifs à s'établir, prompts à disparaître. La chaleur n'est qu'un phénomène passager qui se manifeste à certains jours, une exception qui ne saurait durer au delà de quelques semaines. La lumière est pâle, bien que continue; souvent voilée, elle ne luit que par intervalles et s'éclipse bientôt après pour s'absenter durant des mois, tandis que la neige reprend possession du sol et, présente sur tous les points pendant les longs hivers, n'abandonne au retour de la saison douce que des endroits restreints de la superficie. La glace, résultat nécessaire de la neige accumulée sans trêve, jusque sur les plus bas niveaux, a depuis longtemps envahi toutes les dépressions. Les terres arctiques proprement dites ne forment qu'un vaste glacier divisé en mille branches, descendant de toutes les hauteurs et suivant, dans sa marche que rien ne saurait arrêter, toutes les pentes qui le conduisent aux vallées inférieures, et de là à l'entrée des fiords, d'où ces masses, comme des navires mis à flot par une puissance invisible, partent pour former ces escadres gigantesques contre lesquelles se brisent si aisément les frêles embarcations de l'homme.

Des régions aussi désolées possèdent pourtant les archives d'une longue histoire et les vestiges matériels d'une nature plus clémente. On a pu effectivement observer ou recueillir des plantes fossiles sur un grand nombre de points de la vaste étendue de terres que je viens de signaler. Ces découvertes, si heureusement centralisées par M. Heer, ont été acquises à la science par les efforts successifs d'une foule de voyageurs et au prix de fatigues inouïes. Bien des trésors, après avoir été aperçus ou même après avoir été collectionnés et emportés à force de bras, ont dû être abandonnés en tout ou en partie. M. Heer cite les collections de Nierstsching dans les parages du détroit de Behring, du docteur Armstrong, de Sir L. Mac-Clintock aux îles Melville et Prince Patrick, celles du docteur Kane dans le Groënland, comme ayant été



forcément délaissées. D'autres ont été plus heureux. L'archipel américain arctique a fourni non-seulement des plantes houillères recueillies par Sir L. Mac-Clintock dans les îles Melville et Bathurst, et déposées par lui au musée de Dublin; mais ce musée a reçu du capitaine Mac-Clure des cônes et des bois fossiles de la terre de Banks. Le British-Muséum possède des plantes fossiles d'une localité voisine du cercle polaire, située sur le 65° degré de latitude nord, près de l'embouchure du fleuve Mackensie, et recueillies par le docteur Richardson. Le territoire de l'Alaska (ancienne Amérique russe) a donné son contingent. Les échantillons publiés par M. Heer et recueillis par un Finlandais, M. Hjalmar Turuhjelm, d'Helsingfors, ne sont qu'une petite portion de la collection originale, perdue dans le naufrage du navire qui la portait. Les unes proviennent de l'île Kuju, voisine de Sitka ou Nouvelle-Archangel; les autres de la baie de Cook, le long de la péninsule d'Alaska, du 58° au 59° degré de latitude nord. Les plantes fossiles d'Islande ont été principalement recueillies par le professeur Strenstrup, de Copenhague; elles appartiennent, comme celles de l'Alaska et du fleuve Mackensie, à des localités situées en dehors du cercle polaire, mais trop rapprochées pourtant de cette limite pour qu'on n'ait pas cherché à les utiliser dans un travail d'ensemble aussi considérable.

Il a été déjà question de la flore carbonifère de l'île des Ours. M. le professeur Heer, au moment où j'écris ce compte rendu, vient de recevoir de riches collections de plantes fossiles sibériennes, par l'intermédiaire de l'Académie de Pétersbourg. Les unes viennent de l'île Sakhalin, à l'embouchure du fleuve Amour, le long de la côte orientale de la Mandchourie; les autres sont des plantes jurassiques du gouvernement d'Irkoutsk. Ce sont là, il est vrai, des stations situées bien en deçà du cercle polaire, vers le 55° degré de latitude nord, à peu près sous le même parallèle que Dantzig et Copenhague, mais dont la flore ancienne doit nécessairement contribuer à éclairer vivement l'histoire de la végétation polaire proprement dite.

Les deux pays les plus riches en plantes fossiles de la zone arctique intérieure sont le Groënland et le Spitzberg. L'ancienne richesse végétale de ces contrées est indiquée par de nombreuses couches de charbon minéral qui ont été reconnues et souvent exploitées sur tous les points accessibles; elles appartiennent à plusieurs époques et marquent, par conséquent, la répétition des mêmes phénomènes à travers bien des âges successifs. Deux caractères particuliers aux pays polaires frappent l'observateur qui cherche à les explorer au point de vue géologique. D'une part, le sol disparaît presque partout, dès qu'on s'éloigne des côtes, sous l'épaisse couche de glace qui borne l'accès de l'intérieur au delà de quelques kilomètres; et d'autre part, les récifs, les pentes, les berges et les croupes escarpées de la zone littorale, partout où l'action des glaciers les laisse à découvert, privés de terre végétale, montrent à nu leur squelette décharné et permettent de suivre avec une précieuse clarté tous les détails de stratification et de superposition quelquefois si difficiles à vérifier sur notre continent recouvert d'alluvions et bouleversé par la culture.

Dans le Groënland c'est surtout sur l'île de Disco et le long de la côte attenante à la presqu'île de Noursoak que sont situés les principaux gise-



ments, vers le 70° degré de latitude nord, un peu au sud d'Upernavik, sur la plage occidentale de la région. C'est de là que le capitaine Inglefield et le lieutenant Colomb, son second, au retour de leur expédition à la recherche de Franklin, après eux Sir Mac-Clintock, les docteurs Torelly et Lyell, dans l'été 1867 M. Whymper, rapportèrent successivement des collections, les unes crétacées, les autres tertiaires, qui furent soumises par leurs possesseurs respectifs actuels à l'examen de M. Heer. Mais une part dans la découverte de ces plantes groënlandaises revient aussi à l'expédition suédoise scientifique de 1870 et à M. le professeur Nordenskjöld, de Stockholm, dont le nom reste cependant plus particulièrement attaché au Spitzberg, visité par lui, non-seulement à la faveur des deux expéditions suédoises de 1868 et 1870, mais antérieurement en 1858, 1861 et 1869, et plus tard encore, en 1872. M. Nordenskjöld, que j'ai été heureux de rencontrer à Stockholm, l'an dernier, est un jeune savant, déjà célèbre, véritable Français du Nord, qui joint la vivacité et l'aménité sympathique de notre race à l'esprit de suite, de pénétration, d'érudition scientifique et de persévérance dans les desseins, qui nous fait trop souvent défaut. Familier avec la nature du nord, réagissant contre elle et la domptant, non sans efforts, il a exploré au péril de sa vie une contrée hérissée de pics glacés, presque inabordable, et dont il a su retirer cependant des cargaisons de minéraux et de fossiles. Grâce à lui et à MM. Malmgren, Torrel, etc., le passé du Spitzberg nous est aussi bien connu que celui de n'importe quelle contrée de l'Europe. Rien n'a échappé au coup d'œil perçant de M. Nordenskjöld ; il a rencontré et recueilli, par milliers d'échantillons, les plantes fossiles, houillères, jurassiques, crétacées, tertiaires, et même récentes, dans un archipel désolé où tout fait défaut, les voies, les moyens de transport, l'accès des lieux et jusqu'à la possibilité de vivre.

Comme la plupart des terres de l'extrême nord, le Spitzberg est profondément découpé ; il est hérissé de pics glacés dont il tire son nom. Outre la terre principale qui se replie sur elle-même, de manière à former deux péninsules nommées Spitzberg de l'est et Spitzberg de l'ouest, deux autres terres accompagnent la première de ces péninsules. L'une est la terre du nord-est, séparée du Spitzberg oriental par le détroit de Hinlopen, l'autre la terre des États située au sud. L'archipel entier s'étend sous quatre degrés au moins, du cap sud aux sept îles, et mesure plus de cent lieues, sans atteindre tout à fait le 81° degré de latitude.

Les explorations dues à M. Nordenskjöld et aux expéditions suédoises ont eu principalement pour objet la côte occidentale. Le long de cette côte déchiquetée en baies immenses et en fiords profonds, on rencontre, à partir du nord et de la terre des Rennes, vers la pointe Plattz, un peu au-dessus du 80° degré, l'île d'Amsterdam, celle des Danois, la baie de Hambourg, les Sept montagnes de glace, puis la baie du Roi et celle des Anglais sous le 79° degré. Une grande île allongée qui se présente ensuite, l'île du Prince Charles, est séparée de la côte par le canal du même nom, le fiord du Prince Charles. Au-dessous, à 78° 10 lat. N., s'ouvre le détroit des glaces ou *Isfiord* (Ice-Sund), et plus bas, à 77° 40', la baie de la Cloche ou *Belsund*. Ces deux



baies représentent plutôt des golfes sinueux et ramifiés, explorés jusqu'au fond par M. Nordenskjöld qui en a publié la carte géologique en 1875. Quelques plantes tertiaires sont venues de la baie du Roi (Kings-bay), d'autres de la baie de la Cloche; mais la plupart de ces plantes, ainsi que d'autres plantes crétacées, ont été recueillies au cap Staratschin qui commande l'entrée de l'Isfiord, du côté du sud. Plus avant dans le fiord, avant le point où il se divise en quatre branches donnant lieu à autant de baies, une pointe s'avance sur la plage septentrionale; c'est le cap Boheman, qui a fourni tout dernièrement une série de plantes jurassiques à l'infatigable Nordenskjöld. Au fond de l'une des baies secondaires qui partagent l'Isfiord, la baie de Klaas (*Klaas-Billen-Bay*), MM. Nathorts et Willander ont rencontré en 1870 une formation carbonifère, celle du bergkalk, et au-dessous des plantes synchroniques de celles de l'île des Ours.

Le granite et les roches primitives cristallines prédominent sur un grand nombre de points des terres arctiques. Nous avons vu que le carbonifère marin (bergkalk) s'y trouvait aussi fréquemment répandu. Les dépôts secondaires marins y sont, au contraire, fort rares jusqu'ici, tandis que les formations d'eau douce, accompagnées de lits charbonneux et appartenant, d'après des caractères tirés des fossiles, aux terrains jurassique, crétacé et tertiaire, s'y montrent sur un grand nombre de points et atteignent une grande puissance; quelquefois cette puissance est énorme, et il en est ainsi au Spitzberg.

Comme les flores terrestres afférentes à chacun de ces niveaux, lorsqu'on les observe sur des points synchroniques, mais éloignés les uns des autres, manifestent généralement une grande uniformité d'aspect et de composition, il en ressort invinciblement qu'après les émergences opérées sur une échelle considérable qui suivirent les temps paléozoïques, les terres arctiques, aujourd'hui découpées en archipels, dûrent faire partie d'un continent polaire assez étendu pour que les eaux douces aient pu y jouer un rôle prédominant et que des lacs profonds, des fleuves importants, s'y soient établis. Il faut admettre encore qu'une même végétation, sans autres divergences que des diversités locales peu prononcées, occupait l'étendue entière de ce continent, dans chacun des âges qui se sont déroulés.

Cette végétation, dont nous allons, grâce à M. Heer, esquisser l'histoire, se prolongeait jusqu'auprès du pôle, d'un côté, et, de l'autre, elle communiquait librement avec les régions attenantes de la zone tempérée actuelle, en sorte que, jusqu'au moment où la température s'est définitivement abaissée, dans un ordre de décroissance inverse de celui des latitudes, un afflux permanent de végétaux allant vers le pôle ou émigrant de celui-ci, un échange perpétuel de nos espèces avec celles de l'extrême Nord, dûrent avoir lieu pendant des myriades de siècles. Mais enfin il vint un âge où, le pôle s'étant tout à fait refroidi, et la zone tempérée ayant après lui perdu une grande partie de la chaleur qu'elle avait d'abord possédée, les terres arctiques déversèrent une dernière fois au sein de nos latitudes les espèces de plantes qu'elles tenaient encore en réserve et qu'elles devenaient de jour en jour plus inhabiles à sauvegarder par suite de la rigueur d'un climat désormais



exclusivement favorable aux accumulations de glaces persévérantes ou glaciers.

Tel est, en deux mots, le résultat des recherches de M. Heer sur l'ancienne végétation polaire et le résumé condensé de ce qui concerne les périodes secondaire et tertiaire. Il s'agit maintenant d'aborder les détails.

### III. — FLORES JURASSIQUE ET CRÉTACÉE POLAIRES.

Il nous a paru incontestable, d'après les études de M. Heer sur la flore carbonifère arctique, qu'à l'époque des houilles aucune influence de nature à agir sur le climat et par lui sur la végétation ne pouvait être attribuée à la latitude dont les effets, par suite de causes difficiles à saisir à une pareille distance des événements, se trouvaient encore totalement neutralisés sinon annulés.

Nous n'avons aucune lumière à retirer du permien qui n'a pas été signalé jusqu'ici aux environs du pôle

Le trias existe au cap Tnordsen, dans le fond de l'Isfiord où M. Nordenskjöld a recueilli, non pas des plantes de ce terrain, mais des fossiles marins caractéristiques et, parmi eux, des restes d'Enalosauriens du genre *Ichthyosaurus*, dont la présence témoigne que les grands reptiles nageurs, alors si répandus dans les mers d'Europe, n'étaient pas exclus des parages circumpolaires. C'est là un indice sérieux de l'égalité du climat. Cette égalité climatique entre les diverses zones terrestres résulte aussi de l'examen des végétaux jurassiques du cap Boheman, non encore publiés, mais déjà décrits et dont M. Heer a bien voulu me communiquer par avance les figures.

Un intervalle immense s'est écoulé depuis le temps où vivaient les plantes de l'île des Ours; la végétation s'est renouvelée tout entière; elle a changé complètement de face. Les espèces, les genres, en partie même les familles ne sont plus les mêmes; mais ces changements se sont visiblement opérés, conformément à ce qui a eu lieu en Europe, à l'aide de la même marche et par le même mouvement évolutif. Comme en Europe, la végétation partie du même point a abouti aux mêmes résultats et présente, au moment où nous la retrouvons, les mêmes caractères qu'au sein de notre continent et en France. Ce sont des fougères au feuillage souvent maigre et coriace, des équisétacées des genres *Equisetum* et *Phyllothea*, des cycadées, des conifères et, enfin, quelques rares monocotylédones. Ce sont là aussi les formes les plus généralement répandues en Angleterre et en France, dans le bathonien, l'oxfordien, le corallien, et que l'on observe à Scarborough, dans le Yorksire, à Mamers dans la Sarthe, à Saint-Mihiel près de Verdun. La ressemblance avec Scarborough et avec Saint-Mihiel est surtout frappante.

La flore du cap Boheman compte 32 espèces; un tiers, environ 10 d'entre elles, ont été signalées ailleurs et toujours dans l'oolithe inférieure ou *Jura brun* des Allemands. Parmi les fougères, le *Scleropteris Pomelii* Sap., espèce de Saint-Mihiel, est surtout caractéristique, puisqu'il dénote la présence d'un genre essentiellement oolithique. Le genre *Phyllothea*, type



d'équisétacées depuis longtemps éteint, a été signalé d'abord en Australie, puis retrouvé par M. le professeur Zigno dans l'oxfordien des Alpes véniennes. C'était donc là un genre dont l'extension était immense, et l'espèce polaire *Phyllothea lateralis*, décrite par Phillips et Lindley sous le nom d'*Equisetum laterale*, vient d'être recueillie en Sibérie. Voilà donc un type des plus curieux que les gaines fendues en segments distinguaient des vrais *Equisetum* et rapprochaient des *Schizoneuva* du trias, et qui se trouvait, vers le milieu du jura, répandu sur la terre entière, quoique partout assez rare.

C'était sans doute un type en pleine décadence, mais qui, par cela même semble bien fait pour mettre en lumière l'égalité de température encore générale en ce moment d'un bout à l'autre du globe. Les seules cycadées comptaient 8 espèces sur les 32, plus du quart de l'ensemble, et, comme fréquence, elles obtenaient le premier rang. Le genre *Podozamites* domine parmi elles : ce genre rappelle de loin les *Zamia* actuels, mieux encore les *Ceratozamia* du Mexique, avec des proportions plus modestes pourtant que chez ces dernières. Les cônes fructificateurs de ces plantes, que vient de découvrir, à ce qu'il paraît, un savant de Stockholm, compagnon de M. Nordenskjöld, M. Nathorst, confirment ce rapprochement; ils rappellent surtout le premier des deux genres actuels. En Europe, les *Podozamites* sont souvent fréquents à la base du lias, dans le rhétien; mais ils reparaissent dans l'oolithe et même plus loin dans le wéaldien. L'une de leurs espèces les plus caractéristiques, dans le dépôt de Scarborough, le *Podozamites lanceolatus* Lindl., fait également partie de la flore du cap Boheman.

D'autres formes du bathonien de Scarborough se montrent presque aussi abondamment que les précédentes au cap Boheman; ce sont les *Cyclopteris Huttoni* Sternb. et *digitata* Brongn., dont le rôle et les particularités ne sauraient être passés sous silence. Longtemps considérés comme des fougères analogues aux *Schizoca*, ou par d'autres comme des rhizocarpées d'un type perdu, les *Cyclopteris* et les *Baiera* de Schimper ont été reconnus tout dernièrement et avec pleine raison, par M. Heer, comme représentant en réalité des *Salisburia* (*Ginkgo* L.), en réalité congénères, malgré leur ancienneté, de l'unique espèce actuelle du Japon, *Salisburia adiantifolia* Sm (*Ginkgo biloba* L.). Le *Ginkgo*, conifère sans cône, de la même section que les taxinées, mais distinct au plus haut degré de toutes les autres conifères, type essentiellement isolé, à feuilles caduques pourtant, mais dont le limbe élargi en coin et partagé en deux ou plusieurs lobes, à l'aide de fimbriures, rappelle les *Adiantum*, se rattache, à travers une foule d'intermédiaires, à un des types paléozoïques les plus singuliers, celui des *Cordaites*, et de plus près encore à quelques-unes des plantes houillères et permienes confondues sous la dénomination peu précise de *Næggerattia*.

Dès le temps du permien, on commence à distinguer des types qui reproduisent assez fidèlement le faciès du *ginkgo* actuel pour que leur parenté avec celui-ci n'ait plus rien de douteux. Dès ce moment, le groupe des salisburiées, plus puissant, plus nombreux, plus varié que de nos jours, où il est réduit à ne comprendre qu'un dernier survivant, se divisait en deux types



génériques, dont l'un reproduit assez fidèlement l'aspect de notre Ginkgo, tandis que l'autre, avec ses feuilles coriaces, découpées en lanières étroites et plusieurs fois incisées-dichotomes, ne ressemble à rien de ce que nous connaissons.

Ce sont les *Baiera* proprement dits et aussi les *Jeanpaulia*, dont le *J. Münsteriana* est le type, qui commencent à se montrer dans le rhétien et persistent ensuite jusque dans le wéaldien. Les espèces rapportées à ce second type ne seraient pas de vrais *Ginkgo*, mais représenteraient plutôt un genre voisin quoique distinct de ce dernier, faisant également partie de la tribu des salisburiées, mais disparu depuis longtemps. Dans l'opinion de M. Heer, que je partage aussi, les *Stachyopitys* de M. Schenk seraient les châtons mâles de ces salisburiées primitives et, selon moi, certains fruits ovalaires et détachés dans certains cas, dans d'autres, insérés sur des pédoncules dépendant d'une inflorescence courte et dichotome, associés aux feuilles du *J. Münsteriana* dans le rhétien de Franconie, seraient les fruits de ces mêmes salisburiées, en sorte qu'un type aussi curieux, n'ayant naguère encore qu'une signification problématique, se trouverait reconstitué dans ses diverses parties.

Le type primordial ou souche paléozoïque originaire du groupe entier des salisburiées nous paraît être le genre *Psymphyllum* de Schimper, et ce genre, ou pour mieux dire ce groupe, dont la physionomie a quelque chose de si caractéristique, pourrait bien avoir laissé des vestiges de ses frondes divisées en segments flabellés, dans la flore de l'île des Ours; je serais effectivement disposé à prendre pour tels les lambeaux de rachis et de lobes épars, figurés par M. Heer sous le nom de *Cardiopteris polymorpha et frondosa* (1). Si cette appréciation venait à se confirmer, le point de départ des salisburiées serait ainsi placé dans la végétation paléanthracitique de l'extrême Nord. Une lacune immense, comprenant le permien, le trias et le jurassique inférieur, nous oblige à ne rien dire des *Ginkgophyllum*, *Trichopitys*, *Chiopteris*, *Jeanpaulia*, qui représentent en Europe, dans ces divers étages, les formes successives de ce même groupe de salisburiées primitives. Nous le retrouvons en abordant la flore jurassique arctique du cap Boheman.

Les *Salisburia* (*Baiera*) *digitata* (Heer) et *Huttoni* (Heer) sont de véritables ginkgos, dont les rameaux et les fruits sont maintenant aussi bien connus que les feuilles et qui se mêlaient à des cycadées, même à des pins (*Pinus prodromus* Heer) associés à des bambous (*Bambusium*, Heer.), à des fougères, à des Equisetacées pour former la végétation du Spitzberg vers le milieu des temps jurassiques. Des *Salisburia* plus élégants encore de feuillage et plus variés que ceux du Spitzberg habitaient à la même époque la Sibérie, aux environs d'Irkoutsk. Il est probable cependant que ces anciens ginkgos, bien que réellement congénères du nôtre, devaient avoir des feuilles persistantes. Longtemps après, sous l'influence du climat polaire, dans un temps où les formes primitives tendaient à disparaître ou à se modifier, à l'époque tertiaire, le *Salisburia* actuel, l'espèce vivante du Japon, se montre elle-même

(1) Kohlen fl. d. Bären Insel.; tab. XIV, fig. 1-4.



d'abord dans la région arctique, puis en Europe où elle a longtemps résidé, en même temps qu'elle s'introduisait dans l'Asie orientale où elle habite encore maintenant. Depuis, cette même espèce s'est éteinte en Europe, après avoir péri dans le pays d'origine d'où elle était sortie un jour pour s'avancer plus loin vers le sud. Cette marche est, du reste, celle qu'ont suivie un grand nombre de végétaux, et elle explique aussi clairement leur état ancien et primitif que leur destinée subséquente et leur distribution contemporaine.

Les plantes crétacées de la zone arctique appartiennent à deux niveaux bien distincts, l'un beaucoup plus ancien que l'autre, situés l'un à la base et l'autre vers le sommet de la série. Elles proviennent d'une puissante formation d'eau douce; le Spitzberg et le Groënland ont fourni chacun leur contingent, mais la grande masse des espèces a été recueillie dans le second de ces deux pays.

La flore crétacée inférieure est rapportée avec vraisemblance par M. Heer à l'horizon de l'urgonien, c'est-à-dire à un niveau plus élevé d'un degré seulement que le wéaldien; elle a été recueillie par M. Nordenskjöld dans une série de dépôts échelonnés le long de la côte septentrionale de la presqu'île de Noursoak, par 70° 37' 43" latitude nord. Ce sont des schistes noirs et des grès qui alternent un grand nombre de fois et reposent directement sur le gneiss. L'épaisseur totale de la formation atteint jusqu'à 1500 pieds, sans changer sensiblement de caractère, et le sommet se trouve recouvert par des coulées de basalte. Les empreintes végétales abondent surtout dans les lits schisteux et plus ordinairement, mais pas exclusivement, vers la base de formation qui paraît devoir être rapportée dans son ensemble à une seule et même période. Les principaux gisements sont à Kome, à Pattorfik, à Avkrusak, à Karsok, à Ekkorfat. Les localités par ordre de richesse sont : Kome, Avkrusak, Ekkorfat et ensuite Pattorfik. Ces localités présentent chacune un caractère particulier : Kome abonde en fougères; des vestiges répétés laissent entrevoir tout auprès une forêt de sapins. Pattorfik a tout à fait l'aspect d'un bois de *Sequoia* tapissé de fougères. Ekkorfat comprenait surtout des cycadées associées à des sequoias et à des sapins dont la réunion donnait lieu à une grande forêt. Toutes ces localités, visiblement contemporaines, ont fourni ensemble soixante-quinze espèces, nombre considérable, supérieur à celui de la plupart des flores locales européennes à la même époque. Rien de plus curieux à examiner de près que cette collection de formes alors rassemblées au sein de la même contrée, dans le voisinage du pôle.

Le temps a marché depuis le jurassique; il a marqué son empreinte sur cette nouvelle flore, et amené bien des changements par rapport à l'état antérieur; mais, comme les changements ont une importance presque toujours proportionnelle au temps écoulé, et que l'intervalle qui s'étend du bathonien, niveau probable du cap Boheman, est infiniment moindre que celui qui séparerait les plantes de ce dernier point de celles du carbonifère inférieur, il est tout simple d'avoir à constater des modifications moins profondes dans la nature au moins des éléments constitutifs de la végétation arctique, en la considérant vers le commencement de la craie. Les fougères, les cycadées, les conifères



composent toujours les principaux groupes; les fougères dominant dans l'ensemble, les conifères viennent ensuite, les cycadées ne sont plus qu'au troisième rang pour le nombre aussi bien que pour la fréquence. Cependant, nous venons de constater à cet égard des différences locales très-sensibles, et les cycadées ne se montrent guère qu'à Kome et à Ekkorfat, toujours associées à des fougères et à des conifères, tandis qu'à Patorfik il n'y a plus que des fougères et des conifères, et qu'à Avkrusak ces deux groupes admettent seulement à côté d'eux quelques vestiges de cycadées. Les monocotylédones ne se montrent qu'en nombre restreint et n'ont rien de concluant; point de palmiers encore, comme en Europe dans le même âge, mais probablement des pandanées assez mal définies jusqu'à présent; enfin, point de dicotylédones, à une seule exception près; mais cette exception, spéciale à Patorfik, où les lits à empreintes végétales occupent l'extrême base de la formation, n'en est que plus curieuse; elle constitue à elle seule un événement dont je rechercherai bientôt l'exacte signification.

Si l'on considère les genres seulement, on voit que les genres éteints contre-balancent à peu près, dans cette flore, ceux qui ont passé dans la nature actuelle; mais si l'on s'attache à l'importance de chacun de ces genres et au nombre d'espèces qu'ils comprennent, on reconnaît que les *Gleichenia*, les *Sequoia*, les *Pinus* et les *Zamites*, l'emportent sur les autres, et que, de ces genres, le dernier seulement a cessé d'exister. La flore crétacée arctique n'est donc plus aussi étrangère à la végétation actuelle du globe que celles qui l'ont précédée; elle confine à cette végétation par beaucoup de traits; seulement, c'est plutôt entre les tropiques, ou bien encore dans la partie chaude de la zone boréale, qu'il faut aller recueillir ces traits, par conséquent à une grande distance des régions circumpolaires.

La flore crétacée inférieure arctique ne contraste pas avec celle qui habitait l'Europe à la même époque; elle ne laisse encore entrevoir que des différences à peine sensibles dans le sens des latitudes. Il semble pourtant que ces différences, bien que très-faibles, aient réellement existé. Ce serait une première nuance que la flore du Groënland permettrait de saisir; depuis lors, l'abaissement du climat polaire se serait prononcé peu à peu, mais ses effets, avant l'époque tertiaire, se seraient réduits à favoriser le développement de certains types que nous n'observons en Europe qu'à un moment postérieur à celui qui marque la date de leur diffusion dans l'extrême Nord.

Le lien le plus étroit entre la flore du système de couches de Kome (*Komeschichten*) et celle de la craie moyenne et inférieure d'Europe, nous est fourni par les plantes urgoniennes de Wernsdorf, dans la région des Carpathes, publiées récemment par le professeur Schenk. Ce lien consiste dans la présence simultanée, dans le Groënland et dans les Carpathes, des mêmes types caractéristiques de cycadées. Les genres *Zamites*, *Pterozamites*, *Glossozamites*, *Anomozamites*, communs aux deux régions, sont d'affinité jurassique; leurs antécédents directs se montrent dans le wéaldien et auparavant dans le bathonien; supérieurement, ils ne dépassent guère la limite de l'urgonien et se trouvent ainsi cantonnés dans la partie de la craie qui précède l'avènement des dicotylédones.



Le *Glossozamites Schenkii* est particulièrement intéressant à ce point de vue, tellement il se rapproche du *Glossozamites Hoheneggeri* Schimp., espèce caractéristique de Wernsdorf, avec laquelle M. Heer l'avait d'abord confondu. Le *Pterozamites (Pterophyllum) concinnus* Heer n'est qu'une répétition un peu modifiée du *Pterozamites Münsteri* Schimp., espèce du rhétien de Franconie, et les *Zamites*, dont il existe cinq espèces, diffèrent peu des formes oolithiques congénères, sinon par des pinnules plus étroites. Il est donc certain que les cycadées ont persisté dans l'extrême Nord presque aussi longtemps qu'en Europe, et que, jusqu'au moment de l'extension des premières dicotylédones, elles continuèrent à tenir une place considérable dans la flore de toutes les zones. La concurrence qu'elles eurent dès lors à soutenir contre des formes jeunes et vivaces semble avoir entraîné leur déclin plus encore que l'abaissement de la température, si peu prononcé au moment où nous plaçons, même sous de hautes latitudes.

Les fougères, à l'opposé des cycadées, se sont en grande partie renouvelées. Les types d'affinité jurassique, comme les *Scleropteris* et *Dictyophyllum (Sc. bellidula* Heer, *Dictyophyllum Dicksoni* Heer, ne sont pas encore complètement éteints, mais ils deviennent rares et même douteux, tandis que les genres *Asplenium*, *Adiantum*, *Oleandra* et *Gleichenia*, encore existants, se trouvent représentés par des formes dont les analogues directs doivent être recherchés dans le voisinage des tropiques ou tout au moins dans les parties chaudes de la zone tempérée, soit australe, soit boréale. La prépondérance et la beauté des gleichéniées est bien faite pour frapper l'esprit. Ce sont aussi des gleichéniées que l'on observe en Europe à la même époque, et la similitude va jusqu'à l'identité pour un certain nombre de ces gleichéniées crétacées polaires, dont M. Heer décrit treize espèces, la plupart bien distinctes et pourvues le plus souvent de leurs sores caractéristiques.

C'est donc là un groupe crétacé par excellence; nulle part, dans la nature actuelle, il ne se montre plus luxuriant ni plus varié. Les deux sous-genres *Mertensia* et *Eugleichenia* admettent à côté d'eux un sous-genre maintenant disparu, qui sert de passage de l'un à l'autre à l'aide d'une transition ménagée; c'est le sous-genre *Didymosorus* observé en premier lieu par MM. Debey et Ettingshausen dans la craie supérieure d'Aix-la-Chapelle. On sait que les *Gleichenia* répandus surtout de nos jours entre les deux tropiques ou dans les îles de la mer du Sud, mais dont une espèce s'avance vers le nord jusqu'au Japon, portent des frondes une ou plusieurs fois divisées par dichotomie et pourvues ordinairement d'un bourgeon situé entre les branches des dichotomies. Les *Gleichenia* polaires affectent une physionomie absolument semblable et devaient rechercher les mêmes conditions de chaleur et d'humidité que leurs congénères actuels.

Les conifères de cette époque se partagent très-naturellement en plusieurs catégories ayant chacune sa signification particulière. C'est sans contredit le groupe le plus important de la période que nous étudions ici, et parmi les types qu'il comprend nous en remarquons plusieurs qui se montrent pour la première fois et dont il semble que le berceau doive être décidément placé dans l'intérieur de la zone arctique. C'est là que ces types, après y être



restés longtemps confinés, après y avoir donné lieu à un certain nombre de formes, sortirent pour se répandre plus loin vers le sud par voie de rayonnement, les uns plus tard, de façon à gagner les deux continents et à y persister, alors même que depuis longtemps ils avaient disparu de leur pays d'origine.

Nous avons parlé des salisburiées; elles continuent à se montrer toujours partagées en deux groupes : celui des *Ginkgo* proprement dits (*Salisburia arctica* et *grandis*) et celui des *Baiera* et *Jeanpaulia* à feuilles laciniées en segments étroits, représenté ici par les *Sclerophyllina cretosa* Schenk et *dichotoma* Heer. Mais à côté des salisburiées paraît, pour la première fois, une véritable Taxinée, le *Torreya Dicksoniana* Heer, espèce remarquable, sûrement déterminée, qui prouve que le groupe des taxinées propres a eu son berceau dans le nord et qu'après y être longtemps demeuré il a passé de là en Europe, en Amérique et en Asie. L'Europe ne possède plus, il est vrai, le genre *Torreya*, mais ce genre y a certainement vécu autrefois, et, de concert avec le professeur Marion, je viens justement de le signaler dans les tufs pliocènes de Meximieux sous une forme qu'il est difficile de séparer du *T. nucifera* Sieb. et Zucc., du Japon. Les *Glyptostrobus* et les *Sequoia* ont suivi une marche entièrement semblable. Le *Glyptostrobus groënlandicus* Heer est bien l'ancêtre direct des *Glyptostrobus Ungerii* Heer et *europæus* Brongn. qui abondaient dans la zone arctique lors du miocène inférieur; ces deux formes sœurs, formes légèrement modifiées d'un même type, se répandirent en Europe et sans doute par toute la zone tempérée boréale dans le cours du miocène. Plus tard, elles disparurent de notre continent où cependant le *Glyptostrobus europæus* vivait encore vers le milieu des temps pliocènes. Mais aujourd'hui la Chine méridionale possède, sous le nom de *Glyptostrobus heterophyllus*, un descendant à peine modifié du *Glyptostrobus Ungerii* tertiaire.

La craie est véritablement l'âge des *Sequoia*. Le *Sequoia Reichenbachii* Gein. obtint alors une immense extension; on le retrouve partout en Europe, surtout dans la craie moyenne et dans la craie supérieure. Il se rapproche, ainsi que le *Sequoia gracilis*, du *Sequoia gigantea* dont nous rencontrerons l'antécédent dans l'âge tertiaire. Mais à côté de ces *Sequoia* on en distingue d'autres encore, et, parmi eux, le *Sequoia Smithiana*, qui, à l'aide d'une série d'intermédiaires, se rattache sans lacune au *Sequoia sempervirens* de Californie. C'est donc réellement dans le nord qu'il faut aussi reporter le berceau du genre. Là, après leur naissance, les *Sequoia* se sont multipliés et, après une première diffusion de leurs espèces crétacées, la flore polaire tertiaire nous les montre sous des formes peu différentes des précédentes qui se répandirent à leur tour et envahirent l'hémisphère boréal tout entier, jusqu'au moment où se prononça le déclin définitif du groupe. On sait que de nos jours il n'existe plus d'autres *Sequoia* spontanés que ceux de Californie, représentés par deux espèces réduites à une aire d'habitation des plus restreintes, derniers vestiges d'une longue suite de formes et de sous-types.

Une autre catégorie moins nombreuse, déjà cependant digne d'attention, se compose d'*Abiétinées*, pins et sapins du groupe des *Tsuga*, peut-être



même de celui des *Abies*. On pouvait inférer de leur présence que le climat polaire accusait déjà une tendance à se refroidir. Il ne faut pas oublier cependant que certains sapins, et entre autres l'*Abies Brunoniana* Lindl. (*Tsuga Brunoniana* Carr., *Abies dumosa* Loud.), sont sensibles à la gelée et habitent des régions méridionales et tempérées, toujours, il est vrai, au-dessus d'une certaine altitude. En Europe même, les jeunes pousses des *Abies pinsapo* et *cephalonica* sont aisément atteintes par les froids tardifs et ces espèces cessent d'être cultivées en plein air avec succès vers la province de Liège en Belgique. Ces mêmes types n'étaient pas d'ailleurs inconnus dans l'Europe secondaire. M. le docteur Nathorst vient de découvrir dans le rhétien de Scanie, à Palsjö, des indices fort nets de la présence d'*Abiétinées* (*Pinites Nilssoni* Nath., *Pinites Lundgreni* Nath.) analogues à nos cèdres par la nature de leurs écailles et la forme de leurs graines, ces dernières rappelant aussi les graines de certains *Pinus*. De véritables *Cedrus*, représentés par des cônes en parfait état, ont été recueillis dans le grès vert inférieur d'Angleterre et dans la craie de Hainaut, qui se rapporte, à ce qu'il semble, à l'horizon du Gault. Le *Cedrus Corneti* Coëm. de cette dernière localité s'y trouve associé à des pins de la section *Cembra* ou *Strobis*, opérant une sorte de fusion entre ces deux sections, et enfin à des *Tsuga*. Il est vrai que la disposition du dépôt belge et des organes qu'il renferme, consistant en cônes charriés par les eaux courantes, probablement d'une région supérieure, a permis à M. Coëmans de conjecturer que ces abiétinées avaient dû faire partie d'une végétation forestière montagnarde. Pour cette région, l'altitude aurait compensé les effets du climat chaud qui régnait alors dans les plaines de l'Europe centrale. Dans le Groënland crétaé, au contraire, à Kome, à Patterfik, à Ekkorfat, à Avbrusak, les abiétinées représentant un élément ordinaire de chacune de ces flores particulières, et le *Pinus Crameri* que M. Heer considère comme congénère de nos *Tsuga*, et dont il figure des feuilles et des écailles de strobile, est l'espèce la plus répandue de toute la région. Il y a là, selon nous, un indice sérieux d'un certain abaissement relatif de la température, et sûrement au moins de la présence d'une fraîcheur que la longueur des nuits d'hiver et l'humidité plus prononcée du climat expliquent très-naturellement. Les *Tsuga*, quel que soit d'ailleurs leur lieu d'origine, recherchent de nos jours l'ombre et la fraîcheur : ils composent de plus un sous-genre répandu sur un très-grand espace, du Népal au Japon et du Mexique au Canada ; le groupe ne comprend en tout cependant que six espèces au plus. Ce sont là des caractères qui concordent très-bien avec la supposition d'une haute ancienneté ainsi qu'avec une patrie d'origine située dans l'intérieur de la zone arctique.

La flore jurassique des couches de Kome comprend encore plusieurs types éteints de conifères (*Inolepis* Heer, *Frenelopsis* Schenk, *Cyparissidium* Heer). Le dernier seul nous arrêtera, parce qu'il est mieux connu que les deux autres dont la détermination est entachée encore de bien des doutes, à raison même des anomalies apparentes qu'ils présentent.

Les *Cyparissidium* avaient les feuilles écailleuses, alternes, imbriquées et courtes ; leur mode de ramifications et leur port étaient ceux des *Widdring-*



*tonia* et des *Arthrotaxis*. Ils ressemblaient surtout à ces derniers. Leur cône, composé d'écaillés assez peu nombreuses, striées en long, mucronées au sommet, ordonnées en spirale et lâchement imbriquées, rappelait ceux des *Arthrotaxis* et des *Cunninghamia*. Chaque écaille supportait, à ce qu'il paraît, une seule semence inverse, disposition que l'on observe chez les *Dammara* et dans le genre jurassique des *Pachyphyllum*. Les *Cyparissidium* semblent donc devoir obtenir une place intermédiaire entre plusieurs genres actuels dont ils atténuent la distance en leur servant, pour ainsi dire, de lien commun; ils n'existent certainement plus, à moins qu'on ne découvre un jour, au fond de la Chine et vers les montagnes Rocheuses, quelque forme survivante de cet ancien type. Il est certain, dès maintenant, que les *Cyparissidium* n'ont pas exclusivement habité autrefois les régions polaires; ils se sont étendus bien plus au sud et ont pénétré jusque dans l'Europe méridionale; en effet, j'ai pu moi-même constater l'existence de ce genre curieux dans le sénonien du Beausset (Var), c'est-à-dire à une époque de beaucoup postérieure à celle où se place l'horizon des couches probablement urgoniennes de Kome.

Mais les empreintes les plus curieuses et en même temps les plus rares de ce même niveau ont été recueillies à Pattorfik, sur des plaques qui présentent aussi les rameaux des *Cyparissidium*; elles consistent en plusieurs feuilles ou fragments de feuilles d'une dicotylédone, accompagnée peut-être de son fruit capsulaire, et dans laquelle M. Heer a reconnu avec raison les vestiges d'un peuplier, *Populus primæva* Heer, de la section des peupliers coriaces. Le type actuel de cette section est le *Populus Euphratica* Oll., maintenant confiné au sud de la Méditerranée, en Algérie, et qu'on trouve plus loin, en Syrie, en Mésopotamie et en Perse.

La présence multipliée de ce type, dont le rôle a été autrefois des plus considérables, dans la craie récente de la région arctique, et plus tard dans le miocène, ajoute à la vraisemblance de l'attribution générique dont il vient d'être question; bien qu'elle ne repose que sur des fragments assez incomplets; mais l'apparition constatée des dicotylédones dans la flore polaire sur l'horizon de l'urgonien, c'est-à-dire à une époque où l'Europe ne fournit encore aucun vestige de cette classe de plantes, doit être soigneusement notée, et constitue un fait des plus importants. Par lui nous touchons au début de la plus grande des révolutions que le monde des plantes ait jamais subies. Les dicotylédones comprennent de nos jours, et n'ont cessé de comprendre depuis la fin de la période crétacée, l'immense majorité des phanérogames. La physionomie, le caractère, l'aspect des masses végétales qui accentuent le paysage sont dus généralement aux dicotylédones. Toutes les forêts de notre zone, si l'on excepte les conifères, les plantes ligneuses qui suivent le bord des eaux, se distribuent à travers les plaines, dans le fond des vallées ou remontent la croupe des montagnes, appartiennent à cette classe, dans notre zone tempérée d'où les monocotylédones arborescentes se trouvent presque totalement exclues. Les dicotylédones, depuis leur première apparition, n'ont cessé de croître en nombre, en prépondérance, et de se diversifier.

Dans le wéaldien, l'urgonien et le gault d'Europe, aucune trace de dico-



tylédones n'a encore été observée. Jusqu'à la fin du dernier de ces trois étages, la végétation, prise dans son ensemble, demeurerait semblable à celle des temps jurassiques. Au contraire, vers la base du cénomanién, et sur l'horizon de la *Gryphæa Columba*, on rencontre tout à coup, en Bohême, des dicotylédones abondantes et variées. Est-ce là l'effet d'une immigration rapidement accomplie, d'une station particulière ou d'une évolution touchant à son terme et manifestant ses premiers résultats? Il serait difficile de le décider avec les seuls documents dont nous disposons, et cependant le même phénomène se montre en Amérique, à peu près synchroniquement et sous des apparences très-analogues. Il semble donc qu'une cause générale ait agi à la fois sur plusieurs points de la zone tempérée pour coopérer partout à la multiplication et à la diffusion des dicotylédones auparavant inconnues. Si la flore crétacée du système de Kome est réellement urgonienne, il y aurait présomption à ce que, sinon l'ensemble, du moins certaines catégories de dicotylédones se fussent montrées dans l'extrême Nord, avant de paraître ailleurs. Les alentours du pôle, dans cette hypothèse, seraient le berceau de ces familles, ce qui n'exclurait pas la possibilité pour d'autres d'être nées ailleurs, car il semble que rien ne s'oppose à ce que les dicotylédones soient originaires sorties de plusieurs souches mères, issues elles-mêmes antérieurement de la classe des gymnospermes et analogues aux gnétacées. En se plaçant à un point de vue entièrement différent, faudrait-il conclure de l'unique dicotylédone de Kome que le *Populus primæva* venait d'être créé au moment où nous rencontrons les vestiges qui ont permis de constater sa présence? nous avons longuement exposé les raisons qui nous empêchent de croire qu'il en ait été ainsi. Les dicotylédones les plus anciennes dont nous ayons connaissance pouvaient très-bien ne pas être récentes au moment où elles ont commencé à laisser des traces d'elles-mêmes. Elles ont dû habiter plus ou moins longtemps à l'écart, au sein de stations reculées des endroits favorables à la conservation des empreintes, peut-être dans des régions montagneuses, soumises à des conditions toutes spéciales de sol et de climat. En mentionnant l'apparition de la classe, nous constatons le moment précis où ses vestiges se montrent à l'état fossile pour la première fois? mais ce moment, à quelque niveau qu'on veuille le placer, n'a rien de connexe en soi avec celui, bien antérieur sans doute, qui coïncide avec le début réel de la classe. Entre ces deux termes, il est naturel de placer une période d'ébauche et d'incubation, peut-être fort longue, et qui n'a dû laisser d'elle que peu ou point d'indices de nature à nous permettre de l'apprécier. Quoi qu'il en soit, il est certain qu'à partir de l'urgonien arctique, c'est-à-dire à partir de l'étage de Kome, auquel appartient le *Populus primæva*, les dicotylédones ne cessèrent de se multiplier de manière à acquérir rapidement l'importance et bientôt après la prépondérance qu'elles possèdent incontestablement dans la flore crétacée supérieure du Groënland.

Les plantes crétaçées du Spitzberg proviennent du cap Staratschin, à l'entrée de l'Eisfiord; leur découverte est due à l'infatigable Nordenskjöld. La formation qui les renferme est une puissante masse, épaisse de 2 à 3 000 pieds d'un grès argileux, distincte en réalité des couches tertiaires avec les-



quelles elle a été d'abord confondue, et dont la liaison avec le système groënlandais de Kome ressort de l'examen des espèces qui y ont été recueillies. Ces espèces ne sont pas encore très-nombreuses, il est vrai, puisqu'elles ne sont qu'au nombre de 16, mais elles sont surtout curieuses à raison de la latitude élevée du lieu qui les a fournies (78° lat. N.). Ici, point de cycadées ni de dicotylédones, mais seulement des fougères, des équisétacées et des conifères. Les fougères affectent les formes coriaces de celles de l'oolithe. Le *Thinnfeldia arctica* est surtout remarquable, puisqu'il se rattache à un genre plus particulièrement infra-liasique. Les gleichéniées, de même que les cycadées, qui tiennent une place si considérable dans la flore du Groënland, sont absentes, et l'on ne sait si cette absence doit être attribuée à un accident local, ou bien (nous pencherions vers cette dernière opinion) à une limite provenant de l'influence déjà sensible d'une latitude aussi avancée vers le pôle. La même cause qui permettait aux abiétinées de l'époque, reléguées en Europe sur les montagnes, de fréquenter dans le Groënland le voisinage des lacs, pouvait bien exclure les cycadées et les gleichéniées de la flore polaire, aux approches du 80° degré. Les conifères dominant donc dans la flore crétacée du Spitzberg que M. Heer regarde avec raison comme avoisinant par son âge celle de Kome; peut-être serait-elle plus récente que celle-ci, mais à coup sûr, elle est plus ancienne que la flore crétacée supérieure dont nous allons parler. Les principaux types de conifères alors indigènes au Spitzberg étaient, en première ligne, le *Sequoia Reichenbachii* Heer, dont on possède des rameaux, des chatons mâles, des strobiles et même du bois; ensuite de vrais *Pinus* et des *Tsuga*, sans doute aussi un *Araucaria* dont le cône diffère peu de ceux que l'on a recueillis en Europe. Le type de salisburiée à feuilles très-grandes, partagées en segments étroits et longs, que nous avons déjà signalé sous le nom de *Sclerophyllina cretosa*, s'y trouvait aussi, ainsi qu'un genre problématique et sans doute éteint, qui se rattache de plus près encore aux salisburiées, et que M. Heer appelle provisoirement *Phyllocladites*.

Les plantes crétacées supérieures du Groënland ont été recueillies d'abord par M. Nordenskjöld à Atanekerdluk, dans des schistes noirâtres entremêlés de grès schisteux et interrompus par des coulées basaltiques dont la puissance est de plus de 200 pieds, et que surmonte la formation miocène inférieure, la plus riche en plantes fossiles tertiaires de toute la région. Cette première localité, dont la position géognostique se trouve parfaitement déterminée, est située sur la côte sud de la presqu'île de Noursoak; M. Heer la nomme *Atanekerdluk inférieur*. La même formation, plus puissante encore, épaisse de plus de 600 pieds, consistant toujours en des alternances de schistes argileux et bitumineux, accompagnés de minces lits charbonneux, de grès massifs et de coulées basaltiques, a été retrouvée par M. Nordenskjöld à Atané, au nord-ouest d'Atanekerdluk; les empreintes végétales abondent sur ce point, dans des lits de schistes noirâtres, vers 650 pieds au-dessus de la base de la formation. C'est à l'ensemble de ces couches que M. Heer donne le nom de *couches d'Atané* (*Ataneschichten*), par opposition avec celles du système crétacé inférieur nommées par lui *couches de Kome* (*Komeschichten*).

Les plantes du système d'Atané nous ramènent effectivement à une période



postérieure, où de grands changements se sont accomplis, sans que pourtant l'ensemble même de la flore ait perdu la physionomie de l'âge précédent.

Beaucoup de formes caractéristiques se maintiennent encore à côté des nouvelles venues ou, pour mieux dire, de celles dont l'évolution est plus récente et dont le développement s'avance vers son terme sans l'avoir encore atteint.

La flore d'Atané compte 62 espèces, et sur ce nombre, les dycotylédones, réduites à l'unité dans les couches de Kome, s'élèvent à 33, c'est-à-dire l'emportent sur toutes les autres classes réunies.

Les cycadées ont beaucoup décliné, et cependant une au moins des deux espèces attribuées à cette famille, le *Cycadites Dicksoni*, analogue en tout au *Cycas revoluta* L., ne saurait être douteuse. Les gleichéniées se maintiennent; mais, à côté d'elles, le groupe plus cosmopolite des osmundées paraît avoir accru son importance. Certaines fougères, comme l'*Asplenium Færsteri* Deb. et Ett., ont dû posséder à ce moment une très-grande extension géographique, puisque cette espèce a été observée à Aix-la-Chapelle en même temps que dans le Groënland. Les *Salisburia* ou *Ginkgo* continuent à être représentés; c'est le *S. primordialis* de Heer, espèce dont ce savant a rencontré les fruits et les feuilles. Le même séquoia, *S. Reichenbachii* Heer, prédomine toujours. Il existe certainement dans cette flore une arundinée de grande taille, mais il est difficile de décider s'il s'agit d'un bambou ou d'un *Arundo*.

Le côté principalement attrayant de cette flore, celui dont on recherche instinctivement la signification, se trouve constitué par les dicotylédones qui donnent lieu à un ensemble de formes prépondérantes, comme nombre et comme fréquence; c'est, du reste, ce qui existe justement à la même époque en Bohême, en Moravie, et dans l'ouest des États-Unis où la formation nommée *Dakota-group* par Haiden a fourni à M. Lesquèreux les matériaux d'une flore crétacée des plus riches en dicotylédones.

Le *Dakota-group* est une puissante formation d'eau douce, comprenant des grès mêlés de lignites, qui atteint son plus grand développement dans le comté de Dakota, au nord-est du Kansas; il occupe la base d'une énorme série de couches crétacées divisées en quatre étages, dont le plus élevé correspond au sénonien et le plus bas au cénomanién ou au turonien. Le *Dakota-group* est donc contemporain des couches cénomaniennes du quader-sandstein inférieur des environs de Prague, dont j'ai pu étudier les nombreuses dicotylédones, de concert avec mon ami le professeur Marion, et constater les incontestables affinités avec les espèces américaines publiées par M. Lesquèreux (1).

Dans le cénomanién de Bohême, les dicotylédones les plus sûrement déterminées, car il faut toujours faire la part de l'incertain et de l'inconnu, sont des magnoliacées, des ménispermées, des crednériées que nous considérons comme des malvoïdées primitives, des araliacées, des cissées. En dehors de ces familles, il faut encore citer les myricées, les ficus, les myrta-

(1) Voy. *Contrib. to the foss. fl. of the West. Territ. Part. 1, the cretac. Flora*



cées, les juglandées et anacardiées, les laurinéés et les quercinéés, enfin les protéacées, les diospyrées, myrsinéés et célastrinéés, comme ayant été signalées çà et là dans la craie ancienne, avec plus ou moins de vraisemblance. J'ai cru aussi, de concert avec M. Marion, devoir signaler, dans la craie supérieure et l'éocène le plus inférieur, un genre *Dewalquea*, qui représenterait nos helléborées à l'état prototypique.

En Amérique, si loin que se transporte en remontant la série de la craie, et sans que l'on ait encore l'assurance positive qu'il s'agisse d'une formation vraiment contemporaine de celles d'Europe qui viennent d'être mentionnées, on retrouve certainement, en grande partie, les mêmes familles caractéristiques et, en première ligne, les magnoliacées, ménispermées, araliacées, cissées, quercinéés et même le genre *Fagus*, puis, d'une façon plus douteuse, des laurinéés, diospyrées, myrsinéés, célastrinéés, anacardiées. Les platanées, sans doute représentées par des formes à feuilles persistantes et fermes, et le groupe encore très-vague d'attribution des crednériées se montrent avec un luxe et une variété de formes qui étonnent. Plusieurs espèces paraissent communes aux deux flores du *Dakota-group* et de la craie supérieure d'Atané. Ce sont d'abord les deux magnolia, *M. alternans* Heer, et *Capellini* Heer, qui devront peut-être n'en faire qu'un, et l'*Andromeda Parlatori* Heer. D'autres espèces se rapprochent respectivement beaucoup, comme le *Diospyros prodromus* Heer, comparé au *Bumelia Marcouana* Lesq.

Si l'on se transporte dans le Groënland, à l'époque de la craie supérieure, et que l'on considère l'ensemble des dicotylédones, en négligeant les formes les plus incertaines, on voit que cette grande classe comprenait surtout : des peupliers à feuilles coriaces (*Populus Berggreni* et *hyperborea* Heer); des *Ficus* dont le fruit a été retrouvé et dont les feuilles étaient épaisses; des myricées, des magnoliacées, des *Credneria*, des araliacées, des diospyrées, des myrsinéés. Elle comprenait encore, à ce qu'il paraît, des anacardiées, des myrtacées (*Myrtophyllum*), enfin des légumineuses. On voit donc que certaines familles reparaissent inévitablement à cette époque, que l'on se place en Bohême, dans le Kansas ou dans le Groënland, etc., et que les effets de la latitude, si tant est qu'ils se fissent déjà sentir, se trouvaient encore restreints dans de fort étroites limites. La fréquence des peupliers, l'absence des laurinéés à feuilles persistantes et la présence d'une laurinée à feuilles caduques, encore douteuse, il est vrai (*Sassafras arctica* Heer), tels sont les seuls indices sur lesquels on pourrait s'appuyer pour admettre l'influence d'un climat déjà plus froid dans l'extrême Nord, en Europe ou en Amérique, lors de la craie supérieure. Cependant, la diffusion des *Magnolia*, alors présents partout, l'abondance des platanes et la présence d'un hêtre en Amérique, porteraient plutôt à faire prévaloir l'hypothèse d'une très-grande égalisation des conditions de climat, au nord comme au sud du cercle polaire.

Il est certain que l'extension immense qu'avaient obtenue à cette époque certaines formes, comme le *Sequoia Reichenbachii* et les *Gleichenia*, milite en faveur d'une pareille égalisation de température s'étendant d'une extrémité à l'autre de notre hémisphère. Là peut-être gît tout le secret du développement rapide et de l'extension générale des dicotylédones. La région où les



plantes de cette classe ont eu leur premier berceau, sans être située dans les alentours immédiats du pôle, a pu y toucher cependant et communiquer en même temps avec les zones plus méridionales. Un jour, il faut l'espérer, on parviendra à fixer l'emplacement géographique et les limites probables de cette région mère des premières dicotylédones; les données actuelles sont trop vagues pour que nous ayons la pensée d'insister davantage sur ce point. — J'ai voulu rechercher cependant si les familles de dicotylédones les plus anciennes, et dont la présence dans l'âge crétacé a pu être constatée de la façon la moins douteuse, présentaient par elles-mêmes quelque caractère qui justifiât leur antériorité. A ce point de vue, la fréquence et la diffusion des polycarpées, magnoliacées, ménispermées, peut-être berbéridées, helléborées, nymphéacées? malvacées, ne sauraient passer inaperçues, puisque ces familles sont justement celles dont les parties florales ont subi le moins de réductions et de soudures; chez elles, l'axe primitif dont la contraction a donné naissance à l'appareil floral est encore reconnaissable et l'ordre phyllotaxique des éléments appendiculaires de cet axe est encore saisissable, au moins partiellement, dans la disposition spirale affectée par les organes sexués et même par les feuilles modifiées qui les entourent. La plupart de ces types de dicotylédones, non pas les premières, sans doute, mais du moins les plus reculées vers le point de départ originaire, présentent des stipules, et le pétiole engainant des araliacées, le limbe prolongé le long du pétiole des *Credneria*, la fréquence de la disposition palmatinerve ou la tendance vers cette disposition, sont à nos yeux autant d'indices d'un état antérieur des organes foliaires vers lequel les appareils phyllodés de certains types ne sont peut-être qu'une récurrence partielle, de même que les stipules paraissent en constituer un dernier vestige. Il est donc probable que les dicotylédones, au moment où nous les rencontrons pour la première fois, avaient déjà subi une longue suite de modifications. Beaucoup d'entre elles ont repris depuis cette marche: les avortements et les soudures, les variations secondaires, l'effacement de certains caractères et l'hypertrophie de certaines parties, n'ont cessé de se produire et de multiplier les types, les sous-types, et dans l'intérieur de chacun d'eux les espèces. Cette élaboration a eu lieu à travers la dernière partie de la craie et dans tout le tertiaire; elle se continue encore maintenant au sein des groupes polymorphes et flottants qui font le désespoir des botanistes.

#### IV. — FLORE TERTIAIRE ARCTIQUE.

L'ordre chronologique nous amène dans le terrain tertiaire. La flore arctique de cette époque, qui vit les contrées polaires se refroidir graduellement, se couvrir de glace, et exclure finalement toute végétation frutescente, est cependant la plus riche en documents de toutes celles dont M. le professeur Heer a publié les plantes. Loin de nous étonner de cette profusion, il faut songer que dans le nord, aussi bien que sur le flanc des montagnes, chaque type des plantes n'est nulle part représenté par des individus plus beaux ni plus gran-



dioses qu'aux approches de la limite qui marque le point d'arrêt définitif. Le hêtre en Danemark; le chêne pédonculé aux environs de Stockholm, le bouleau blanc en Dalécarlie et jusque vers l'Altenfiord, le sapin des Alpes, le pin de Norvège, fournissent des preuves éclatantes de cette vérité. Il en a été de même autrefois dans les régions polaires où l'antique végétation, après avoir subi de période en période, comme partout ailleurs, une marche graduelle, après avoir acquis de nouveaux types et perdu les types antérieurs ou les avoir vus changer d'aspect et se modifier plus ou moins, atteint enfin l'âge où la chaleur se mit à décroître, où les saisons commencèrent à prononcer leurs différences et la nuit hibernale à faire ressentir les effets de sa longue obscurité. Cet âge coïncida évidemment avec l'âge tertiaire; mais avant de laisser le champ libre aux masses de glace et de livrer l'extrême Nord à la dévastation et à la solitude, le climat arctique traversa bien des phases.

Nous avons vu que vers la fin de la craie l'abaissement était encore peu sensible, et cependant la différence latitudinaire tendait à se manifester et à s'accroître.

Nous n'avons aucune preuve que les palmiers et les laurinéés à feuilles persistantes, dont la floraison hibernale exige la présence de la lumière dans la saison froide, aient jamais habité au dedans du cercle polaire.

Lors de l'éocène, à l'époque où ces plantes se répandirent en Europe et s'avancèrent au moins jusqu'au 55° degré de latitude, les régions arctiques présentaient sans doute déjà des hivers trop marqués et des étés trop peu chauds et trop courts pour leur ouvrir l'accès de la zone polaire.

Le contraste entre les deux saisons et l'obscurité de celle de l'hiver durent nécessairement, par suite de l'influence d'une période annuelle de repos forcé pour la végétation, favoriser le développement des espèces à feuilles caduques. Nous ne serions même pas éloigné d'admettre que la plupart des types de dicotylédones à feuilles caduques soient originellement sortis de l'extrême Nord et que leur berceau dût être placé soit à l'intérieur de la zone arctique, soit encore, pour quelques-uns d'entre eux, sur les montagnes et dans les parties humides de la zone tempérée. Il en a été certainement ainsi des groupes qui comprennent à la fois des espèces à feuilles caduques et d'autres à feuilles persistantes ou semi-persistantes, comme les ormeaux, dont le sous-genre *Microptelea* représente le type à feuilles non caduques; les bouleaux, dont les *Betulaster* désignent la souche méridionale; les chênes, divisés en chênes verts et en chênes rouvres; les châtaigniers, dont les *Castanopsis* et les *Pasiana* sont la répétition au sein de la zone tempérée chaude. Toutes les fois que l'on peut obtenir une dualité de cette sorte, on est à peu près certain de rencontrer dans la végétation tertiaire arctique des vestiges du sous-type à feuilles caduques, tandis que le sous-type opposé s'en trouve exclu et se montre de préférence en Europe à la même époque. D'autres types, comme ceux du ginkgo, du platane, du tilleul, etc., dont les prototypes à feuilles persistantes ont disparu très-anciennement ou ne sont pas connus, sont réellement venus de la région polaire à un moment donné, pour se répandre ensuite de proche en proche, à travers la zone tempérée boréale. Ces essences, comme les précédentes, ont rayonné de la terre arctique, et leur diffusion actuelle trouve sa



raison d'être dans cette émigration antérieure au moyen de laquelle ils purent librement s'avancer vers le sud dans une ou plusieurs directions. Le *Liquidambar*, le *Betula alba*, le *Fagus sylvatica*, le *Taxus baccata*, certains saules, bien d'autres plantes qui occupent maintenant une aire immense dans le sens des longitudes ne reconnaissent pas d'autre cause de leur diffusion actuelle, et leur présence constatée, ou du moins celle de leurs homologues directs, dans la végétation tertiaire arctique, est une heureuse confirmation de ce point de vue. C'est ainsi que les études de M. Heer ont mis au jour les titres généalogiques de beaucoup d'espèces européennes ou asiatiques que l'on aurait pu croire autochtones, et qui ne sont en réalité que des colons et des étrangers dont les circonstances ont favorisé jadis l'introduction.

Les plantes tertiaires arctiques proviennent de six régions différentes qui sont, à partir de l'est : le Spitzberg, du 77° 30' au 78° 40' lat. N.; le Groënland occidental, par 70° 3' lat. N.; l'Islande, du 65° au 66° degré; les bords du fleuve Mackensie, vers son embouchure, au 65° degré; enfin la terre de Banks, par 74° 27' lat. N.

Les localités du Spitzberg d'où M. Nordenskjöld a rapporté des plantes tertiaires sont : le cap Lyell, à l'entrée de la baie de la Cloche (Bellsund, suéd. Bel Sund); le glacier de l'Écossais (Scott-Gletscher), dans la baie de la Recherche (Recherche-bay); le cap Staratschin, à l'entrée du fiord des Glaces (Eissfiord, suéd. Is-fiorden, Ice-Sound). par 78° 8' lat. N.; le cap Heer, près du Havre-Vert (Grün-hafen); enfin la baie du Roi (Kings-bay), 79° lat. N.

Le cap Staratschin (115 espèces), le cap Lyell (51 espèces), le Scott-Gletscher (34 espèces) sont les plus riches de ces localités qui, réunies, ont fourni 178 espèces décrites. Les lits d'où proviennent les empreintes végétales font partie d'une puissante formation d'eau douce dont l'épaisseur peut atteindre jusqu'à 100 pieds, et qui se compose d'une alternance des schistes feuilletés noirâtres, plus ou moins argileux, et de grès entremêlés de lits charbonneux ou ferrugineux. L'importance de cette formation implique l'existence d'une grande terre en harmonie avec la puissance des eaux lacustres ou fluviales auxquelles doit être attribué le dépôt de ces lits et des tourbières qui donnèrent naissance aux amas charbonneux. L'uniformité de la flore elle-même empêche de penser qu'il ne s'agisse pas d'une seule formation.

En Islande, toutes les empreintes tertiaires proviennent du *surturbrand*, formation locale également d'eau douce qui consiste en un mélange de menus lits charbonneux alternant avec une roche tufacée à la constitution de laquelle les détritiques basaltiques remaniés par les eaux ont certainement contribué.

Les dépôts situés sur la côte occidentale du Groënland, dans l'île Disco ou dans la presqu'île attenante de Noursoak, sont les plus importants de tous. Le plus riche, celui du Atanekerdluk, a fourni à lui seul 124 espèces, et plus de dix autres localités sont venues fournir leur contingent et accroître la série des plantes tertiaires. Ces formations du Groënland sont d'origine lacustre comme les précédentes; elles ont également une grande puissance et comprennent des alternances de grès sableux et de schistes argileux, imprégnés de sucs ferrugineux, riches en plantes fossiles, entremêlés de lits charbonneux et in-



terrompus par des coulées de basalte intercalées à plusieurs reprises. Les couches lacustres dénotent, comme au Spitzberg, une vaste étendue de terres et une longue période pendant laquelle, malgré l'activité des éruptions volcaniques auxquelles les contrées du Nord étaient alors soumises, la végétation ne cessa de conserver le même caractère. Le nombre total des espèces tertiaires du Groënland s'élève à 169; celles de l'Islande sont au nombre de 42; la région du Mackensie en compte 17; la terre de Banks et le Groënland oriental, une proportion insignifiante. Le nombre total des espèces décrites jusqu'ici est de 353, en y comprenant celles du Spitzberg, et ajoutant les incertaines dont M. Heer a réuni 45 espèces.

L'unité de cette flore considérée dans son ensemble, et la proportion considérable d'espèces communes aux diverses régions, malgré l'éloignement et la différence des latitudes, témoignent qu'elle répond à une seule et même période pendant laquelle, quelque durée qu'elle ait eue d'ailleurs, la végétation arctique et le climat auquel cette végétation était soumise, n'ont dû éprouver que de faibles variations. C'est à cause de l'affinité très-grande de cette flore avec celle de l'étage inférieur du miocène d'Europe, l'étage dit *aquitainien*, que M. Heer l'a rangée sur le même horizon. 40 des espèces du Spitzberg lui sont communes avec le miocène d'Europe, et 19 de ces espèces se retrouvent à la base de la mollasse d'eau douce de Suisse. — 69 des 169 espèces tertiaires du Groënland reparaissent dans le miocène d'Europe; sur ce nombre 35 se montrent dans l'étage inférieur et 24 seulement dans l'étage le plus élevé de la mollasse d'eau douce suisse. Ce sont là des raisons qu'il est difficile de combattre, et cependant, tout en admettant que la flore tertiaire arctique ne saurait être plus récente que le miocène inférieur, il ne serait pas impossible qu'elle ne fût antérieure à cette époque et qu'elle ne datât de l'éocène supérieur. Lors de l'éocène supérieur, l'Europe centrale et méridionale, par suite probablement d'une distribution particulière des terres, a été soumise à une influence australe des plus prononcées; elle s'est trouvée en liaison directe et en communauté de formes végétales avec l'Afrique du centre et l'Asie méridionale, mais rien ne nous révèle que les régions arctiques aient participé à ce mouvement, ni que leur flore s'en soit ressentie. Il est certain, au contraire qu'à partir du moment où un nouveau changement commença à se produire en Europe, alors que vers la fin du tongrien, le climat tendit à devenir moins chaud et plus humide, les espèces indigènes du pôle commencèrent à s'acheminer vers l'Europe et à s'y répandre, en émigrant successivement dans la direction du sud. Mais dès que l'on admet que ces espèces arrivèrent du nord et que leur berceau doit y être placé, rien de plus naturel que de croire qu'elles étaient établies dans le voisinage du pôle et combinées de manière à y former un ensemble harmonieux avant l'époque où la prédominance en Europe de chaleurs plus modérées et de saisons plus égales et plus humides vint leur ouvrir l'accès de notre continent.

On reconnaît aisément, au premier examen de la flore submiocène arctique, que tous les éléments tropicaux ou subtropicaux qui existaient encore au temps de la craie ont été éliminés dans l'intervalle et qu'aucun élément nouveau de même nature ne s'y est introduit, circonstance qui suffit à elle seule



pour établir une divergence profonde entre la zone arctique tertiaire et la zone tempérée actuelle, considérée à la même époque. Ainsi, plus de traces désormais ni d'*Oleandra*, ni de gleichéniées, ni de cycadées; plus d'*Araucaria* au Spitzberg, ni de *Ficus* authentique au Groënland; point de myricées ni de laurinéés à feuilles persistantes et d'affinité méridionale; point de palmiers surtout, comme l'Europe contemporaine en possédait jusqu'au delà du 50° degré. L'influence de la latitude est maintenant visible, bien qu'elle soit loin du degré d'intensité actuel; mais tout est proportionnel, et lorsque les palmiers couvraient l'Europe centrale et se manifestaient par des formes puissantes, et que les canneliers atteignaient les bords de la Baltique, l'exclusion de ces types et d'une foule d'autres, la prédominance des arbres à feuilles caduques sur ceux dont le feuillage persiste toute l'année, suffisaient pour établir un contraste frappant entre l'extrême Nord et les pays situés en dehors du cercle polaire. Il existait même alors une gradation de chaleur décroissante du sud au nord, en s'avancant vers les plus hautes latitudes, à l'intérieur du cercle polaire. Ainsi, le Spitzberg était plus froid vers 78° que le Groënland observé par 70° lat. N. L'abondance relative des pins et des sapins, des graminées et des cypéracées, des bouleaux, des viornes, des cornouillers, des tilleuls, des pomacées, dans la première des deux régions, en fournit la preuve manifeste, tandis que le Groënland, à la hauteur de l'île Disco, comprenait encore un *Biota* (*Biota borealis* Heer), un ginkgo (*Salisburia adiantoides* Ung.), des myricées à feuilles coriaces; des *Androméda* affiliés à des formes méridionales; des *Diospyros*, enfin des *Magnolia* à feuilles persistantes, des ménispermées, des ilicinées, des juglandées et même des anacardiées et des sterculiées, dont l'absence ou la rareté dans la flore du Spitzberg donnent la mesure précise des effets que produisait alors sur la végétation arctique une différence de 7 à 8 degrés en latitude.

Entrons plus avant dans l'étude des éléments de cette flore curieuse, encore riche et féconde, bien que le climat lui eût dès lors imposé des limites analogues à celles qui ferment de nos jours aux plantes méridionales l'accès de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Malgré les changements survenus, la végétation tertiaire arctique est loin d'être dénuée de liens avec le passé des régions polaires, tel que nous en avons tracé le tableau du temps de la craie.

Les *Asplenium* et les *Osmunda* parmi les fougères; les *Abies* et les *Tsuga*, les *Sequoia* et *Glyptostrobus*, les *Taxus* et les *Salisburia*, parmi les conifères; les *Populus* et les *Sassafras*, les magnoliacées, les araliacées, parmi les dicotylédones, que nous retrouvons dans le tertiaire des régions polaires, après en avoir constaté la présence au sein de la craie de ces mêmes régions, ne sont que des éléments empruntés à la flore de ce dernier terrain et dont la persistance est attestée par les modifications nulles ou faibles subies par la plupart de ces types.

De pareils enchaînements, visibles lorsque l'on interroge le passé, le sont bien davantage quand, pour les découvrir, on en recherche les traces au sein de la végétation actuelle. Il arrive alors qu'une espèce arctique tertiaire, dont l'ancêtre direct se retrouve dans la craie, possède elle-même un descendant au sein de la végétation des temps actuels, non pas, il est vrai, à l'intérieur



du cercle polaire, mais au delà, sur un point quelconque de la zone tempérée; et, dans ce cas, comme pour établir un lien intermédiaire entre ce descendant et l'espèce polaire dont il est un dernier prolongement, on observe le plus souvent vers le miocène supérieur ou le pliocène d'Europe des formes sœurs qui jalonnent, pour ainsi dire, la route suivie par l'ancienne espèce dans son passage jusqu'aux points méridionaux qu'elle a réussi à atteindre, soit qu'elle y habite encore, soit qu'elle en ait depuis disparu.

Ce point de vue résulte, en effet, du tableau suivant qui ne résume, du reste, que les exemples les plus frappants (voir le tableau ci-contre).

Les espèces qui figurent sur ce tableau sont celles dont il a été possible de retrouver la filiation, en remontant au delà des temps tertiaires jusque dans la craie. La difficulté de les suivre aussi loin dans le passé et la pauvreté des documents originaux, enfin la lacune qui correspond à l'espace vertical qui sépare la craie du miocène inférieur expliquent l'insuffisance de la notice généalogique. Il est certain cependant que bien des types paraissent avoir eu, à l'exemple des précédents, leur berceau et leur point de départ primitif dans la zone arctique, soit qu'ils soient aussi anciens que ceux dont nous donnons la liste, soit qu'ils se soient formés plus tard que ces derniers et qu'ils aient revêtu durant l'éocène seulement les caractères qui les distinguent. Mais avant de nous attacher à chaque espèce en particulier et de la suivre dans sa marche en esquissant l'histoire probable de ses migrations, nous devons nous attacher aux genres ou sections de genres, mieux encore aux groupes d'espèces similaires auxquelles l'extrême Nord paraît avoir servi de lieu d'origine et de région mère.

C'est ce que nous venons de signaler en ce qui concerne les *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Torreya*, et la tribu des taxées proprement dites. Il a dû en être également ainsi des *Taxodium*, des *Biota* et de la section *Oxycedrus* Spach, parmi les *Juniperus*, peut-être encore des *Libocedrus*, bien qu'il y ait de l'incertitude sur ce dernier point, les strobiles n'ayant pu être encore observés. Le *Biota borealis* Hr., d'Atanekerdluk, dont les divers organes, rameaux, strobiles et semences, sont venus jusqu'à nous, est bien l'ancêtre de notre *Biota orientalis* Endl., ou thuya de la Chine, qui représente aujourd'hui ce même type dans le nord de la Chine et du Japon.

Le *Juniperus rigida* Hr., du Spitzberg, a certainement fait partie du groupe des oxycédres à une époque où l'Europe ne possédait encore que le groupe de la sabine. Aujourd'hui, le *Juniperus communis* L., descendant probable de l'espèce tertiaire du Spitzberg, s'avance encore jusqu'aux extrémités boréales de l'ancien continent, en Europe comme en Sibérie.

Dès les temps les plus anciens jusqu'à la fin de la craie, nous avons vu les salisburiées richement représentées dans la flore arctique, non-seulement par le type du *Ginkgo* ou *Salisburia*, mais par un autre type nommé tantôt *Baiera*, tantôt *Jeanpaulia* ou *Sclerophyllina*, et dont les feuilles coriaces, profondément divisées en segments étroits et plusieurs dichotomes, s'écartent beaucoup de celle des *Ginkgo*. Dans le tertiaire arctique, les *Salisburia* se trouvent réduits à une espèce unique : c'est le *Salisburia adiantoides*, venu un peu plus tard en Europe, et d'où descend d'autre part le *Salisburia*



TABLEAU DES ENCHAÎNEMENTS SUCCESSIFS QUI RATTACHENT LA VÉGÉTATION CRÉTACÉE POLAIRE  
A CELLE DE L'ÉPOQUE ACTUELLE.

FORMES ANCESTRALES de la craie polaire.	FORMES TERTIAIRES arctiques.	FORMES MIOCÈNES européennes.	FORMES PLIOCÈNES européennes.	FORMES ACTUELLES.
<i>Adiantum formosum</i> Hr.	.....	<i>Adiantum renatum</i> Ung.	<i>Adiantum reniforme</i> S.	<i>Adiantum reniforme</i> L. (Canaries, Afrique tropicale).
<i>Osmunda Obergiana</i> Hr.	<i>Osmunda Heerii</i> Gand.	<i>Osmunda Heerii</i> Gand.	<i>Osmunda Strozii</i> Gand.	<i>Osmunda regalis</i> L. (de la Suède à la Méditerranée).
<i>Salisburia primordialis</i> Hr.	<i>Salisburia adiantoides</i> Ung.	<i>Salisburia adiantoides</i> Ung.	.....	<i>Salisburia adiantifolia</i> Sm. (Chine-Japon).
<i>Torreya Dicksoniana</i> Hr.	<i>Taxites validus</i> Hr.	<i>Taxites validus</i> Hr.	<i>Torreya nucifera brevifolia</i> Sap. et Mar.	<i>Torreya nucifera</i> Sieb. et Zucc. (Chine et Japon).
<i>Glyptostrobos groenlandicus</i> Hr.	<i>Glyptostrobos europæus</i> Br.	<i>Glyptostrobos europæus</i> Br.	<i>Glyptostrobos europæus</i> Br.	<i>Glyptostrobos heterophyllus</i> Endl. (Chine méridionale).
<i>Sequoia Reichenbachii</i> Gem.	<i>Glyptostrobos Ungerii</i> Hr. <i>Sequoia Sternbergii</i> Hr. <i>Sequoia Coultssæ</i> Hr.	<i>Glyptostrobos Ungerii</i> Hr. <i>Sequoia Sternbergii</i> Hr. <i>Sequoia Coultssæ</i> Hr.	.....	<i>Sequoia gigantea</i> Torr. (Californie).
<i>Sequoia Smithiana</i> Hr.	<i>Sequoia Langsdorffii</i> Br.	<i>Sequoia Langsdorffii</i> Br.	.....	<i>Sequoia sempervirens</i> Endl. (Californie).
<i>Tsuga Cramerii</i> Hr.	<i>Tsuga Malmgrenii</i> Hr.	.....	.....	<i>Tsuga Sieboldii</i> Carr. (Japon).
<i>Populus Bergrenii</i> Hr.	<i>Populus mutabilis</i> Hr.	<i>Populus mutabilis</i> Hr.	.....	<i>Populus euphratica</i> Oll. (Algérie, Asie occidentale).
<i>Sassafras arcticum</i> Hr.	<i>Sassafras Ferretianum</i> Mass.	<i>Sassafras Ferretianum</i> Man.	<i>Sassafras Ferretianum</i> Mass.	<i>Sassafras officinarum</i> N. (Amérique septentrionale).
<i>Diospyros prodromus</i> Hr.	<i>Diospyros brachysepala</i> Al.-Br.	<i>Diospyros brachysepala</i> Al.-Br.	<i>Diospyros protolotus</i> Sup. et Mar.	<i>Diospyros lotus</i> L. (Asie Mineure).
<i>Magnolia Capellini</i> Hr.	<i>Magnolia Ingefeldii</i> Hr.	<i>Magnolia Dianæ</i> Ung.	<i>Magnolia fraterna</i> Sup. et Mar.	<i>Magnolia grandiflora</i> L. (Amérique septentrionale).



*adiantifolia* ou *Ginkgo biloba* L. dernière forme survivante de ce type curieux. Mais, à côté du *Salisburia adiantoides*, les régions polaires conservent encore, à l'époque tertiaire moyenne, un autre type dont on a recueilli des débris au cap Staratschin, au delà du 78° degré, et qui paraît être un dernier prolongement des *Sclerophyllina* crétacés, amoindris de proportions, mais encore reconnaissables. Ce sont des feuilles coriaces, étroites, marquées de nervures longitudinales nombreuses, dont le limbe est tantôt simple, en lanière obtuse au sommet, tantôt profondément biparti. M. Heer, en dédiant ce genre singulier à M. Torrel, l'intrépide compagnon de Nordenskjöld, sous le nom de *Torrellia* (*T. rigida*), l'a rangé avec raison dans le groupe des salisburiées, dont la tendance à s'appauvrir devient de plus en plus visible. De nos jours les *Torrellia* ont disparu, et l'unique descendant du *Ginkgo* tertiaire arctique, après avoir quitté l'Europe dans l'âge pliocène, n'habite plus à l'état spontané que quelques rares points de l'extrême Asie.

Les sapins proprement dits, *Abies* et *Picea*, ont eu certainement leur premier berceau dans le voisinage du pôle, d'où ils se sont ensuite répandus en Amérique, en Europe et en Sibérie, à mesure que le climat devenait froid et en suivant les chaînes de montagnes qui leur servaient de chemin. Notre sapin argenté lui-même (*Pinus abies* L. — *Abies taxifolia* Poir. — *Abies pectinata* D. C.) habitait déjà le Spitzberg sous sa forme actuelle en compagnie du pin des tourbières (*Pinus montana* Mill.) et de plusieurs autres pins et sapins, *Picea*, *Tsuga*, à l'époque où les plantes du cap Staratschin ont passé à l'état fossile.

Les bouleaux du type de notre *Betula alba* L. sont aussi venus du pôle, de proche en proche; circonstance qui explique la diffusion très-grande de ce type et de ses principales espèces à travers la zone boréale tout entière. Jusqu'à une époque avancée de la période tertiaire, l'Europe ne possédait en fait de bouleaux que des *Betulaster* ou bouleaux de l'Asie centrale et méridionale, qui se distinguent par la persistance de leurs bractées fructifères, qui demeurent attachées à l'axe de l'inflorescence après la chute des samares, ainsi que par leurs aptitudes plus méridionales.

On peut dire la même chose des hêtres, des châtaigniers, des chênes de la section dont fait partie notre rouvre, des ormeaux, dont le type à feuilles semi-persistantes (*Microptelea*) a longtemps dominé en Europe, et enfin des tilleuls. Ce dernier groupe, le seul, dans une famille essentiellement tropicale, qui accuse des tendances boréales, est certainement né dans l'extrême Nord.

Le *Tilia Malmgreni* Hr. représentait ce genre au Spitzberg à une époque où l'Europe tertiaire n'en laisse voir aucun vestige. Les tilleuls firent leur apparition dans la végétation européenne vers la seconde moitié du miocène et par la direction du nord, puisque c'est à Bilin, en Bohême, qu'on les observe pour la première fois. Plus tard, au commencement du pliocène, on les retrouve auprès de Lyon, dans le Cantal, en Italie et en Autriche.

Les saules, maintenant si nombreux et si riches en espèces dans les contrées du Nord, sont à peine représentés dans la flore arctique tertiaire par quelques feuilles rarement entières et faiblement caractérisées. C'est là une



des singularités de l'ancienne végétation polaire. On peut en dire presque autant des aûnes; tandis que la fréquence des noisetiers est un indice précieux de leur origine septentrionale. Il en est encore de même des viornes à feuilles caduques, des cornouillers, des sorbiers (*Sorbus grandifolia* Hr.) des *Eratægus* (*C. carneggiana* Hr., *C. oxyacanthoides* Gœpp.), dont la présence est certaine au Spitzberg ou au Groënland, dès le miocène inférieur, mais qui ne font leur apparition en Europe que bien plus tardivement.

Laissons maintenant les groupes pour ne considérer que les espèces en particulier. Cette seconde étude n'offre pas moins d'intérêt que l'autre par suite de la proportion relativement considérable d'espèces végétales qui sont devenues l'ornement de notre zone tempérée, après avoir eu dans l'extrême Nord leur point de départ originaire. Il en est ainsi en première ligne de celles qui sont aujourd'hui représentées par deux formes presque identiques, ou du moins très-rapprochées, situées, l'une dans l'ancien, l'autre dans le nouveau continent.

Le platane, le liquidambar, le hêtre, se trouvent dans ce cas. Les deux platanes, *Platanus occidentalis* L. et *P. orientalis* L., ne diffèrent effectivement que par de faibles nuances; les *Liquidambar orientale* Mill. et *styracifluum* Michx. se distinguent à peine; les *Fagus sylvatica* L. et *ferruginea* Michx. s'écartent un peu plus l'un de l'autre; mais constituent pourtant des formes très-rapprochées.

Le *Platanus aceroides* Gœpp., souche primitive des deux formes actuelles, se montre partout dans le miocène inférieur de la zone arctique, au Spitzberg comme au Groënland. Dans le courant du miocène il s'introduit en Europe; il se multiplie d'abord en Allemagne et en Suisse; plus tard on le rencontre en Italie, dans le bassin du Rhône et ailleurs. La forme tertiaire européenne ressemble un peu plus au platane d'Amérique qu'à celui d'Asie.

Le *Liquidambar europæum* Al. Br., signalé dans le Groënland, joue absolument le même rôle que l'espèce précédente. Comme le *Platanus aceroides*, il se répand en Europe durant le miocène, se multiplie d'abord en Allemagne et en Suisse; puis, arrivé dans le midi de l'Europe, il prolonge son existence dans le bassin du Rhône et en Italie jusque dans le pliocène. Il rappelle plutôt l'espèce d'Amérique que celle de l'Asie Mineure; pourtant, dès le miocène, il existe une forme européenne (*Liquidambar protensum* Ung.) qui opère une transition entre les deux.

Le hêtre arctique (*Fagus Deucalionis* Hr.) tient le milieu entre celui d'Amérique (*Fagus ferruginea* Michx.) et le nôtre (*Fagus sylvatica* L.). Ses feuilles sont dentées comme celles du premier, et pourtant M. Heer le compare plutôt au second. La forme américaine paraît avoir précédé en Europe la forme actuelle. Je l'ai signalée à Manosque (*Fagus pristina* Sap.) dans l'aquitaniien ou miocène inférieur de Provence. Le hêtre arctique, avec ses affinités ambiguës, s'est répandu dans toute l'Europe vers la fin de la période miocène. Il tend alors à se rapprocher de plus en plus de l'apparence qu'il revêt de nos jours. Dans les cinérites du Cantal, aussi bien qu'à Stradella et à Sinigaglia, en Italie, on observe toutes les transitions entre le *Fagus Deucalionis* Ung., le *Fagus attenuata* Gœpp. et le *Fagus sylvatica pliocenica*,



qui finit par se confondre avec notre hêtre ordinaire, dont la présence dans les travertins de Massa-Maritima ne saurait être méconnue, et dont l'humidité permanente du climat favorisait alors l'extension sur toute l'étendue de l'Europe.

Le châtaignier arctique (*Castanea Ungerii* Hr.), dont M. Heer a figuré les divers organes et qui habitait le Groënland lors du miocène inférieur, est très-voisin de notre *Castanea vesca* Gœrtn, tout en présentant des caractères qui le rapprochent de celui d'Amérique (*Castanea pumila* Michx.). Le *Corylus Mac-Quarii* Forb., si répandu à cette époque dans toute la zone polaire, est bien l'ancêtre de notre noisetier (*Corylus avellana* L.) et de celui d'Amérique (*C. purpurea*). On ne commence à le rencontrer en Europe que dans un âge bien plus récent.

Le sassafras (*S. officinarum* N.) et le tulipier (*Liriodendron tulipifera* L.) ont suivi chacun une marche assez différente. Le premier, sous le nom de *Sassafras Ferretianum* Mass., se montre à Atanekerdluk, dans le Groënland, sous une forme difficile à séparer du sassafras actuel d'Amérique, dont il est visiblement l'ancêtre. Ce même *Sassafras Ferretianum* apparaît en Europe à la fin du miocène, en Italie, et se montre encore dans le pliocène du Cantal; plus tard, il a été éliminé de notre sol, en sorte que le type primitif et polaire n'a survécu que dans une seule des deux régions où il avait pénétré en émigrant de l'extrême Nord.

Le tulipier tertiaire s'est comporté de la même façon; il a été rencontré dans le miocène ancien en Islande, circonstance qui semble marquer qu'il a dû arriver par le nord. La forme islandaise primitive diffère peu de l'espèce américaine actuelle. Ce tulipier s'introduisit sans doute en Europe dans le cours du miocène. On l'observe d'abord dans la mollasse d'eau douce de Suisse (mayencien); mais il y est très-rare; il se multiplie après cette époque, et ses empreintes deviennent nombreuses dans le miocène récent de Sinigaglia et ensuite dans le pliocène inférieur de Meximieux, près de Lyon; il tend alors à s'éloigner du type originaire d'Islande, et par conséquent du *Liriodendron tulipifera*. Ses feuilles larges se font remarquer par le contour obtus et faiblement prononcé de leur base, et il est probable que cette espèce, si elle avait réussi à se maintenir sur notre sol, aurait fini par se distinguer tout à fait du tulipier d'Amérique.

Parmi les espèces arctiques, on peut encore signaler les suivantes comme étant la souche probable de formes actuelles, aujourd'hui européennes ou américaines.

## FORMES ARCTIQUES MIOCÈNES.

Potamogeton Nordenskjöldi Hr.....  
 Quercus groënlandica Hr.....  
 Ulmus Braunii Hr.....  
 Menyanthes arctica Hr.....  
 Viburnum Whymperi Hr.....  
 Hedera Mac-Cluri Hr.....  
 Acer otopteryx Gp.....  
 Juglans acuminata Al. Br. ....  
 Sorbus grandifolia Hr.....  
 Prunus staratschini Hr.....  
 Crataegus oxyacanthoides Gp.....

## FORMES ACTUELLES DÉRIVÉES.

Potamogeton natans L. — Europe.  
 Quercus prinus L. — Amérique.  
 Ulmus campestris L. — Europe.  
 Menyanthes trifoliata L. — Europe.  
 Viburnum lantana L. — Europe.  
 Hedera helix L. Var. hibernis. — Europe.  
 Acer dasycarpum Michx. — Amérique.  
 Juglans regia L. — Europe.  
 Sorbus aria L. — Europe.  
 Prunus spinosa L. — Europe.  
 Crataegus oxyacantha L. — Europe.



Tels sont, en choisissant les exemples les plus frappants, les lieux de filiation et les enchaînements qui rattachent la flore de la zone tempérée actuelle à celle de la zone arctique observée au début des temps miocènes. Il a été aisé à M. Heer, en se basant sur les aptitudes bien connues des espèces les mieux déterminées et les plus proches alliées de celles qui vivent encore, d'établir le climat probable des terres polaires à cette même époque. Le célèbre professeur de Zurich attribue une moyenne annuelle de 9° à 10° centig. à l'ancienne région tertiaire arctique; cette moyenne est égale à celle qui existe actuellement dans les cantons situés au bord du lac de Genève, le mois le plus froid étant de 1°,28 et le mois le plus chaud 19°,41. Cette moyenne serait celle de la température du Groënland tertiaire vers le 70° degré de latitude nord; mais M. Heer remarque avec raison que les dépôts du cap Staratschin, du cap Lyell, et de la baie du Roi, au Spitzberg, plus avancés vers le pôle d'environ 8 degrés, accusent, d'après l'étude des plantes qu'ils ont fournies, une différence en proportion avec celle de la latitude et qui se manifeste par l'absence complète de dicotylédones à feuilles persistantes si l'on excepte le lierre et les conifères. Cependant, même sur ce point, l'abondance de *Sequoia* très-voisins du *S. sempervirens*, du *Taxodium distichum*, des *Cyperus*, des *Nyssa*, du genre *Paliurus* et de chênes à très-larges feuilles, récemment d'un *Magnolia* à feuilles caduques, engage M. Heer à relever un peu la moyenne annuelle de 5° 1/2 centig., dont il s'était d'abord contenté pour adopter celle qui est maintenant propre au nord de l'Allemagne et qui oscille entre 8 et 9 degrés. Par la même raison, en considérant la présence au Groënland d'une foule de types qui de nos jours ne dépassent pas le 40° degré, à l'état spontané, comme les *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Salisburia*, *Magnolia*, *Diospyros*, j'ai déjà exprimé la pensée qu'il fallait attribuer au Groënland miocène, aux approches du 70° degré, une moyenne annuelle d'environ 12° centig. On peut supposer sans invraisemblance, et en consultant les aptitudes des genres les mieux connus, que le climat devait être humide, la chaleur atteignant 28 à 30 degrés et se maintenant en moyenne à 25° centig. pendant les mois d'été, avec une moyenne de 5° centig. au moins pour la saison froide. Les dernières découvertes n'ont apporté aucun changement aux considérations qui m'avaient déterminé à proposer ce chiffre.

Il faut donc redescendre aujourd'hui vers le sud d'environ 30 degrés en latitude, pour retrouver à l'état spontané, et associées dans un ensemble analogue à celui que nous venons d'analyser, les formes végétales que réunissait alors la zone polaire. Les terres de cette zone, au moment où une partie de leurs secrets nous est révélée, formaient sans doute une vaste région, peut-être même un seul continent; la puissance des formations d'eau douce semble l'annoncer. Ces terres étaient en même temps travaillées par des feux intérieurs, exposées à d'incessantes éruptions, et soumises à des coulées basaltiques dont les nappes épanchées de toutes parts venaient interrompre les dépôts en voie de s'opérer. On sait qu'un pareil état n'est pas un obstacle à l'essor de la végétation et qu'il favorise même parfois son développement, malgré les dévastations partielles qu'il entraîne après lui.



L'Auvergne et le Cantal ont été également, dans un âge postérieur, le théâtre des mêmes phénomènes, et l'abondance des empreintes laissées dans les cendres et les boues volcaniques atteste combien les forêts étaient riches, variées et puissantes jusque dans le voisinage immédiat des anciens cratères. Ce n'est donc pas dans les phénomènes éruptifs, quelque violence qu'on leur suppose, qu'il convient de rechercher la vraie cause de la disparition de la flore tertiaire arctique. Cette cause dépend uniquement du climat. L'abaissement d'abord presque nul, puis à peine sensible à l'époque de la craie, s'accrut graduellement, et dès qu'il eut dépassé une certaine limite, il amena nécessairement le retrait ou la perte définitive d'une foule d'espèces qui jusqu'alors avaient fait l'ornement des contrées du Nord. A mesure que ce mouvement éliminatoire faisait des progrès, les glaciers, dont l'extension a été si grande en Europe vers la fin du tertiaire, ont dû s'accroître et descendre des hauts sommets, finalement tout envahir et tout effacer. Cet envahissement des glaciers du Nord, envahissement non pas partiel, comme en Europe, mais à peu près général, a été sans doute la cause prochaine et directe de l'élimination des derniers végétaux tertiaires; ou plutôt, l'abaissement de la température, à la fois effet et cause, en favorisant l'extension des glaciers dans des contrées évidemment très-humides, a contribué, par suite de cette même extension, à aggraver le froid et à transformer finalement le climat en le rendant impropre à faire croître la plupart des plantes, tandis que, par une sorte d'expropriation, le sol même se déroba à leur empire.

J'ai tracé un résumé rapide, et par cela même incomplet, quoique fidèle, des travaux de M. Heer venus à la suite des explorations suédoises. Ce savant et les naturalistes navigateurs qui sont allés recueillir les documents ainsi mis au jour ont découvert, on peut le dire, un monde entièrement nouveau, dont naguère l'existence n'était pas même soupçonnée et dans lequel nous pénétrons maintenant sans peine, parcourant les splendides forêts des anciennes régions arctiques, évoquant les visions du passé rendu par la science à la vie et à la réalité.

Que ressort-il à nos yeux, comme enseignement théorique, de cette reconstitution de la végétation polaire primitive? Il en ressort, à moins que nous ne soyons le jouet de l'erreur, que tout se tient, que rien n'est isolé ni sans précédents dans les phénomènes biologiques d'autrefois. La région arctique n'est pas et n'a jamais été un monde clos ayant ses êtres à soi et possédant une végétation qui lui fut exclusivement propre.

Elle a eu d'abord et pendant longtemps les plantes qui existaient partout ailleurs sur le globe; puis, lorsque les latitudes ont commencé à accentuer leur influence et à se différencier, la première de toutes les zones terrestres, elle a ressenti ce phénomène; avant les autres elle a possédé des conditions de climat et de température encore inconnues dans les autres parties du globe. C'est ainsi qu'elle devint une région mère, une sorte de berceau où naquirent et se développèrent, pour se répandre ensuite au dehors, se propager et se ramifier, une foule de types, souche première d'un certain nombre de genres et d'espèces que nous avons encore sous les yeux. De pareilles



émigrations eurent lieu à plusieurs reprises et dans plusieurs âges successifs ; elles continuèrent jusqu'au moment où, devenue trop froide, la zone arctique fut envahie par les glaces et ne fit plus que garder péniblement sur certains points les résidus de la flore qui jadis avait occupé le haut de ses montagnes et qui maintenant trouvait un dernier refuge au fond de certaines vallées, le long des plages et au bas des pentes abritées contre la marche des glaciers vers la mer.

Ces enchaînements, ces filiations, cette marche successive qui entraîne les espèces ; les variations plus ou moins marquées de celles-ci ; la situation centrale de leur pays d'origine qui leur permet de rayonner en divergeant à mesure qu'elles s'avancent vers le sud ; tous ces phénomènes si compliqués et si multiples qui ont contribué, pour une part au moins, à constituer la végétation de la zone tempérée actuelle, n'ont certainement rien de commun avec les créations indépendantes, les apparitions subites, les renouvellements succédant à des bouleversements physiques, par lesquels on cherche souvent à expliquer l'histoire des anciens êtres et à établir la prétendue incommutabilité des espèces.

Les espèces végétales, en nous bornant, pour terminer, à l'observation du règne organique dont elles font partie, ne sont ni forcément, ni constamment variables, ni nécessairement immuables. Ayant une partie au moins de leurs caractères fixés par l'hérédité, tendant à les transmettre à leurs descendants, tant que les circonstances extérieures leur rendent profitable la conservation de ces caractères ou ne les sollicitent pas à en changer, elles portent cependant en elles-mêmes une tendance intime, toujours susceptible d'entrer en jeu et d'entraîner l'organisme à des changements et à des complications, soit dans la structure interne, soit dans les parties accessoires et extérieures. Ces deux tendances ou forces antagonistes, l'une produisant la stabilité, l'autre la mutabilité, ne s'éliminent jamais d'une façon absolue, mais l'une ou l'autre prédomine à son tour, et d'autres fois le mouvement s'arrête dans une des deux directions pour reprendre dans une direction opposée. La forme de l'espèce s'altère si le changement s'accélère et si certains côtés de l'organisme cèdent à la force impulsive qui agit sur eux. Sans doute les changements peuvent, à certains moments, revêtir un degré d'intensité capable de produire dans une durée de temps relativement courte une véritable transformation. D'autre part, l'organisme, certaines combinaisons une fois réalisées, peut et doit atteindre à un état de fixité qui, une fois consolidé par l'hérédité prolongée, ne se trouve plus susceptible de nouvelles modifications. Alors, l'être ainsi arrêté dans ses contours définitifs cesse de pouvoir changer ou ne varie plus désormais que dans de très-faibles limites ; il vivra si les circonstances le favorisent ou si rien dans les circonstances n'est de nature à entraîner sa perte ; dans le cas contraire, il s'éteindra, mais s'il a cessé de se montrer plastique, il ne saurait donner naissance à de nouveaux types ; il vieillira dans son infécondité, ou bien il s'amointrira et se dégradera avant de disparaître entièrement. — Les considérations que nous venons d'exposer ne sont pas une théorie ; elles découlent plutôt de l'observation même des faits interprétés dans leur sens le plus naturel. A nos yeux, elles sont le résultat des décou-



vertes les mieux comprises, des phénomènes de paléontologie envisagés sans parti pris. Tout, il est vrai, ne s'explique pas avec cette façon de penser; il suffit cependant pour nous engager à l'adopter, qu'elle introduise un peu plus de clarté sur la marche suivie autrefois par les plantes qui habitèrent une région aujourd'hui presque entièrement déserte et où la vie, nous venons de le constater, eut certainement jadis un de ses foyers les plus actifs et les plus féconds.

---

#### IV

### BASSIN CHARBONNIER DU COLORADO

#### ET DE LA PRAIRIE

Par M. CHAPER

Parmi toutes les questions que la géographie est appelée à étudier, il en est peu assurément qui offrent un intérêt plus évidemment pratique pour l'humanité, dans l'état actuel de ses besoins, que celles qui sont contenues dans le n° 39 du Questionnaire :

« Distribution géographique des gîtes de combustibles minéraux, des métaux précieux et particulièrement de l'or et de l'argent. »

Si l'on pouvait traiter ce sujet dans sa généralité, on serait promptement conduit hors du domaine de la simple statistique géographique et amené, par la nécessité même du classement méthodique, sur le terrain spécial de la géologie qui, seul, permettrait l'établissement d'une coordination dans les faits recueillis. En outre, l'ampleur même du sujet conduirait assurément à des développements qui dépasseraient les bornes des communications qui peuvent utilement être admises dans ces réunions. Mais l'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas d'étudier cette question dans son ensemble. Le nombre des faits est relativement si restreint, la répartition de ces faits sur la surface habitable du globe si inégale, la valeur de chacun d'eux si insuffisamment appréciée, que nous sommes encore et pour longtemps, à la période de recherche et de constatation, aussi bien pour les métaux que pour les combustibles.

C'est à cette récolte de faits que géographes et géologues doivent consacrer tous leurs efforts, unis dans le but d'acquérir et d'assurer à l'humanité la possession et la jouissance les plus complètes possible de son domaine.

Je demande la permission de faire connaître quelques-uns de ces faits en même temps que j'en indiquerai l'importance probable, non qu'ils soient absolument nouveaux et qu'ils résultent de découvertes qui me soient personnelles, mais parce qu'ils sont trop peu connus, à mon sens, en Europe, et parce qu'aucune occasion ne saurait être plus opportune de les signaler à l'attention et d'en faire ressortir les conséquences.



L'immense intervalle qui s'étend des Alleghany's aux montagnes Rocheuses a, pendant longtemps, été infranchissable pour d'autres que des explorateurs armés. La colonisation de l'Amérique avait d'abord pénétré, en venant de l'est, jusqu'au Mississipi, déjà peuplé sur ses bords par de premiers colons venus du sud, mais à peu de distance du cours de ce fleuve il semblait y avoir une barrière. Le courant qui se porte à l'ouest semblait y être arrêté et s'étendait avec peine vers le nord-ouest, le long des rives du Missouri. C'est qu'en quittant les bords du fleuve on trouvait devant soi la prairie, sans bois, sans eau souvent, sans limites, et d'autant plus infranchissable qu'elle offrait moins d'obstacles. Après l'annexion des immenses territoires que les traités de 1846 cédèrent à l'Union, les tendances de l'émigration, comme les efforts du gouvernement américain, se portèrent d'abord vers la rive du Pacifique, vers ce nouveau domaine ouvert à leur activité. Ce fut par la mer, par la route de l'isthme de Panama qu'on s'y rendit. Ce fut encore par là que passèrent les innombrables aventuriers et colons qu'attira, peu d'années après, la fièvre de l'or.

Mais, de même que le courant marchant vers l'ouest était arrêté au Mississipi, le courant qui aurait pu partir du Pacifique pour envahir le continent en s'avancant vers l'est se trouva arrêté par la Sierra Nevada, au-delà de laquelle une succession de chaînes presque parallèles et d'un accès difficile n'offrait aux colons que dangers et souffrances. Les mineurs, plus hardis, y pénétrèrent dans différentes directions; ils furent vite découragés par l'impossibilité de profiter du produit de leurs travaux. Une pareille situation ne tarda pas à préoccuper le gouvernement américain et la nation tout entière. Alors furent ordonnées les expéditions dont les résultats sont consignés dans la splendide publication intitulée : *Explorations and Surveys for a Railroad Route from the Mississippi River to the Pacific Ocean*. A cette série de treize volumes in-folio se rattachent les deux volumes du *Mexican Boundary, la Colorado exploring Expedition* (1856-58) et les volumes annuels que le gouvernement continue depuis lors à publier sous les titres de : *Mining Statistics west of the Rocky Mountains*; — *Mineral Resources west of the Rocky Mountains*, et *Geological Surveys of the Territories*.

La valeur de pareils livres ne peut être appréciée que par ceux qui ont eu l'occasion de vérifier l'énorme quantité de faits et l'exactitude des observations de toute nature qu'ils renferment.

Cet admirable monument, dû à l'énergie persévérante des Américains, est unique en son genre et rendra justement célèbres les noms du lieutenant Hayden, de l'ingénieur Ives et de leurs collaborateurs. L'étude et l'exécution se suivent souvent de près aux États-Unis. La construction de l'*Union Pacific Railroad* et du *Central Pacific R. R.*, qui en fait le prolongement, en ont donné le plus saisissant exemple. Renonçant à attendre que leurs pionniers eussent frayé la route, peuplé le pays et appelé à eux les voies ferrées, les Américains inaugurèrent leur nouveau système dans lequel l'établissement du chemin de fer précède la colonisation, permettant à l'homme de s'avancer dans la solitude en restant en communication avec le monde industriel, et d'attendre ainsi, sans péril, l'effet des modifications qu'il impose au sol et des



ressources qu'il en tire. Ils n'eurent pas tout d'abord une conscience nette de ce résultat qu'ils ont poursuivi avec tant de persévérance et de succès; ce qu'il leur fallait alors, c'était de passer, c'était de franchir à tout prix l'espace qui séparait l'Atlantique du Pacifique; on sait comment ils y sont parvenus.

Parmi les difficultés de toute nature que rencontrait cette étonnante entreprise, l'une des plus graves et des plus nouvelles en Amérique, était à coup sûr le défaut absolu de combustible sur un immense parcours. Du Mississipi aux confins occidentaux de l'Utah, le bois manquait, sauf la petite quantité qu'on en pouvait trouver dans quelques vallons de la chaîne des montagnes Rocheuses. L'un des premiers soucis des *railroadmen*, et avant eux des explorateurs, avait donc été la recherche des combustibles minéraux. On voit, en parcourant les ouvrages mentionnés plus haut, avec quel soin sont enregistrés les moindres indices de ce précieux minéral. Malheureusement la nécessité de faire vite et d'échapper aux lenteurs d'une construction en pays montagneux fit donner la préférence au tracé qui franchissait le massif des montagnes Rocheuses au point où la chaîne s'abaisse le plus. Sur ce parcours d'Omaha à Cheyenne, Ogden et au delà, aucun gîte de combustible ne fut signalé tout d'abord à proximité. Cependant, peu à peu des recherches assidues trouvèrent des charbons minéraux dans l'Utah, le Wyoming, le Nebraska, le Colorado. Tantôt l'éloignement, tantôt le peu d'importance des dépôts en empêchaient, ou tout au moins en faisaient ajourner l'exploitation. L'*Union Pacific R.R.* continuait à brûler du charbon de Pensylvanie ou du bois des vallées de l'est, venus de 700 et 800 milles et même davantage.

Les lambeaux de terrain à charbon qu'on avait reconnus étaient difficiles à coordonner; néanmoins tous appartenaient à la période crétacée supérieure ou à la période tertiaire; ils apparaissaient clairement comme les débris d'un vaste dépôt ayant subi d'énormes érosions. Dès avant la construction du chemin de fer, le territoire du Colorado avait été signalé comme contenant du charbon, et désigné aussi à l'attention des mineurs pour ses filons de cuivre et de plomb aurifères et argentifères. Quand l'accès en fut possible, une population avide de trésors accourut sur les districts de George-Town, Carilson, Central City, etc. L'exploitation des mines commença: le bois ne manquait pas; on en usa, on en abusa plus encore. Les mines étant productives, la population commença à se fixer, la colonisation prit racine, favorisée par un admirable climat et par un sol d'une fertilité non moins admirable. Alors se fondèrent, après les agglomérations citées plus haut les cités industrielles et commerçantes de Boulder, Golden City, Denver, etc.

Deux gîtes charbonniers importants venaient d'être découverts aux deux premières localités: la sécurité de l'industrie des métaux se trouvait ainsi assurée pour le jour où elle serait obligée de sortir des montagnes et de reculer devant la rareté du combustible végétal si follement gaspillé. En même temps, la grande ligne ferrée se reliait à ces charbons si ardemment désirés par la branche du *Denver Pacific*, et les charbons de Boulder et de Golden allaient à l'ouest et à l'est de Cheyenne, se répandre dans les dépôts de l'*Union Pacific* et s'y substituer aux combustibles qu'on y faisait venir auparavant de si loin.



Ces gites étaient à peine exploités que l'on pouvait déjà se demander si la production en serait au niveau des besoins déjà existants ou à prévoir. Confians dans l'avenir et dans les indications pleines de promesses contenues dans les publications officielles dont j'ai parlé ci-dessus, les Américains s'engagèrent résolûment dans la voie de la « colonisation par chemin de fer ». Les mines des districts du North Colorado étaient riches, chaque jour en faisait découvrir de nouvelles dans les trois « *Parks* » de l'ouest du territoire; on en signalait au sud; le charbon était là, le sol était fertile, le climat magnifique; en fallait-il tant pour les décider? Un chemin de fer direct fut construit à 120 milles (195 kilom.), en moyenne, au sud de l'*Union Pacific*, pour relier directement Saint-Louis, Kansas City et Denver. Cette nouvelle ligne reçut le nom de *Kansas Pacific R.R.* par lequel les fondateurs indiquent que le trajet Kansas City n'est qu'un tronçon d'une ligne qui, elle aussi, saura franchir l'espace qui la sépare de la côte de la Californie. Qui pourrait dire qu'elle n'y atteindra pas? La confiante ardeur des promoteurs de ces entreprises ne fut point trompée. Un nouveau lambeau, plus important cette fois, de terrain à charbon fut découvert à Cañon City, sur l'Arkansas, à 150 milles au sud de Denver, et le *Denver and Rio Grande R.R.* alla en chercher les produits, en même temps qu'une troisième ligne ferrée, se détachant à Topeka du *Kansas Pacific R.R.*, se dirigeait à son tour à travers la prairie, suivant sur plusieurs centaines de milles le cours de l'Arkansas sur lequel le tronçon de Puebla à Cañon City devait lui apporter les charbons de ce bassin. Retardée dans son exécution, cette ligne n'est point encore achevée; elle se termine en ce moment. Mais, avant même qu'elle fût entreprise, avant la construction du *Denver and Rio Grande R.R.*, les hommes qui sont à la tête du progrès dans ce pays étaient allés au sud examiner des affleurements signalés notamment par M. Hayden; ils avaient reconnu des quantités considérables de charbon et prédit, avec raison, à cette contrée une prospérité prochaine. Les détails qui vont suivre montrent la justesse de leurs appréciations et nous conduiront encore plus loin qu'eux dans nos prévisions.

Au sud du petit bassin (8 milles sur 6) de Cañon City mentionné plus haut, on trouve, le long de la chaîne granitique, un certain espace stérile; mais, à une quarantaine de milles au sud de l'Arkansas, à Walsenberg, les granites disparaissent sous un recouvrement de couches presque horizontales, argileuses vers le bas, devenant de plus en plus gréseuses, et contenant, intercalées dans la série, d'importantes couches d'excellente qualité.

Ce système de couches qui, dans son ensemble, appartient au terrain tertiaire, est la continuation sans interruption et en stratification concordante des dépôts crétacés à inocérames, à baculites et sur lesquels il repose. Nulle séparation n'existe ici entre ces deux séries de dépôts et toutes les couches vont plongeant lentement vers la prairie. Dès la fin des dépôts à fossiles nettement crétacés, commencent à apparaître les lits à rognons ferrugineux, précurseurs du charbon, et qui se continuent à fréquentes reprises dans toute l'étendue de la série tertiaire. Le sol du terrain en pente douce qui raccorde le pied des montagnes à la vaste plaine, fournit le long des ravins dus aux cours d'eau, d'excellentes et nombreuses coupes



auxquelles s'ajoutent les renseignements que donnent quelques lambeaux épars, encore existants en saillie sur le relief général.

L'évidence est complète et saisissante.

L'érosion qui a dérasé les dépôts au nord, jusqu'à enlever, même complètement, la série tertiaire, a perdu de sa force le long des montagnes en allant au sud et y a laissé une bande de dépôts dont la largeur et la hauteur vont croissant. A mesure qu'on avance, de nouvelles couches se superposent aux premières et, lorsqu'on arrive à moitié chemin de Walsenberg à Trinidad, on a à sa droite une falaise de plusieurs centaines de mètres de hauteur, qui, à partir de Trinidad même, c'est-à-dire de la rive droite du Purgatory River, se maintient à cinq ou six cents mètres de hauteur, recouverte désormais et protégée, par conséquent, par une nappe de lave de plus de cent mètres d'épaisseur. Rien ne vient troubler la régularité de ces dépôts de matières basaltiques intercalées dans la sédimentation, et de nombreux dykes verticaux qui la traversent n'y occasionnent ni défaut de parallélisme, ni rejets. On y reconnaît, à la partie supérieure, trois couches de houille d'environ un mètre d'épaisseur, manquant bien entendu à Walsenberg; à trois cents mètres plus bas, trois autres couches, dont deux de 1 mètre et l'autre de 1 mètre 80. Au-dessous encore, d'autres couches dont les affleurements très-marqués ne permettent pas actuellement l'évaluation exacte.

Les grès durs qui forment le toit des bancs rendront l'exploitation facile; le charbon est excellent de tous points, et enfin, j'ai été singulièrement frappé de voir qu'il produisait (tout au moins, celui des couches du bas) du coke lourd, dense, graphiteux, dont j'ai exposé un échantillon. C'est là un fait unique, à ma connaissance, pour des combustibles d'âge si récent, et je tenais à le signaler.

Les circonstances dans lesquelles s'accomplissait mon voyage ne m'ont pas permis d'aller plus au sud que Trinidad; j'en suis donc réduit, pour l'extension de ce bassin, à l'estimer d'après les renseignements que j'ai recueillis sur place. Je le fais néanmoins avec une certaine confiance, ayant toujours trouvé, quand j'ai pu les contrôler, la vérification des indications topographiques qui m'étaient fournies. Je considère donc comme à peu près certain que le bassin charbonnier dont je viens de parler s'étend au sud jusqu'à Santa-Fe, ayant une largeur moyenne d'au moins 30 milles, sur une longueur de plus de 200 milles (soit environ 44000 kil. carrés). Mais il y a plus : des indices géologiques multipliés m'avaient amené à penser que ces couches relevées et tranchées le long des falaises devaient, en raison de leur pente, se retrouver plus loin sous le manteau d'alluvion de la prairie. J'ai cherché à vérifier ce fait. Je ne l'ai pu faire directement à la latitude de Trinidad, la population ne s'étant pas encore étendue à l'est. Mais, au droit de Colorado Springs, les empiètements des « *farmers* » sur la prairie sont plus avancés. Le défaut de bois a fait chercher le charbon. On l'a trouvé et de bonne qualité. Des puits de 10 à 15 mètres de profondeur, percés à 10, 15 et 25 milles à l'est de cette ville, fournissent aux habitations voisines un combustible qu'elles y vont chercher au fur et à mesure de leurs besoins.

Le long du *Kansas Pacific R. R.*, à l'est de Denver, de pareilles recherches



ont été faites jusqu'à 85 milles et peut-être plus; elles ont également rencontré le charbon. Il paraît qu'en ces points la qualité s'en est souvent montrée défectueuse; il pécherait notamment par un excès d'humidité. Je crois qu'il est plus voisin du lignite et moins transformé en houille que les charbons du Sud.

D'autre part, à 10° à l'est, par 90° long. O. et 38° lat. environ, près de Fort-Scott (Kansas), il existe des exploitations d'un charbon de tous points analogue à celui du Colorado, et que les chemins de fer voisins se sont empressés, depuis un certain temps, de substituer dans leur exploitation à des combustibles beaucoup plus chers.

En rapprochant ces faits et les voyant si conformes à ce qu'indique *a priori* l'observation, en présence de la régularité des dépôts et du développement extraordinaire des phénomènes géologiques dans ces contrées, je me suis demandé si la prairie tout entière n'était pas un vaste bassin charbonnier. On peut objecter qu'une pareille induction repose sur une base bien étroite; cette objection m'aurait arrêté, en effet, partout ailleurs que dans cette vaste étendue; mais elle perd singulièrement de sa valeur ordinaire dans une pareille région où j'ai retrouvé, à 300 kilomètres de distance, les mêmes couches, dans les mêmes relations, avec les mêmes épaisseurs. En résumé, je considère donc comme très-probable que la région comprise entre les 35 et 45° parallèles et les 94 et 105° méridiens est occupée souterrainement par le prolongement des couches tertiaires que j'ai vues au Colorado, et que ces couches doivent contenir du charbon. Je n'ai pas besoin d'insister sur l'importance de la constatation directe d'un pareil fait : l'esprit pratique des Américains y pourvoira bientôt assurément. Mais, convaincu que les recherches ultérieures confirmeront mes prévisions, je devais, ce me semble, les exposer et signaler de pareilles probabilités aux géographes, surtout à ceux dont les études et les efforts sont plus spécialement dirigés vers les questions de colonisation et de relations internationales. Il ne leur échappera pas, en effet, que le bassin charbonnier dont je viens de vous entretenir, même réduit à la partie immédiatement adossée aux Montagnes, est d'une importance capitale pour l'avenir du continent américain. Ces charbons pourront se répandre au sud-ouest, à l'est et au sud. Les lignes ferrées sont désormais possibles dans la direction du golfe de Californie, aussi bien que dans celle du golfe du Mexique et, des deux côtés, le charbon arrivera jusqu'à la mer. Il arrivera aussi, porté sur rails, jusqu'au Mexique, dans les districts de Chihuahua et de San Luis de Potosi, dont les incalculables richesses minérales sont, depuis trois siècles, inexploitées faute de combustible. La prairie, d'autre part, du Mississippi aux Montagnes Rocheuses, peut désormais être considérée comme conquise à l'humanité et à la civilisation.

Ces perspectives ne sont que les conséquences logiques de ces nouvelles découvertes que j'ai cherché à faire connaître; j'aurais à y ajouter, si cette communication n'était déjà trop longue, comment ce pays producteur de charbon, se trouve doté, en outre, et aussi largement, de mines de fer admirables et de métaux précieux dont la quantité va tous les jours croissant.



Avec un climat exceptionnellement sain et un sol des plus fertiles, une pareille contrée, entre les mains des Américains, nous ménage assurément bien des surprises.

## V

TRACES DE LA PÉRIODE GLACIAIRE  
DANS L'ASIE CENTRALE

Par M. N. SEVERTZOW

J'ai eu l'heureuse fortune de découvrir, en Asie centrale, des traces bien évidentes de la période glaciaire; je les ai entrevues dès mon premier voyage au Thian-Shan, en 1864, en accompagnant l'expédition militaire du général Tscherniaiew, et je les ai observées plus en détail et d'une façon plus exacte pendant mes voyages subséquents, en 1865 et 1868. Ces traces consistent surtout, mais pas uniquement, en blocs erratiques et en restes d'anciennes moraines; mais je dois dire, tout d'abord, que mes observations, dans leur état actuel, ne font que donner un point de départ pour des études plus approfondies à ce sujet et poser quelques jalons d'orientation.

Néanmoins, si imparfaites qu'elles soient, ces observations indiquent dès à présent certains faits et conduisent à des conclusions d'une telle importance pour la géographie physique, que je ne puis m'empêcher de les communiquer au Congrès.

Il suffit de rappeler qu'avant mes observations, les seules traces connues de la période glaciaire en Asie avaient été trouvées au Liban et sur l'Himalaya; mais sur ce dernier point, MM. de Schlagintweit, qui en firent une étude spéciale, n'avaient trouvé d'anciennes moraines qu'à des hauteurs considérables, au-dessus de 10,000 pieds anglais (environ 3000 mètres) et seulement à 150, 200, au plus 300 mètres au-dessous des limites actuelles des glaciers qui tous subsistent encore. Aussi, connaissant les oscillations actuellement considérables de progression et de recul temporaires de la limite inférieure des glaciers dans les Alpes, MM. de Schlagintweit jugèrent-ils ces anciennes moraines insuffisantes pour établir avec certitude la participation de l'Himalaya aux phénomènes particuliers de la période glaciaire. Je n'ai pas en ce moment de données sur les anciens glaciers du Liban; autant qu'il m'en souvient, les anciennes moraines se trouvent à la hauteur des forêts de cèdres, ce qui indiquerait des glaciers de dimensions médiocres, mais démontrerait la période glaciaire au Liban où maintenant il n'existe plus aucun glacier.

A l'est du méridien du Liban, à part l'observation peu concluante sur les vieilles moraines de l'Himalaya, il n'y avait, en définitive, aucune observation



sur l'ancienne extension des glaciers, correspondant aux colossales formations glaciaires déjà étudiées en Europe et en Amérique.

Cette absence de période glaciaire en Asie (sauf le Liban) était-elle réelle, ou seulement apparente? résultait-elle simplement d'un manque d'observation dû au petit nombre des explorateurs, préoccupés d'ailleurs d'un si grand nombre d'autres études importantes dans les immenses espaces qu'ils annexaient à la science?

Tant que cette alternative restait à l'état de question, aucune explication de la période glaciaire en général n'était possible autrement qu'à titre d'hypothèse provisoire : on ne connaissait pas assez l'objet à expliquer; on ne savait pas si l'aire des formations glaciaires était bornée, sur notre hémisphère seulement, par le parallèle de 30° N. environ et par le méridien du Liban. Il est évident qu'aucune explication générale acceptable ne peut s'appliquer indifféremment à ces deux limites si différentes de l'ancienne aire glaciaire et, par suite, aucune explication générale ne saurait être considérée comme suffisamment fondée tant qu'on ignore laquelle de ces deux limites est la véritable.

Les observations que je me prépare à publier en détail, dans l'exposé de mes voyages et de mes recherches asiatiques, publié par notre Société Impériale Russe de géographie, observations dont j'ai l'honneur de présenter au Congrès un résumé très-succinct, ont été rapprochées des observations subséquentes de M. Kropotkine en Sibérie orientale, et de M. Michaëlis près du lac de Zaïsan (1); elles permettent, dès à présent, de conclure que l'Asie à l'est du Liban, ne contraste pas en réalité avec l'Europe et l'Amérique du Nord, quant à la période glaciaire; elle présente, au contraire, les mêmes phénomènes.

Une explication générale, positive et non conjecturale, de la période glaciaire est donc devenue possible par ces nouvelles données géographiques sur l'extension des phénomènes glaciaires à la surface de notre continent.

Il importe d'abord de prouver que je n'ai pas pris, par exemple, des éboulements récents pour d'anciennes moraines, et des pierres roulées par des torrents pour des blocs erratiques glaciaires. Dans ce but, je rappellerai en peu de mots les caractères généraux des formations glaciaires, qui peuvent donner des principes sûrs pour la détermination de ces phénomènes, et ensuite j'exposerai mes observations principales sur les formations du Thian-Shan que je crois glaciaires. Ainsi chaque lecteur de cette notice sera à même de vérifier mes déterminations.

Il est cependant inutile de décrire ici en détail les glaciers actuels dont les phénomènes variés sont la base scientifique de la détermination de toutes les traces connues ou à découvrir encore de l'ancienne période glaciaire; il suffit de rappeler que toutes les formations glaciaires sont dues au transport de blocs et de détritiques de roches par le mouvement des glaciers. Ce mouvement est connu depuis longtemps déjà et il a été étudié et expliqué par plusieurs savants éminents, depuis de Saussure jusqu'à Tyndall. Nous n'insis-

(1) Mes observations datent de 1864-1868; une partie en fut publiée en janvier 1867, et cette première publication fut suivie des observations de M. Kropotkine en 1868, et de M. Michaëlis en 1872.



terons pas davantage sur les caractères particuliers que ces formations doivent au mode de transport des matériaux qui les composent.

L'origine première de ces formations est due à des éboulements de roches et de détritits rocheux sur la surface des glaciers qui remplissent le fond des hautes vallées alpestres; ces éboulements forment sur le glacier des moraines, entassements de pierres, de gravier, de sable et même d'argile mêlés sans aucun ordre et sans aucune stratification. Le mouvement du glacier transporte ces pierres loin des rochers dont elles sont tombées, mais sans déranger leur mode de gisement primitif sur la glace, à moins que celle-ci ne présente des fentes où tombent les pierres; pendant ce transport, d'autres éboulements ont lieu à la surface du glacier, et leur ensemble forme, sur toute la longueur, deux *moraines latérales*; au confluent des glaciers qui occupent les ramifications supérieures des vallées alpestres, ces moraines latérales se continuent en *moraines centrales*; enfin, à l'extrémité inférieure du glacier, la glace qui fond en été fait écouler les extrémités inférieures de toutes les moraines portées jusque-là par le mouvement du glacier et constitue ainsi un amas nommé *moraine frontale*.

Le mouvement du glacier tend évidemment à augmenter en étendue, car pendant qu'il avance, la neige continue à s'accumuler, à fondre, à regeler et à se transformer en glace dans ses parties supérieures; mais cette progression est contre-balancée par la fusion de l'extrémité inférieure et la résultante de ces deux influences contraires est le mouvement définitif de l'extrémité inférieure du glacier qui peut cependant rester stationnaire. Si le glacier avance, par exemple, de 20 mètres par an et se raccourcit d'autant par la fonte, sa longueur restera invariable; c'est le cas le plus favorable pour la production de grandes et belles moraines frontales. Si, avec le même mouvement de 20 mètres par an, il fond seulement de 18, il s'étendra d'autant plus loin que cette proportion durera plus longtemps. La période glaciaire n'a été autre chose qu'un long espace de temps pendant lequel la progression annuelle des glaciers dépassa leur fusion annuelle. Si, enfin, le glacier fond plus qu'il n'avance, il est évident qu'en somme il diminue, malgré son mouvement progressif; ce retrait alternant avec des périodes d'équilibre entre le mouvement et la fonte est marqué par une série de moraines frontales étayées sur la pente du fond de la vallée occupée par le glacier. Si le glacier, dans son mouvement, rencontre un contre-fort transversal de rocher, la glace s'accumule devant cet obstacle jusqu'à en atteindre la crête et elle passe ensuite par dessus. En se retirant par suite de l'excès de la fonte sur la progression, le glacier dépose sur ces crêtes les pierres de ses moraines.

Outre les moraines de la surface supérieure, le glacier porte aussi des pierres, du sable, du gravier enchâssés dans ses surfaces inférieures et latérales; ces pierres et autres détritits sont en partie détachés par le frottement de la glace contre le roc, en partie descendus des moraines dans les fentes du glacier. Tous ces fragments frottent contre les roches sur et entre lesquelles avance le glacier et, vu l'énorme masse de glace dont l'épaisseur se compte par centaines de mètres, ce frottement se fait sous d'effroyables



pressions. Il en résulte que les roches encaissantes reçoivent des cannelures par les grosses pierres dures à demi enchâssées dans la glace, et des stries ou un certain poli par le gravier et le sable adhérant à la surface frottante du glacier.

Tels sont, en peu de mots, les caractères des formations glacières qui m'ont indiqué la présence de ces formations en Asie centrale, sur les pentes et au pied des nombreuses chaînes de montagnes du système du Thian-Shan. Mes observations sont encore trop incomplètes pour avoir déterminé tous ces caractères dans chaque localité observée; il y en a de douteuses, je suis le premier à le reconnaître; mais il y en a d'assez concluantes pour permettre d'établir avec une complète certitude le fait essentiel d'une période glaciaire au Thian-Shan. L'étude de ces localités certaines m'a guidé pour la détermination de traces glaciaires moins évidentes. Ensuite, pour vérifier ces observations, je me suis exercé à chercher dans certaines vallées des Alpes les traces glaciaires dont l'existence y avait été constatée par les savants les plus éminents, mais dont j'ignorais absolument les localités précises. A conditions égales, c'est-à-dire à première vue, mes observations dans ces localités (1) déjà scientifiquement déterminées ne furent pas plus complètes qu'au Thian-Shan. Je reconnus nettement dans les Alpes, si classiques pour les traces qu'elles offrent de la période glaciaire, tout ce que j'avais vu en Asie, et pas autre chose.

Au Thian-Shan, j'ai trouvé la limite inférieure des anciennes moraines frontales les plus basses, à des hauteurs d'environ 2500 à 7000 pieds anglais (700 à 2140 mètres). Les limites de l'extension maximum des glaciers, indiquées par les restes des moraines frontales les plus basses, devaient osciller, selon les localités entre 2500 et 4000 pieds (700 à 1200 mètres); plus loin se trouvent les anciennes moraines déposées pendant le retrait des glaciers jusqu'à leurs limites actuelles, et qui marquent les temps d'arrêt d'un mouvement rétrograde se continuant sans aucun doute depuis fort longtemps. Enfin, la limite inférieure des glaciers actuels et très-clairsemés du Thian-Shan ne descend pas au-dessous de 9000 pieds (2700 mètres) et s'élève à 11000 pieds (3400 mètres environ) pour certains glaciers dont les vallées s'ouvrent sur les hauts plateaux intérieurs. Tel est le glacier de Petrow donnant naissance au Dja-ak-tasch, une des sources du Syr.

La différence de niveau entre les extrémités des glaciers anciens et des glaciers actuels du Thian-Shan est donc énorme : au moins de 1500 mètres (2700-1250) et en moyenne de 2070 mètres (3050-980)! c'est le double de la différence de niveau entre les extrémités des glaciers de Chamounix (1400) et celle de l'ancien glacier du Rhône marquée par les derniers grands blocs erratiques des environs de Lyon (200 mètres); la différence moyenne de niveau entre les extrémités des glaciers anciens et actuels des Alpes est d'environ 1100 mètres (1400-300).

Mais le résultat est tout autre si on compare la diminution d'étendue hori-

(1) J'ai examiné diverses parties de l'immense ancien glacier du Rhône, et les de traces l'ancien glacier qui le rejoignait en descendant du Mont-Blanc par la Forclaz.