de l'Écosse (1), et le général Sabine raconte que lorsqu'il était en Norwège, en 1823, des barils d'huile de palme appartenant à un vaisseau qui avait fait naufrage l'année précédente au cap Lopez, sur la côte d'Afrique, furent recueillis sur le rivage voisin du cap Nord. Il paraît très probable que ces barils d'huile ont dû d'abord traverser l'océan Atlantique de l'est à l'ouest dans le courant Équatorial, qu'ils ont ensuite décrit le circuit des Antilles, et finalement ont de nouveau traversé l'Atlantique, effectuant ainsi un voyage de près de trois mille lieues. Et ce n'est pas là un fait isolé. Nous lisons dans l'intéressant ouvrage du lieutenant Maury sur la *Géographie physique de la Mer*, que deux bouteilles ayant été jetées à l'eau sur la côte occidentale d'Afrique, au sud de l'équateur, l'une d'elles fut retrouvée à Guernesey, dans le canal anglais, et l'autre, sur le rivage de la Trinité, à l'entrée de la mer des Antilles. Une autre bouteille, nous dit-il, qui avait été jetée à la mer au cap Horn, par un capitaine de navire américain, en 1837, vint échouer sur la côte d'Irlande.

Il résulte clairement de ces faits que, par l'action des courants marins, les productions d'un pays peuvent être transportées dans un autre qui en est fort éloigné. Les géologues ne manquent point de faire usage de cette importante conclusion lorsqu'ils trouvent des restes d'animaux et de végétaux de différents climats associés dans les mêmes strates de la terre.

(1) *Mantell's Wonders of Geology*, p. 70.

CHAPITRE IV.

THÉORIE DE LA DÉNUDATION. — CONCLUSION.

GLACIERS. — LEUR NATURE ET LEUR COMPOSITION. — LEUR MOUVEMENT INCESSANT. — LEUR PUISSANCE COMME AGENTS DE DÉNUDATION. — BANCS DE GLACE. — LEUR NOMBRE ET LEUR VOLUME. — BLOCS ERRATIQUES ET GRAVIERS DISSÉMINÉS SUR LES MONTAGNES, DANS LES PLAINES, DANS LES VALLÉES, AU FOND DES MERS. — MARQUES CARACTÉRISTIQUES DU MOUVEMENT DES GLACES. — PREUVE DE L'ANCIENNE ACTION DES GLACES. — LES ALPES. — LES MONTAGNES DU JURA. — APPLICATION DE LA THÉORIE AU NORD DE L'EUROPE. — L'ÉCOSSE, LE PAYS DE GALLES, L'IRLANDE. — LE FAIT DE LA DÉNUDATION ÉTABLI. — APPLICATION DE L'ARGUMENT SUGGÉRÉ PAR CE FAIT. — LE CREUSEMENT DES VALLÉES TÉMOIGNE DE L'ANCIENNE DÉNUDATION. — PREMIER PAS DANS LA THÉORIE GÉOLOGIQUE.

Le premier agent de dénudation sur lequel nous avons maintenant à appeler l'attention de nos lecteurs est un de ceux dont notre pays ne fournit aucun exemple, mais que l'on peut voir en pleine opération au milieu des scènes sauvages et grandioses de la Suisse. Nous ne croyons mieux pouvoir aborder ce sujet qu'en reproduisant les paroles enthousiastes d'un grand poète, dans lequel un ardent amour de la nature s'unissait à un profond sentiment religieux. Comme il se tenait au milieu des montagnes neigeuses qui entourent la vallée de Chamounix, son esprit, « dilaté par le génie du lieu, » s'éleva des scènes exposées à ses yeux au grand et invisible Auteur de tout ce qui est beau et sublime dans la nature. Il en résulta cet hymne

bien connu de louange et d'amour, dans lequel il apostrophe comme il suit les massifs glacés du Mont-Blanc :

« Rivières de glaces qui, du sommet de la montagne, glissez le long d'énormes ravins, courants que la voix du Tout-Puissant arrêta sans doute dans votre chute vers de vastes abîmes ! torrents immobiles ! cataractes silencieuses ! qui donc vous fit beaux comme les portes du ciel sous l'ardent éclat de la pleine lune ? Qui commanda au soleil de vous faire reproduire les teintes variées de l'arc-en-ciel ? Qui répandit à vos pieds des guirlandes de fleurs du plus bel azur ? Dieu ! — Glaciers, répondez, et vous, échos, répétez : Dieu ! Que les ruisseaux des prairies chantent gaiement, que les pins du bosquet dans leur langage vibrant et animé, que les monceaux de neige dans leurs formidables avalanches, que tous ceux qui ont une voix redisent de concert : Dieu ! (1). »

Un *glacier* est une énorme masse de glace remplissant une vallée et s'étendant depuis les neiges éternelles qui couronnent les sommets des montagnes jusqu'aux riantes campagnes et aux riches pâturages des plaines. Il est constamment alimenté par les neiges accumulées de l'hiver, qui, glissant et roulant sur les flancs des montagnes, s'arrêtent dans les vallées inférieures et là sont converties en glace. Car l'on doit se rappeler que le glacier proprement dit ne s'étend pas ordinairement à plus de 3,000 mètres au-dessus du niveau de la mer. Au delà de cette élévation, la glace compacte et massive se transforme graduellement en neige gelée que l'on appelle en France *névé* et en Allemagne *firn*. Le changement qui s'opère dans la condition de la neige, à mesure qu'elle descend dans la vallée, tient surtout

(1) *A hymn before sunrise in the vale of Chamouni*, par Samuel Taylor Coleridge.

à deux circonstances : premièrement, à la pression exercée par la masse des neiges supérieures sur les neiges inférieures, qui acquièrent ainsi de la compacité; secondement, à la fusion produite à la surface par la chaleur du soleil pendant les jours d'été, et au *regel* qui y succède pendant la nuit. Tout écolier reproduit sur une petite échelle ce phénomène naturel. Lorsqu'il fait une boule de neige, il convertit pratiquement une masse de neige en glace, et cela par une série d'opérations parfaitement ressemblantes à celles qu'emploie la nature dans la confection d'un glacier.

En Suisse, les glaciers ont souvent une largeur de 3 ou 4 kilomètres, sur 30 à 40 kilomètres de long et 150 ou 200 mètres de profondeur. Malgré cet énorme volume, ils ne sont pas fixes et immobiles, comme on pourrait se l'imaginer. Ils se meuvent au contraire d'une façon incessante, mais lente, vers le bas de la vallée qu'ils occupent, dans la mesure de quelques pouces, — quelquefois d'un ou deux pieds et même plus, — par jour. Au Groënland, un glacier exploré par le docteur Hayes, dans son expédition au pôle nord, se mouvait, nous assure le savant voyageur, avec une vitesse moyenne de cent pieds par jour. On pensera peut-être que ce fait demande une nouvelle confirmation ; quoi qu'il en soit, il est bien sûr que le langage du poète, lorsqu'il appelle les glaciers des « torrents immobiles », n'est pas rigoureusement exact dans le sens scientifique, bien qu'il donne une idée juste et belle de l'aspect qu'ils présentent à l'œil. C'est même parce que les glaciers ne sont pas immobiles qu'ils constituent de puissants agents de dénudation.

Sir Charles Lyell donne un court aperçu de leur action sous ce rapport. « Elle consiste, dit-il, en partie dans le pouvoir qu'ils ont de transporter du sable, du gravier et d'énormes pier-

res à de grandes distances, et en partie dans celui qu'ils possèdent d'aplanir, de polir et de strier leur canal rocheux, ainsi que les flancs des vallées qu'ils parcourent. Au pied de chaque escarpement ou précipice, dans les hautes régions des Alpes, se voit un talus composé de fragments de roches détachés par l'action alternative de la gelée et du dégel. Si, au lieu de s'accumuler sur un point stationnaire, ces débris viennent à tomber sur un glacier, ils se mettront en mouvement avec lui et, dans la suite des années, au lieu de former un seul monceau, ils se développeront en une longue traînée de blocs. Pour un glacier de vingt milles (32 kilom.) de long et dont la progression annuelle serait d'environ cinq cents pieds (150 mètres), il faudra près de deux siècles pour qu'un bloc ainsi logé dans la surface glacée et partant des hautes régions atteigne la pointe inférieure ou l'extrémité du glacier. Ce point final ne change pas ordinairement d'une année à l'autre, quoique toutes les parties du glacier soient en mouvement, parce que la liquéfaction causée par la chaleur est exactement suffisante pour contre-balancer l'effet de la progression de la masse, — effet comparable à celui qu'offrirait une file interminable de soldats qui, se dirigeant vers une brèche, y tomberaient morts aussitôt leur arrivée.

« En Suisse, on a donné le nom de *moraines* à ces accumulations de pierres que transportent les glaciers. On voit toujours une ligne de blocs sur chacun des côtés du courant glacé, et souvent même il en existe plusieurs rangées au milieu, où ils couronnent une série de monticules de neige et de glace dont la hauteur atteint parfois plusieurs mètres. La saillie persistante de ces monticules au-dessus du niveau général doit être attribuée à la non-liquéfaction de la glace dans les parties de la surface du glacier qui sont protégées contre les rayons du soleil,

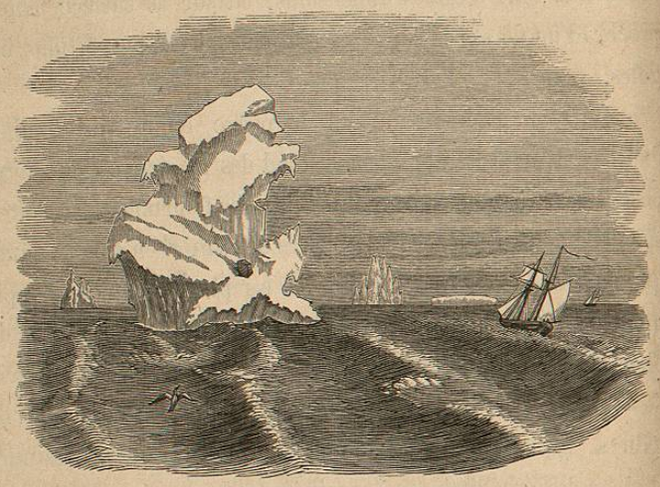
ou contre l'action du vent, par une couverture de terre, de sable et de pierres. Agassiz expliqua le premier la formation des *moraines médianes* en les rapportant à la confluence de glaciers tributaires. Lorsque deux courants de glace se réunissent, la moraine latérale de droite, que fournit l'un des courants, vient en contact avec la moraine latérale de gauche, apportée par l'autre glacier, et puis ces deux moraines se meuvent ensemble au centre de la masse, si les glaciers confluents sont d'égales dimensions, ou sur la surface la plus proche d'un de ses côtés, si ces glaciers ont des proportions inégales.

« Le sable et les fragments de pierre tendre qui tombent dans les fissures et atteignent le fond des glaciers où ils s'interposent entre la glace mouvante et la roche fondamentale, frottent sur celle-ci de manière à être broyés et réduits en limon, tandis que les fragments les plus gros et les plus durs n'ont simplement que leurs angles émoussés. On remarque aussi que des blocs poussés entre la glace et les roches encaissantes du glacier deviennent, comme le canal rocheux qui constitue le fond des vallées, lisses, polis, rayés de sillons parallèles ou de rainures et de stries produites par des minéraux durs, tels que des cristaux de quartz, qui agissent comme des diamants sur le verre. Cet effet est complètement différent de celui qui résulte de l'action de l'eau ou d'un torrent limoneux entraînant de lourdes pierres, car celles-ci n'étant pas tenues fixes comme les fragments de roches encroûtés dans la glace, et n'étant pas poussés sous une forte pression, ne peuvent creuser de longs sillons rectilignes ou des stries parallèles entre elles. La découverte de pareilles marques à diverses hauteurs, bien au-dessus de la surface des glaciers existants, et à plusieurs kilomètres de leurs

bornes actuelles, fournit la preuve géologique qu'en Suisse et dans plusieurs autres contrées la glace s'est étendue bien au delà de ses présentes limites (1). »

Il arrive cependant, surtout dans les contrées situées sous de hautes latitudes septentrionales ou méridionales, que des glaciers descendent jusqu'à la mer. Dans ces cas, d'énormes fragments de glace se mettent à flotter et sont emportés vers l'é-

Fig. 9.



Bancs de glace au milieu de l'Océan.

quateur par les courants, avec leur lourde charge de gravier, de limon et de roches. Un nombre considérable de ces îles flottantes de glace, connues sous le nom de *montagnes* ou de *champs de glace*, sont aperçues des marins dans les mers boréales et australes. En 1822, Scoresby compta, sous les 69e et 70e degrés de latitude nord, cinq cents de ces monta-

(1) *Principes de Géologie* de Lyell, t. I, p. 493-495.

gnes flottantes, dont plusieurs mesuraient 1,600 mètres de circonférence et s'élevaient à deux cents pieds au-dessus de la surface de la mer. Le dessin ci-joint, emprunté, avec la permission de l'auteur, aux *Principes de Géologie* de sir Charles Lyell, donne une bonne idée de l'aspect que présentent à l'œil ces champs de glace. Celui qui est représenté sur le premier plan atteignait, croit-on, une hauteur de près de trois cents pieds. Il fut aperçu, au milieu de beaucoup d'autres, dans les mers du sud, à une distance de 1,400 milles de toute terre connue. On voyait à sa surface une masse angulaire de roche. La partie visible avait douze pieds de haut, sur cinq à six de large ; mais la teinte rembrunie de la glace environnante indiquait qu'une bien plus grande portion de la pierre était dérobée à la vue.

Pour se faire une idée de la prodigieuse grandeur de ces lourdes masses, il faut savoir que le volume de la glace située au-dessous du niveau d'eau est environ huit fois supérieur à celui qui dépasse ce niveau. Aussi, le capitaine sir John Ross rapporte qu'il a vu plusieurs de ces montagnes de glace échouer dans la baie de Baffin à un endroit où l'eau a une profondeur de quinze cents pieds. On a calculé que les charges de terre et de pierres qu'ils transportent ne peuvent peser moins de 50,000 à 100,000 tonnes. Sir Charles Lyell, exposant en 1865 les résultats des dernières investigations sur ce sujet, s'exprime ainsi : « Certaines personnes ont supposé que les proportions colossales attribuées à ces bancs de glace par des navigateurs ignorants étaient exagérées ; l'opinion générale semblerait donner aujourd'hui dans un excès contraire, en estimant ces dimensions plutôt en deçà qu'au delà de la vérité. La plupart de ces bancs, mesurés avec soin par les officiers de l'expédition scientifique de l'*Astrolabe*, avaient de 30 à 70 mètres de hauteur au-dessus de l'eau, et de 3 à 8 kilo-

mètres d'étendue. Le capitaine d'Urville affirme avoir vu dans l'Océan méridional une de ces îles flottantes qui avait 21 kilomètres de long et 30 mètres de hauteur, avec des parois parfaitement perpendiculaires (1). »

Beaucoup de ces bancs de glace sont poussés de la baie de Baffin vers les Açores et du pôle sud vers le cap de Bonne-Espérance. A l'approche du climat plus doux des zones tempérées, la glace fond graduellement, et les moraines des glaciers arctiques et antarctiques sont déposées au fond de la mer. C'est ainsi que les montagnes, les vallées et les plateaux sous-marins sont jonchés de gravier, de limon et de blocs erratiques arrachés à des pays lointains et transportés à des centaines de kilomètres à travers les abîmes insondables de l'Océan.

Bien que nous nous occupions principalement des glaciers et des bancs de glace considérés comme agents de dénudation, nous ne pouvons quitter ce sujet sans parler de la théorie géologique d'une ancienne *période glaciaire*. Nous espérons que nos lecteurs nous pardonneront cette petite digression. Cette théorie est en elle-même intéressante et ingénieuse, et elle offre un admirable exemple de la manière de raisonner des géologues dans leurs savantes spéculations.

On sait que la glace qui se meut laisse une empreinte spéciale et caractéristique à la surface des roches sur lesquelles elle passe et dans l'aspect général du pays qu'elle parcourt. Ce n'est pas là un mystère de la science; c'est un fait manifeste que chacun peut observer par lui-même, s'il le veut. Tout glacier transporte, dans son cours, une grande quantité de gravier, de

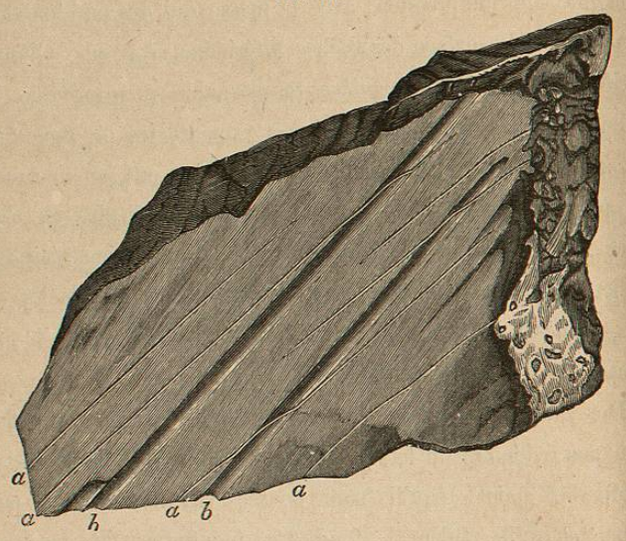
(1) *Éléments de Géologie*, de Lyell, t. I, p. 235.

sable dur et de pierres anguleuses. Beaucoup de ces matériaux pénètrent avec le temps dans les crevasses de la glace et vont se fixer à la surface inférieure du glacier. Alors ils sont emportés, sous une énorme pression, avec la masse qui descend lentement la vallée, et la surface des roches inférieures se trouve sillonnée, striée et polie d'une manière remarquable et inimitable. Les sillons et les stries sont rectilignes et parallèles et d'une façon si marquée que d'autres agents naturels n'en ont jamais produit de comparables. Toujours aussi ils coïncident plus ou moins avec la direction générale de la vallée. Une action réciproque a lieu : les blocs situés à la partie inférieure du glacier sont eux-mêmes striés et polis par suite du frottement contre le sol et contre les parois de la vallée.

Des effets semblables sont produits par les bancs de glace, non pas évidemment lorsqu'ils errent à la dérive dans une mer profonde, mais lorsqu'ils sont poussés sur une côte en pente douce et qu'ils raclent le fond. Ces montagnes de glaces sont souvent emportées, avec leur charge de débris terreux, avec une rapidité de trois ou quatre kilomètres à l'heure. Or, avant que cette énorme vitesse acquise puisse être entièrement détruite, une surface considérable a dû être sillonnée, striée et polie, exactement de la même manière que par l'action d'un glacier. Les moyens de broyer la roche inférieure ne font point défaut. Par suite de sa fusion incessante, le banc de glacier tourne constamment sur lui-même, à mesure que son centre de gravité se déplace. Il en résulte qu'une nouvelle partie de sa surface, avec ses blocs à angles vifs et ses masses nouvelles de sable et de gravier, se trouve continuellement mise en contact avec le lit de l'Océan. Et ce n'est point là une théorie sans fondement. Tous ces phénomènes s'observent chaque jour sur

les rivages de la baie de Baffin et de la baie d'Hudson, aussi bien que le long de la côte du Labrador.

Fig. 10.



Bloc de calcaire poli, strié et sillonné par le glacier du Rosenlaui, Suisse. (Lyell.)
a, *a*, Raies blanches ou stries. — *b*, *b*, sillons.

Ajoutons que les matériaux transportés par les glaces sont eux-mêmes la preuve de l'action glaciaire. Beaucoup de *blocs erratiques*, après avoir été transportés à d'immenses distances, n'ont pas leurs angles plus émoussés que s'ils étaient tombés du rocher supérieur sur le flanc de la montagne où ils se trouvent. Cette circonstance les distingue des blocs transportés par l'eau courante, car ceux-ci ont leurs bords complètement entamés par le frottement. Quelquefois aussi les blocs erratiques sont déposés non seulement fort loin de toute roche semblable, mais encore dans les régions où il n'en existe aucune de même espèce. Et cela se conçoit, puisque les bancs de glace les transportent

souvent à plusieurs centaines de milles avant de les laisser tomber dans les profondeurs de l'Océan ou de les porter, dans le cours de leur voyage, sur les sommets élevés de chaînes de montagnes sous-marines.

Il arrive souvent aussi qu'un glacier se retire vers la partie supérieure de la vallée et quelquefois même disparaît complètement. Lorsque la fonte de la glace à l'extrémité inférieure contrebalance exactement sa marche continue, il en résulte que le glacier semble stationnaire et occupe d'une année à l'autre la même position. Mais, lorsque plusieurs saisons chaudes se succèdent sans interruption, la glace fond plus rapidement que le glacier n'avance; en conséquence, il devient graduellement moins long et semble reculer vers les parties supérieures de la vallée. Dans ce cas, les longues lignes de moraines qui reposaient auparavant sur la glace sont rejetées sur la plaine ou déposées sur les flancs de la montagne. Il arrive, de cette manière, que d'immenses blocs de pierre sont souvent abandonnés sur les cimes de pics coniques et dans des positions qu'aucun autre agent naturel n'eût pu leur faire occuper. Ces *blocs perchés*, comme on les appelle, ainsi que ces longues traînées régulières de terre et de pierres, abondent dans quelques-unes des vallées de la Suisse et constituent un des traits les plus frappants des paysages des Alpes.

Il paraît que tous ces divers caractères de l'action des glaces se retrouvent dans des pays où il n'y a certainement pas eu de glacier depuis la période des temps historiques. Tel est le fait sur lequel est fondée la théorie géologique d'une ancienne période glaciaire. Nous savons, à n'en pouvoir douter, qu'une grande partie de l'Europe septentrionale, y compris nos propres îles, sans parler de l'Amérique et d'autres pays, tant dans l'hé-