

LA GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET LA GÉOLOGIE (1)

par **Ch. de la Vallée-Poussin,**

Professeur à l'Université de Louvain.

Invité à faire une lecture à la séance publique de la classe des sciences de l'Académie, il m'a paru que mes savants confrères s'intéresseraient à quelques considérations concernant les rapports devenus de plus en plus intimes entre la géographie physique et la géologie dans la science de notre temps. Parmi ces relations, il en est qui furent saisies de bien bonne heure; car, dès l'antiquité, les Grecs avaient compris les conséquences de certains phénomènes physiques pour la transformation progressive des contrées, et signalé l'instabilité de ce qui apparaît le plus stable. En voici un exemple classique.

Hérodote, qui avait visité la vallée du Nil et conféré avec les prêtres du pays, nous enseigne que les plaines fertiles de la Basse-Égypte sont le produit des alluvions accumulées de siècle en siècle par le grand fleuve. Il ajoute que ces alluvions comblèrent un golfe de la Méditerranée qui s'étendait primitivement au midi beaucoup au delà du lac Mœris. Il compare ce golfe antique à la mer Rouge, et il calcule le temps nécessaire au comblement de cette dernière mer, si le Nil, se détournant à l'est, y portait désormais ses alluvions (2). Quand il écrit ces choses, Hérodote observe et raisonne exactement comme nous le faisons à l'heure actuelle.

Le même esprit d'observation se révèle çà et là chez les philosophes et les géographes anciens, à propos des divers modes de formation des îles, de la modification séculaire des rivages, de la transformation d'un fond marin en terre ferme et réciproquement.

Dans nos temps modernes et avant notre siècle, les questions du même ordre ont préoccupé un grand nombre de naturalistes. Kircher, Steno, Guettard, Buffon, Giraud-Soulavie, De Luc, Werner (3), pour

(1) Extraits de *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3^e série, t. XXXII, n^o 12, pp. 925-947, 1896.

(2) HÉRODOTE, liv. II, 10, 11.

(3) On doit signaler notamment les vues exprimées par Guettard sur la dénudation continentale. (*Mémoire sur différentes parties de la physique*, t. III, p. 223. Paris, 1774.) Mais l'auteur français n'en avait pas poursuivi les conséquences, comme le fit Hutton quelques années plus tard.

ne citer que peu de noms, ont cherché à rattacher telle ou telle forme topographique aux causes physiques capables de les produire. Leurs explications sont parfois judicieuses. Mais les conceptions hypothétiques avaient le dessus ; les recherches manquaient de suite ; les causes vraiment agissantes n'étaient pas envisagées d'assez près.

Pour trouver la méthode efficace, il faut, semble-t-il, en venir au père de l'école écossaise en géologie, à James Hutton, qui, dès 1785, dans une séance de la Société royale d'Édimbourg, lisait à quelques amis un mémoire où le rôle de l'atmosphère et des eaux sur le modelé toujours changeant du globe était apprécié avec une justesse admirable (1). Alexandre de Humboldt lui-même, si grand maître dans la physique du globe, en percevait moins bien les conséquences sur le relief continental. C'est l'école de Hutton et de ses disciples qui a ouvert nos yeux sur la portée géologique des actions physiques qui nous entourent, actions lentes le plus souvent, mais plus ou moins constantes et générales, et dont l'efficacité est presque sans limites, si l'on accorde un temps suffisant. Ils indiquaient ainsi le chemin qu'il faut prendre pour arracher le secret des transformations géographiques, et relier sans trop d'erreur le présent de la terre à son passé.

Les agents modificateurs de la surface du globe, beaucoup mieux étudiés qu'autrefois, se prêtent à la solution de problèmes géographiques autrement complexes que celui traité par Hérodote. Si ces agents sont les facteurs qui ont donné la dernière main au monde que nous habitons et que décrit la géographie, leur empreinte doit être reconnaissable sur tous les points de la surface où l'homme n'est pas intervenu directement. Démêler ces empreintes, les rapporter à leurs causes, telle est la tâche de l'étude qui nous occupe.

Pour aboutir, elle doit faire appel à diverses branches du savoir. On doit posséder la figure exacte des contrées ; connaître dans une certaine mesure et comprendre leur structure géologique, et finalement apprécier la nature et la valeur des puissances dynamiques qui travaillent la superficie du globe. De grands pas ont été faits de notre temps dans toutes ces directions.

Et d'abord, cette forme extérieure et dernière du globe, avec ses mers et ses continents, ses plateaux et ses vallées, ses plaines basses et ses rivières, dont on essaie d'expliquer la genèse, il en faut avant tout connaître la configuration. Par l'absence des documents et aussi par le manque de méthode, la plupart des anciennes cartes de géographie sont d'un usage très restreint au point de vue physique. Les divisions

(1) *Theory of the Earth*. (TRANS. OF THE ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH, t. 1.) Conf. : James Hutton et la géologie de notre temps. (REV. DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, juillet 1891.)

et subdivisions politiques, les itinéraires, le nom des localités encombrant le canevas qui ne renseigne pas sérieusement les inégalités du sol continental. Une révolution s'est opérée. L'explorateur et le géographe ne sont satisfaits que quand les coordonnées d'un point sont accompagnées des chiffres de son altitude. On n'a épargné ni les voyages, ni les mesures, ni les calculs pour beaucoup de contrées dont on possède le levé sensiblement exact. Je suis heureux de citer la Belgique, avec les cartes terminées de l'Institut militaire, aux échelles du 20,000^e et du 40,000^e, accompagnées de courbes équidistantes de niveau très rapprochées les unes des autres. Comme un exemple entre beaucoup d'autres du parti que l'on peut tirer des cartes donnant les altitudes positives et négatives relativement au niveau de la mer, nous rappellerons les recherches aussi intéressantes que décisives de M. Mac Gée sur les grandes oscillations subies par la plaine maritime des États-Unis depuis l'ère tertiaire (1).

Même les cartes actuelles des régions très éloignées, ou moins avancées et dressées à petite échelle, dénotent la préoccupation scientifique des auteurs. Si l'on consulte les bons atlas généraux, on admire le soin donné à l'orographie et à l'hydrographie des divers continents. On mesure le progrès accompli si l'on compare, par exemple, les premières éditions de l'atlas de Stieler avec celle de 1890, où le grand atlas encore inachevé de Vivien de Saint-Martin avec l'atlas célèbre autrefois de Lapie.

Rappelons aussi les recherches récentes de sondage et de draguage opérées à toutes les profondeurs dans les bassins marins. Elles nous ont appris, du moins dans ses traits généraux, la topographie du fond des océans et des mers intérieures. Il est devenu possible de comparer dans une certaine mesure les reliefs sous-marins aux reliefs continentaux et d'y lire des analogies et des contrastes très suggestifs dans la grave question de l'ancienneté des continents.

Cette représentation plus vraie que nous nous formons de la morphologie terrestre peut écarter, par elle seule, des hypothèses ingénieuses soutenues jadis par des savants célèbres. Ce n'est pas sans raison que M. E. de Margerie a remarqué que la théorie des fuseaux sphériques d'écrasement invoquée par Élie de Beaumont pour classer ses systèmes de montagnes, n'eût pas comporté les développements inutiles que lui donna l'auteur s'il avait eu en mains nos documents cartographiques.

De son côté, la géologie a centuplé ses richesses durant la seconde

(1) Voir le grand mémoire : *The Lafayette formation*, par M^cGée. (UNITED STATES, GEOLOGICAL SURVEY, 12^e Rep., t. I, pp. 347-521) et les cartes attenantes, à l'échelle du cent-millionième.

moitié de notre siècle, les travailleurs constituant une petite armée dispersée dans tous les continents. Le théâtre de l'investigation étendu à tant de régions différentes a fait retrouver partout les systèmes stratigraphiques établis primitivement sur les données fournies en un coin de l'Europe, parce qu'ils sont reconnaissables à distance, par l'évolution graduelle et générale des organismes fossiles qu'ils renferment. Ces systèmes comportent néanmoins des variations régionales auxquelles on ne s'attendait pas : variations graves, parfois embarrassantes, mais éminemment instructives, puisqu'elles répondent aux conditions physiques qui présidèrent à la formation des dépôts. L'interprétation de ces variantes amène naturellement l'observateur à scruter des facies pélagiques, littoraux, lagunaires et d'eaux saumâtres, continentaux, glaciaires, volcaniques, tous susceptibles d'apparaître à un même niveau de l'échelle des terrains. En cherchant à les raccorder les unes avec les autres, on entrevoit peu à peu l'emplacement de l'Océan et des mers intérieures, la configuration des côtes, la distribution des chaînes de montagnes, parfois celle des lacs et des rivières, en un mot la physionomie de la surface en un temps reculé de l'histoire de notre terre. Les draguages pratiqués de notre temps au fond des océans Atlantique, Pacifique, Indien, et de la plupart des mers intérieures, apportent ici leur part de renseignements utiles. Ils ont conduit à classer les dépôts marins actuels comme terrigènes ou comme océaniques : distinction importante, qui projette ses conséquences dans l'analyse des dépôts plus anciens, puisqu'elle fournit une sorte de critère pour supputer à quelle profondeur bathymétrique, à quelle distance de la côte ces dépôts se sont formés.

En s'étendant de la sorte, le champ de l'observation a soulevé, comme on voit, des questions nouvelles, imposé un examen de plus en plus approfondi de la structure du sol et du sous-sol, et il s'en est suivi plus d'une rectification des idées auparavant acceptées sur la nature et la marche des agents de transformation. Parmi ces découvertes de notre temps, qui éclairent d'un jour nouveau les formes géographiques, il faut, selon nous, ranger au tout premier plan celle du rapport existant entre les zones terrestres à couches plissées et converties en chaînes de montagnes, d'une part, et les massifs stables et rigides contre lesquels les premières ont été refoulées et froissées par une poussée latérale. Il en résulte que ces massifs résistants, représentés généralement par les plates-formes et les grands plateaux de nos continents, sont précisément côtoyés par les plus hautes chaînes de montagnes. Le mode de distribution des traits orographiques qui dominent la surface de notre planète rencontre donc ici son explication. Les orientations variées, les liaisons, les grandes bifurcations de

l'Atlas, des Pyrénées, des Alpes et des Apennins, des Carpathes, des Balkans, du Caucase, de l'Indou-Koh, de l'Himalaya, avec ses divergences vers la Chine, l'Indo-Chine et l'Insulinde, des Montagnes Rocheuses, de la Sierra-Nevada, de la Cordillère des Andes, se trouvent ainsi justifiées pour la première fois ! Ed. Suess, l'homme de génie à qui appartiennent ces vues magistrales, confirmées par les études de détail, n'a pas méconnu la part dévolue à l'affaissement dans ces grands mouvements de terrains. Ces affaissements sont impliqués dans l'interruption brusque de certaines chaînes, comme dans la disparition partielle ou totale de plusieurs massifs, actuellement ensevelis sous les mers. L'abaissement d'un paquet de roches le long des failles avait été noté des milliers de fois, mais l'extension que le phénomène peut prendre avait échappé aux observateurs, et l'on ne se doutait pas naguère qu'il fallût rattacher à des effondrements les fosses profondes et beaucoup de découpures des mers intérieures de l'Europe, de l'Amérique, de l'Asie et de l'Océanie. Après quoi il est permis de se demander si la chute verticale des compartiments de l'écorce n'égale pas les redressements sous forme de bourrelets montagneux dans le dessin présent du globe (1).

Nous avons assisté, depuis une vingtaine d'années, à plusieurs de ces modifications des doctrines géogéniques, imposées par le progrès des connaissances et dont les corollaires portent directement sur la géographie physique. Un résultat bien acquis à la science, c'est la prépondérance de la dénudation continentale sur l'érosion côtière dans les modifications de la terre ferme, prépondérance qui échappait au coup d'œil de Lyell. Un autre résultat très moderne de l'investigation en Europe comme en Amérique, c'est le rôle capital réclamé par les glaciers proprement dits au détriment de celui des glaces flottantes dans la formation des immenses terrains de transport qui recouvrent le nord des deux continents, et, chez les glaciers eux-mêmes, l'action puissante d'un terme à peine aperçu des premiers glaciéristes, la moraine profonde, à qui l'on doit faire appel pour rendre compte de la composition et de la structure du sol en Scandinavie, en Allemagne, en Écosse, au Canada et aux États-Unis, pour les territoires contigus aux grands lacs.

Il en est de même avec l'action géologique des courants de l'atmosphère. On savait depuis des siècles que les vents transportent les cendres volcaniques à d'énormes distances et qu'ils entassent des mon-

(1) Conf. sur ce point : E. KAYSER, *Lehrbuch der Geologie*, Erst Th., pp. 422-428, 1893.

tagnes de sable au milieu des déserts ou le long de certaines côtes ; et l'on s'en tenait là. L'idée de leur attribuer un rôle très actif dans la formation des nappes de terres meubles, qualifiées de limon, terres suffisamment perméables, parfaitement appropriées au développement des plantes sous un ciel favorable, et qui recouvrent des millions de kilomètres carrés dans l'ancien et le nouveau continent, cette idée, il y a peu d'années encore, était étrangère aux théories géologiques. A la suite de l'exploration de l'Asie centrale par M. de Richthofen, on a saisi pour la première fois la valeur du transport aérien de la poussière dans l'économie du globe. Appelées de siècle en siècle par les vents d'est et de nord-est dans le bassin du Hoang-Ho, les nuées poussiéreuses l'ont revêtu, sur une énorme épaisseur, de ces fameuses *terres jaunes* qui l'emportent en fertilité sur les terres d'alluvion. Des raisons que nous n'avons pas à rappeler ici décèlent également l'intervention aérienne dans la formation d'une grande partie des limons de l'Europe centrale et occidentale et des deux Amériques (1).

En possession d'idées plus justes sur le mécanisme des changements physiques, les géologues sont plus assurés de leurs inductions quand, après en avoir étudié l'anatomie, ils entreprennent l'histoire d'une région naturelle. Ils apportent ainsi à la géographie savante la méthode et les données qui permettent à cette science de remonter à l'origine des choses qu'elle se contentait de décrire. C'est pourquoi les livres traitant de la géographie physique publiés en Allemagne par Supan, par Günther, par Penck, renferment des chapitres étendus qui seraient à leur place dans un traité de géologie. Le beau livre publié récemment par M. de Lapparent, sous le titre de *Leçons de géographie physique*, est à bien des égards l'œuvre d'un géologue.

Amenée à donner la vraie signification des faits géographiques sur toute la surface du monde, la géologie s'engage dans une carrière pleine de grandeur, mais hérissée de difficultés, et qui réclame plusieurs générations de savants. L'ampleur du domaine à conquérir n'en est pas l'unique raison. Sans insister sur la modification probable de plusieurs de nos vues théoriques au cours d'un inventaire général de la surface des continents, l'application pure et simple des influences dynamiques scientifiquement établies à l'évolution physique d'un pays exigera maintes fois du naturaliste autant de sagacité que de patience, même lorsqu'il se borne aux dernières phases du globe. La difficulté réside dans la superposition des matériaux nouveaux aux matériaux

(1) Conf. BERGHAUS, *Physikalischer Atlas*, 2^e Auf., N^o 4 : Erodierte aeolische Aufschüttung.

d'ancienne date dans tout territoire. Pour éclaircir l'origine et la disposition présente des uns et des autres, on doit communément s'adresser à des facteurs très divers et susceptibles des plus graves oscillations. Car si l'observation des phénomènes actuels est la base de nos inductions les plus certaines, il n'est pas moins avéré que chaque cause modificatrice de la topographie peut changer singulièrement de direction ou d'intensité avec le temps dans le même lieu. Il en découle que l'on ne commente souvent les caractères les plus saillants d'une contrée qu'en partant d'influences très opposées, parmi lesquelles il en est d'entièrement disparues.

Le voyageur qui contemple la physionomie du Sahara algérien, sous son ciel sans nuages balayé par les vents du nord, se rend un compte immédiat de l'absence de végétation, comme de la présence et de l'alignement des dunes de sables ; mais sous de telles conditions climatologiques, il ne s'explique ni la présence d'alluvions desséchées, ni les larges couloirs qui découpent les plateaux, ni le prolongement de ces mêmes plateaux sous forme de buttes isolées et grandioses s'élevant çà et là dans le désert : accidents qui constituent autant de témoins d'un régime très humide et d'une action extrêmement énergique des eaux courantes à la surface de l'Afrique en un temps antérieur (1).

En Belgique, les cours parallèles de la Geete, de la Dyle, de la Senne, de la Dendre, de l'Escaut et de la Lys accusent entre le présent et le passé une discordance analogue. Dans leur traversée du Brabant et des Flandres, toutes ces rivières commencent par couler au nord-est, fait contradictoire avec la pente moyenne du plan territorial actuel, lequel s'incline au nord-ouest vers la mer du Nord.

L'histoire d'un réseau fluvial peut être d'une complication singulière, tant par l'ancienneté de son origine, d'ordinaire très reculée, que par les révolutions qui se sont succédé dans l'atmosphère et par les déformations du bassin qu'il arrose. La reconstitution chronologique de tous ces événements suppose, avec la connaissance approfondie de la géologie du bassin, un tact critique qui n'est pas sans analogie avec celui qu'exige l'interprétation d'un palimpseste. Les hydrographes de nos jours en ont donné de fort bons exemples en retraçant l'histoire de quelques fleuves d'Amérique et d'Europe. On y apprend que tout peut se rencontrer dans l'évolution progressive de certains cours d'eau. Existence de rivières répondant à un relief originaire à demi effacé ;

(1) G. ROLLAND, *Aperçu sur l'histoire géologique du Sahara depuis les temps primaires jusqu'à l'époque actuelle.* (BULL. DE LA SOC. GÉOL., DE FRANCE, 3^e série, t. XIX, pp. 247 et suiv.)

formation postérieure d'autres rivières se rattachant aux modifications subies par le relief primitif; capture des rivières les moins douées au point de vue du volume et de la pente par des rivières voisines en possession de plus d'énergie et qui creusent leur chenal avec plus de rapidité; décapitation d'autres rivières dont les eaux de tête s'écoulent dans un sens opposé à celui qu'elles suivirent d'abord; partage d'un affluent, jadis continu, en tronçons désormais indépendants: la plupart de ces vicissitudes se révèlent dans l'hydrographie des Alleghanys et des contrées avoisinant les grands lacs de l'Amérique, comme aussi dans les bassins de la Seine, du Rhin et de diverses rivières d'Allemagne (1).

Si, comme l'écrivit le botaniste Turpin, l'on ne comprend bien les choses qu'à la condition de savoir comment elles sont arrivées, on devine combien de problèmes complexes les investigateurs auront à résoudre avant de nous transmettre l'intelligence de la géographie universelle! Quoi qu'il en soit de cette longue échéance, la marche des découvertes accomplies touchant l'origine topographique de plusieurs contrées est de nature à encourager. Elle montre que les observations précises faites en un canton sont parfois applicables à des régions tout entières. Elle enseigne aussi qu'en dépit de ses préjugés et de ses tâtonnements immanquables, l'intelligence humaine, grâce à quelques données bien comprises, est ramenée un jour en face de phénomènes dont elle ne soupçonnait pas la portée, et qui éclaircissent du même coup l'origine de beaucoup de pays.

Les recherches concernant le terrain erratique du Nord et sa signification véritable sont des plus instructives à cet égard. Rappelons-en l'histoire en raccourci.

Voilà un terrain qui tapisse les plateaux sur une surface colossale dans le nord de l'Europe et de l'Amérique. Sa dénomination rappelle les blocs de roches de provenance exotique qu'on y rencontre à chaque pas. Il a sa topographie et ses paysages, qui ne ressemblent pas à d'autres. En Suède et en Finlande surtout, c'est une région de lacs, d'étangs, de marais alignés vers le sud, entourés de collines formées de granits et de gneiss; collines basses, mamelonnées, polies ou sillonnées de cannelures profondes et de stries: l'extrémité de ces collines tournée vers le nord s'abaissant en pente très douce, tandis que l'extrémité opposée se termine invariablement par une pente raide. Des fragments pierreux de transport, parmi lesquels des blocs de granit de

(1) Conf. DE LAPPARENT, *Leçons de géographie physique*, 10^e leçon, pp. 181-205; 24^e leçon, pp. 539-563 et *passim*.

la grosseur d'une maison, sont éparpillés sur la surface ou entassés en monticules. Rien de mieux marqué que le parallélisme de tous les traits du paysage : lacs, marais tourbeux, collines mamelonnées, amas de débris sont orientés systématiquement vers le sud. Là aussi apparaissent les accumulations, étranges nommées *æsars* par les habitants. Ce sont des levées rectilignes ou légèrement sinueuses, portées à 40, 50 mètres au-dessus du plateau et composées d'argile, de sable, de fragments de blocs. Elles rappellent des chaussées gigantesques, parfois d'énormes remblais de chemin de fer. Elles persistent sur 50, 80, 100 kilomètres de longueur et gardent une allure qui semble indépendante du sol qui les porte. Elles passent avec indifférence sur les renflements et les dépressions de la surface, comme au travers des lacs et des étangs qu'il leur arrive de couper en deux.

Plus avant au midi, les débris superficiels de plus en plus abondants finissent par recouvrir entièrement les terrains cristallins et paléozoïques. On arrive à des collines plus ou moins elliptiques (*Drumlins* des Américains) où intervient une des roches les plus significatives que l'on connaisse en lithologie : l'*argile massive à blocs* ou *Boulder clay* des Anglais. C'est un composé d'argile siliceuse ou marneuse enveloppant, avec la plus grande irrégularité et dans toutes les positions imaginables, des morceaux en partie arrondis, polis et striés, en partie anguleux, des roches cristallines les plus variées.

En Allemagne, cette argile à blocs, extrêmement développée, forme des lits imperméables qui supportent des milliers de lacs et de marais. Elle aboutit à plusieurs zones de collines qu'on peut suivre sans interruption notable sur 1,000 kilomètres de distance entre la Vistule et l'Elbe. Ces collines, aux contours généralement aplatis et arrondis, sont jetées en travers des plaines allemandes de la manière la plus capricieuse. Il en est d'isolées, d'autres sont sinueuses et ramifiées. Le plus souvent elles se séparent pour se rejoindre ailleurs, laissant entre elles des espèces d'entonnoirs, des dépressions sans issue où dorment des flaques d'eau. Le géologue s'aperçoit d'emblée que les facteurs habituels, l'érosion aérienne et l'eau courante, n'ont pas façonné ces allures excentriques. Le réseau très complexe de petites rivières et de ruisseaux qui serpentent entre ces éminences s'est évidemment superposé à un relief auquel il n'a pas contribué. D'où la conclusion que la figure et l'agencement des collines sont originaires. A s'en rapporter à leur disposition générale, on est tenté de les rapprocher des monticules si irréguliers des grandes dunes. Mais cette première impression ne tient pas. On n'a pas affaire à des amas de poussières ou de sables mobiles, mais à des agglomérats confus de sables et de boue entremêlés.

à des cailloux, à des fragments rocheux des plus variés, où surgissent des blocs volumineux dont l'origine septentrionale est indubitable.

En somme et à l'embrasser dans l'ensemble, la topographie de l'erratique implique la présence autrefois d'un agent d'excavation, de friction et de transport doué d'une puissance incomparable.

Les premiers savants qui s'enquirent en naturalistes du mystère de ces masses de transport s'aperçurent promptement que les roches fondamentales des pays entourant le golfe de Bothnie y avaient fourni un large contingent. Afin d'expliquer leur dispersion, ils invoquèrent des courants d'eau d'une violence inouïe partis du Nord; une débâcle diluvienne, suivant une de leurs expressions, qui aurait balayé une moitié de notre continent avant l'ère actuelle. C'est ce que pensaient des maîtres de la science, tels que Léopold de Buch, Haussmann, Buckland, d'Aubuisson.

Pendant le terrain erratique portait inscrite dans les détails de sa structure la signature d'un instrument physique : la glace, entièrement méconnu de ces hommes illustres. On la lit dans le polissage des roches, dans les stries gravées sur des milliers de spécimens, comme dans la composition spéciale de l'argile à blocs. Mais en partant des agents physiques qui règnent actuellement en Finlande et en Allemagne, on n'eût jamais débrouillé l'hiéroglyphe. La leçon vint d'ailleurs. Elle arriva de quelques districts de l'Oberland suisse, qu'explorèrent alors Agassiz et Charpentier. Des premiers ils signalèrent dans les pierres de l'erratique du Nord des effets mécaniques semblables à ceux que produisent les glaciers actuels des Alpes. Ils provoquèrent une volte-face des théories qui gagna peu à peu l'opinion générale (1).

Il faut convenir en effet que les parois de roches mamelonnées et rayées où sont encastrés les glaciers de la Suisse, de même que les amas confus et si caractéristiques de leurs moraines, sont les analogues incontestables de beaucoup de surfaces rabotées, de beaucoup de collines confuses de l'Europe septentrionale. Mais si l'on compare la

(1) *Untersuchungen über die Gletscher*, 1841, p. 286 — DE CHARPENTIER. *Sur l'application de l'hypothèse de M. Venetz aux phénomènes erratiques du Nord*, BIBL. UNIVERS. DE GENÈVE, nouv. série, t. XXXIX, 1842. Auparavant et dès 1832 (*Leonhard und Bronn's Jahrbuch*, p. 258), un Allemand, A. Bernhardi, avait exprimé, dans une courte note, l'opinion que l'erratique du nord de l'Europe pouvait être l'œuvre d'un glacier s'étendant des régions polaires jusqu'en Allemagne. Conf. *Gletscher Theorie oder Drift Theorie in Norddeutschland*. G. BERENDT. (*Zeits. der Deutsch geolog Gesels.*, t. XXXI. pp. 2-3). Dès 1836, le Suédois Sefström attribuait les stries gravées sur les roches de son pays à la glace. Conf. PENCCK, *Die Geschiebe Formation Norddeutschlands*. (OP. CIT., p. 129.)

topographie des contrées, on découvre entre les deux régions un contraste absolu, au premier abord inexplicable. Les glaciers alpins, entourés de montagnes de plusieurs mille mètres d'altitude, sont enchâssés dans des vallées étroites et profondes où sont concentrés tous leurs matériaux de transport; tandis que les produits glaciaires du nord de l'Europe et de l'Amérique s'étalent à la surface de plaines et de plateaux d'une étendue immense et d'un relief des plus monotones. Comme paysage, il est difficile d'imaginer quelque chose de plus opposé que les environs de Zermatt ou d'Interlaken, et ceux de Malmo en Scanie, ou de Dramburg en Poméranie.

Dans l'espoir de concilier ces divergences, on invoque la théorie du *Drift* ou des glaces flottantes, qui régna trente ans dans la science (1). On admet que l'erratique de la Russie et de l'Allemagne a été déposé par des glaces flottantes, émanées des anciens glaciers de la Scandinavie, chargées des roches de ce pays, et qui en fondant déposaient leur chargement pierreux sur le lit d'une vaste mer réduite aujourd'hui aux proportions de la Baltique. Ainsi pensait-on expliquer la dispersion des matériaux glaciaires sur des plaines sans bornes, en même temps que la distance très considérable, plus de 1,000 kilomètres, où gisaient certains blocs erratiques de leur point de départ. Un autre trait physique propre au terrain erratique du Nord semblait aussi trouver son explication dans la théorie du *Drift*. C'est l'insertion habituelle, parmi les matériaux où l'action mécanique de la glace est manifeste, de couches de sable ou d'argiles nettement stratifiées dont il est impossible de nier la formation sous l'eau.

On se trompait. L'examen plus méthodique des masses minérales remaniées par les glaciers du continent, en faisant connaître à la fois leur immense extension et leurs fluctuations plus étonnantes encore à l'époque quaternaire, allait dévoiler le commentaire rationnel du pays erratique.

Le résultat le plus inattendu de l'exploration minutieuse des Alpes suisses et tyroliennes est d'établir, d'après des points de repère incontestables, l'énorme extension qu'y prirent les glaciers à deux reprises

(1) L'idée d'expliquer, à l'aide d'un transport par les glaces flottantes, la position de certains dépôts où l'action glaciaire est visible, mais qui sont situés à une grande distance des glaciers actuels, remonte à Ch. Lyell qui, dès 1835, la mettait en avant pour rendre compte de la distribution des blocs erratiques de provenance alpine disséminés sur les hauteurs du Jura. Peu de temps après, on s'inspira de la même idée pour expliquer la dispersion des blocs erratiques et la plupart des dépôts de transport quaternaires du nord de l'Europe et de l'Amérique. A part Agassiz, Charpentier, Sefström, G. Rose, cette opinion domina tout à fait chez les géologues jus- qu'après 1875.

durant l'époque quaternaire ancienne, ces deux phases glaciaires étant séparées par une phase interglaciaire, où prédomina le phénomène de la fusion et durant laquelle les glaces se retirèrent jusqu'au cœur des montagnes. Lors des grandes extensions, le système alpin tout entier fut incrusté par une carapace de glace qui n'était dépassée que par la cime de quelques pics, et qui débordait notamment au sud du Wurtemberg et de la Bavière. Elle rencontrait là un pays de plateaux de moyenne hauteur, où elle épanouissait largement ses moraines profondes et terminales. Après leur disparition, les glaces y abandonnèrent un espace étendu auquel elles avaient imprimé une configuration originale, fort rapprochée de celle des plaines du Nord. C'est une région de lacs et de marais tourbeux enclos de collines ayant la composition des moraines et distribuées en opposition avec les règles habituelles de l'orologie.

Mêmes conclusions des glaciéristes en ce qui concerne la Norvège et la Suède. La grande péninsule du Nord fut ensevelie, comme l'est actuellement le Groënland, sous une coupole de glace atteignant 1,000 mètres et même 1,700 mètres d'épaisseur en certains points. Là aussi on tient les preuves de deux phases d'avance énorme des glaciers, séparées par une période de fusion générale et de recul presque total de la nappe glaciaire. Si lors de ses avances cette nappe conservait un *minimum* de six à sept cents mètres de puissance en abordant les rivages de la Baltique, comme le dit Helland, elle n'a pu s'y arrêter. Elle a comblé et traversé cette mer, dont la profondeur moyenne actuelle ne dépasse pas 67 mètres, d'après Krummel ; et le fossé franchi, l'énorme masse plastique s'étendit sans obstacle sur les bas plateaux et les plaines de la Russie et de l'Allemagne. Dès lors, la plupart des caractères géologiques et topographiques de ces contrées, y compris leur parallélisme habituel, se lient, soit à l'avance des immenses glaciers continentaux qui descendaient lentement autrefois du centre scandinave, soit au recul de ces glaciers et au ruissellement abondant de leurs eaux de fusion (1).

(1) Le géologue scandinave Torell est le premier savant qui, familiarisé avec les terrains de transport du nord de l'Europe, ébranla l'hypothèse du *Drift* et attribua les caractères dominants du terrain erratique de l'Allemagne à l'extension pure et simple d'un immense glacier parti des centres montagneux de la Norvège. C'est à la suite d'une excursion faite en compagnie de Berendt aux calcaires triasiques moutonnés et striés de Rudersdorf, près de Berlin, qu'il se décida à déclarer son opinion à la Société géologique allemande : séance du 3 novembre 1875. (ZEITS. D. DEUTSCHE GEOLOG. GESELL., XXVII, p. 961.) Depuis lors, les études de Helland, Berendt, H. Credner, A. Penck, J. Wahnshaffe et d'autres savants, ont fixé définitivement l'explication glaciaire, appuyée sur des observations multipliées faites dans diverses régions de l'Allemagne, depuis la Saxe jusqu'à la mer Baltique.

Or, les recherches persévérantes des glaciéristes scandinaves et allemands prouvent bien qu'il en est ainsi. Les accidents propres à l'erratique de la Suède rappellent entièrement les effets constatés tantôt à la base, tantôt à l'extrémité inférieure des glaciers de notre temps, comme les sables stratifiés qui s'y intercalent rappellent les dépôts de ces mêmes glaciers remaniés par les eaux provenant de la fusion de la glace. Les mêmes accidents se répètent au delà de la Baltique, en Russie et en Allemagne, avec les mêmes caractères, la même ordonnance ; les uns et les autres dérivent nécessairement de causes semblables. Labourage inégal, polissage et rayure du soubassement rocheux ; formation de l'argile massive à blocs par suite du mélange de la boue provenant de la trituration des roches et des fragments de composition variée, les uns transportés de loin, les autres arrachés à très peu de distance ; accumulation des matériaux de transport sous la forme de collines dépourvues d'un agencement régulier : tous ces traits de nos glaciers alpestres se répètent sans exception dans le terrain erratique, Seulement, ils y sont réalisés sur une échelle proportionnée à l'épaisseur, à la largeur, à l'uniformité d'une couverture de glace dont le front se développait sur des milliers de kilomètres.

Les protubérances à pentes douces en amont, raides en aval, les mares d'eau, les tas de boue pétrie de fragments qu'un glacier des Alpes ou du Tyrol met à découvert quand il se replie en arrière au fond de sa vallée, sont la miniature des collines entrecoupées de lacs et d'étangs, des immenses nappes d'argile à blocs de la Suède, de la Finlande ou de l'Allemagne jusqu'au delà de Berlin. Les ruisseaux alimentés par l'eau provenant de la glace fondue et qui circulent en dessous de nos petits glaciers de l'Europe centrale, étaient remplacés jadis au nord par des rivières sous-glaciaires d'un volume considérable. Leurs anciens lits ressortent aujourd'hui sous la forme des longues chaussées des *œsars* (1). Les lits sableux, parfois associés à des débris de plantes et à des restes d'animaux, qui reposent sur les dépôts de la première et de la deuxième époque glaciaire, répondent à la recrudescence du ruissellement qui couvrait presque toute la surface quand

(1) Le mode d'origine assigné à ces formations singulières a été proposé par Holst. Il est accepté généralement par les glaciéristes européens. (BERENDT, *Asarbildungen in Norddeutschland*. ZEITS. D. DEUTSCHE GEOLOG. GESELL., XL, pp. 683 et suiv.) Les géologues écossais l'adoptent aussi pour leurs *Eskers* (J. GEIKIE, *The Great Ice Age*, 2^e édit., p. 209) ; les Américains, pour les *œsars* de leur pays, et ils attribuent un mode de formation plus ou moins analogue à leurs *Kames*. (CHAMBERLIN, *Preliminary Paper on the Terminal Moraine of the second glacial Epoch*. UN. ST. GEOLOG. SURVEY, 3^e Rép., pp. 299-300). Il reste toutefois quelques points douteux relativement à la genèse des *œsars* du nord de l'Allemagne.

la modification du climat amena par deux fois la destruction des grandes glaces.

D'autre part, il est impossible de méconnaître la composition des moraines dans les chaînes des collines qui se suivent à plusieurs reprises entre la Vistule et l'Elbe. Elles constituent les moraines terminales de l'ancien glacier quaternaire. Leur distribution désordonnée correspond précisément à cette origine ; car assujettis à des avances et et à des reculs fréquents, les glaciers déchargent tour à tour leurs moraines en des points différents, et il leur arrive de les jeter un jour au travers des talus formés par les amas antérieurs, laissant dans l'intervalle des creux sans écoulement (Lapparent). Les deux ou trois séries de collines quaternaires de l'Allemagne dessinent donc les étapes et les oscillations prolongées du grand glacier, lors de sa retraite définitive.

Toutes ces conclusions s'appliquent au terrain erratique de l'Amérique comme à celui de l'Europe ; les géologues des deux continents ont contribué à les établir, et l'on peut dire qu'ils se sont tendu la main des deux côtés de l'Atlantique.

En résumé, une région septentrionale distinguée par des caractères spéciaux, et notamment par l'extrême abondance des roches entraînées de très loin, s'offre à l'observation. Les savants, pour l'interpréter, commencent par s'adresser à l'agent de transport le plus général et le plus puissant qu'ils connaissent, à l'eau courante, et ils lui accordent, pour cette occasion, un volume incomparable. Un peu après, des observations faites avec toute la précision scientifique, dans une région éloignée et très différente de la première, accusent un agent matériel et un mode de transport auxquels on ne songeait pas, et dont les signes se retrouvent avec évidence dans la contrée septentrionale. Mais le contraste des conditions topographiques entre les deux régions est porté à ce point qu'il semble impliquer entre elles l'incompatibilité des causes modificatrices de la surface. Naît alors l'hypothèse des glaces flottantes, qui persiste jusqu'au moment où, sous la poussée de données positives de plus en plus nombreuses et étendues, le phénomène glaciaire apparaît dans toute sa majesté aux yeux du savant. La nappe diluvienne de Buckland et de d'Aubuisson est convertie en une nappe, plus grande peut-être, mais faite de glace, qui a laissé ses témoignages authentiques.

Quand Hérodote apercevait les conséquences géographiques de l'apport séculaire des alluvions du Nil, il contemplait un moteur à l'œuvre ; la nature du travail et les résultats étaient sous ses yeux. Nous allons plus loin. Avec la même certitude que le grand historien de la Grèce, nous savons rapporter la figure de plusieurs contrées à des

influences qui ne s'y manifestent plus depuis des milliers d'années ou de siècles, et que l'homme n'a jamais aperçues. On voit alors comment des causes multiples, prochaines ou lointaines, les inégalités et l'altitude des terres émergées, les avances et reculs des mers, les variations du climat, ont travaillé de concert à la richesse de détails, à la diversité pittoresque, au trésor de ressources que possède aujourd'hui notre terre. En progressant dans ces nobles études, on admirera davantage le monde où nous sommes placés parce que l'on en comprendra mieux la préparation et l'adaptation providentielle à la destinée des peuples. Oswald Heer, le célèbre professeur de Zurich, en méditant sur l'enchaînement harmonieux si frappant dans le développement du globe, se rappelait les symphonies de Beethoven, dont l'auditeur, disait-il, n'est pas toujours capable d'apprécier le plan artistique. Bien des siècles auparavant, saint Augustin entendait dans la suite des âges le chant d'un ineffable musicien, *ineffabilis modulatoris carmen*. Heureux, dirons-nous, ceux-là qui, saisis d'admiration devant ce concert des choses créées, s'élèvent d'esprit et de cœur vers l'Artiste invisible et tout-puissant qui en a ordonné les instruments et la marche (1) !

(1) O. Heer, *Le monde primitif de la Suisse*. Traduction française, p. 771. — S. AUGUSTINI, *Ad Marcellinum*. Op. II, p. 615A. Ed. Gaume.
