Bibliothèque de Philosophie scientifique

STANISLAS MEUNIER

PROFESSEUR AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
ANCIEN PRÉSIDENT
DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

Les Glaciers et les Montagnes

FACULTÉ des SCIENCES PARIS
Géologie
Recherche
BIBLIOTHÈQUE

PARIS

ERNEST FLAMMARION, ÉDITEUR
26, RUE RACINE, 26

1920

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction réservés pour tous les pays.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A

MA CHÈRE FEMME

Stanislas MEUNIER

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

INTRODUCTION

Sommaire. — Le phénomène glaciaire n'est pas indépendant des autres fonctions du globe. — Continuité de l'évolution terrestre; activité incessante. — La statique n'existe pas dans la Nature. — Peu d'intérêt pris par les Anciens aux glaciers. — Les glacialistes.

De tous les chapitres de la Géologie, l'histoire des glaciers est peut-être, au moins en apparence, le plus indépendant de tous les autres. La preuve en est que les théories glaciaires semblent affecter de ne faire intervenir que d'une façon tout à fait accessoire, les suppositions relatives aux autres grands phénomènes. C'est au point qu'à son égard, on ne s'est pas gêné pour supposer le passage successif de notre globe, avec tout le cortège des corps célestes qui sont du même système que lui, au travers de régions diverses de l'espace, les unes chaudes, les autres très froides, sans jamais se demander un instant ce que de pareilles vicissitudes devraient nécessairement apporter de conditions spéciales, dans la conception des autres mécanismes naturels.

Aussi, ne faut-il pas demander à l'auteur d'une théorie glaciaire, ce qu'il fait, pendant qu'il l'élabore, des théories orogénique, volcanique, fluviaire, sédimentaire ou autre : il vous répondra qu'il n'a pas à s'en préoccuper et qu'elles sont hors de son sujet.

Or, les progrès de la science de la Terre, se traduisent presque invariablement par le rapprochement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des diverses sections de la Géologie générale ; je veux dire par l'intimité de plus en plus grande, révélée entre les fonctions, dont l'ensemble constitue l'activité de la planète.

De plus en plus, on est contraint de reconnaître dans notre globe un véritable Tout, dont chaque partie, considérée à part, est indispensable au bon fonctionnement de l'ensemble : ce qui signifie que cet ensemble est déterminé par la collaboration de ces différentes parties. De plus en plus, on est amené à constater que l'organisme terrestre ne se borne pas à cette activité de chaque instant, qui suppose la complète eurythmie de tous ses éléments ; mais qu'il manifeste aussi, par la comparaison de ses caractères successifs au travers des temps, la continuité avec laquelle il est le théâtre d'une véritable évolution, comparable à celle de tous les organismes, et qui relie, à ses conditions originelles, le concert des causes qui l'amèneront à la fin de sa carrière, et même à sa résolution en matériaux de décomposition.

Une fois parvenu à ce point de vue, on se sent en possession d'un guide et d'un criterium, pour le choix et pour l'appréciation de toute théorie à venir sur tout sujet à l'étude, du plus restreint au plus général ; et, s'il n'en résulte pas toujours la certitude d'avoir rencontré la vérité, la conséquence en est constante de démasquer l'erreur des premières appréciations, et de fournir contre elle les arguments décisifs.

Si le lecteur a la patience de nous suivre dans l'examen des particularités glaciaires, il aura plus d'une occasion d'apprécier la portée de notre assertion ; et d'un autre côté, il sera sans doute frappé de la convergence des travaux relatifs aux glaciers, vers le même résultat général, où l'on a vu tendre ces dernières années, la théorie des phénomènes entretenus par les diverses formes de l'énergie tellurique.

Il y a plus : on verra qu'au grand contraste de cer-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

taines conclusions antérieures, qui en feraient un détail véritablement aberrant du fonctionnement planétaire, le glacier, quoique avec des moyens différents, collabore à l'évolution générale avec une allure qui rappelle, jusque dans les détails intimes, le processus mis en œuvre dans la masse de la *lithosphère*, c'est-à-dire de la croûte profonde de la Terre dans ses efforts pour ne pas cesser de reposer sur la masse nucléaire, que le refroidissement spontané fait, à chaque instant, trop petite pour son revêtement rocheux.

C'est d'une manière imprévue sans doute, que dans les deux domaines de la congélation des glaciers et de l'élaboration à haute température des masses rocheuses, on verra un mécanisme commun engendrer des masses douées en apparence d'une malléabilité qu'elles ignorent et manifester tous les caractères d'une cataclase intense.

Cette remarque, dont nous apprécierons toute la signification, nous conduit à ajouter que l'ensemble des phénomènes biologiques auxquels nous assistons, et même en y joignant ceux qui nous sont connus seulement par les traces qu'ils ont laissées de leur antique réalisation, nous procure un fil conducteur des plus précieux pour comprendre chacun d'eux, et même pour tirer de leur comparaison une notion générale sur l'économie de la Terre. Celle-ci est très différente de l'idée qu'on s'en était faite *a priori*.

Pour tout résumer d'un mot, disons que l'étude dont il s'agit a eu pour conséquence, de révéler dans notre planète un lien d'activité incessante et comme un organisme, formé d'appareils nettement distincts réalisant des effets qui s'associent entre eux de la manière la plus harmonique, pour assurer l'évolution générale.

Cette activité de toutes les parties de la Terre est poussée à ce point, que la *Statique*, cependant si fer-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tile en applications de haute valeur, n'a pas l'ombre d'existence dans la nature. L'hydrostatique, en particulier l'équilibre d'une eau tranquille, n'est réalisée nulle part : cette eau est en réalité soumise à des variations ininterrompues, par évaporation, par dilatation, par réaction des corps qui l'entourent, et la théorie des puits artésiens est bonne à rappeler ici.

On distingue même, dans ce domaine des dispositions locales qui ne peuvent manquer d'évoquer la notion des appareils anatomiques, car chacune d'elles est consacrée, relativement à la Terre, à l'accomplissement d'une véritable fonction physiologique. Quand on reconnaît que ces diverses fonctions se complètent, pour collaborer à l'œuvre commune de l'évolution régulière de l'ensemble, on est séduit par la signification même de cette évolution.

Le présent volume sera l'application de cette remarque, au cas particulier des glaciers.

Tout le monde aujourd'hui connaît l'apparence des glaciers, tout le monde sait les difficultés de leur exploration et leur abondante distribution à la surface de la Terre. Ces circonstances rendent assez singulière la méconnaissance dans laquelle, si longtemps, sont restées ces pittoresques et inhospitalières régions géographiques.

Grecs ou Latins, les Anciens ont à peine mentionné les glaciers. Ce n'est guère que comme cause de difficultés et de dangers, que quelques auteurs mentionnent les neiges des Alpes. Tite Live raconte ainsi (Livre XXI, 35) la traversée des Alpes par Annibal : « On n'aperçut que monceaux de neige, lorsqu'au point du jour on se remit en marche ; les Carthaginois avançaient à pas lents, l'abattement et le désespoir étaient peints sur tous les visages. Annibal prend alors les devants, s'arrête à une sorte de promontoire qui offre de toutes parts une vue immense, fait faire halte à ses soldats, leur montre l'Italie et au pied des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Alpes, les campagnes baignées par le Pô. « Vous escaladez, dit-il, en ce moment les remparts de l'Italie, « Plus d'obstacles bientôt; tout s'aplanira devant « vous; une bataille, deux tout au plus, et la capitale, « le boulevard de l'Italie est dans vos mains, en votre « puissance ».

C'est peu comme description du terrible paysage. Strabon est assez précis dans l'unique passage qu'il consacre aux glaciers dans sa volumineuse *Géographie*. Il parle des « éboulements de ces masses énormes de neige, qui forment la couche supérieure des glaciers, éboulements capables d'enlever des convois tout entiers et de les entraîner au fond des précipices qui bordent la route. Il y a, on le sait, dans un glacier beaucoup de couches différentes et superposées horizontalement, les unes sur les autres, par la raison que la neige durcit et se cristallise à mesure qu'elle tombe et s'amasse; or, il arrive incessamment et la plupart du temps, pour un rien, que les couches supérieures se détachent de celles qu'elles recouvrent avant que les rayons du soleil aient eu le temps de les faire fondre entièrement ».

Quant à Pline « le Naturaliste », il n'a pas un mot pour ce grand phénomène, si frappant pour les sens et pour l'imagination.

Il faut arriver à la seconde moitié du XVIIIe siècle pour voir le glacier prendre dans l'esprit du naturaliste la place qu'il mérite.

Le promoteur du mouvement fut peut-être l'illustre Horace Benedict de Saussure (1740-1799). Son biographe Sennebier, commence sa Notice par un hommage à la mère de son héros dont il dit avec le genre de lyrisme propre à son époque : « Plus sage que la mère d'Achille, qui donna au corps de son fils la trempe de l'acier, la mère de Saussure donna encore à l'esprit de son fils la trempe vigoureuse d'une vraie philosophie ».

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La solidité du corps était aussi nécessaire à la tâche que se proposait Saussure, que la vraie philosophie, car le même Sennebier nous dira :

« On se fait difficilement une idée des voyages dans les Hautes-Alpes, rien n'y ressemble à ce qu'on voit dans nos routes ordinaires; il faut se frayer son chemin dans des lieux oubliés, où les signaux qu'on a pu remarquer quelquefois, sont sans cesse renversés par les éboulements des rochers et des neiges, où l'on se trouve comme en pleine mer, sans pouvoir se diriger toujours par la boussole. On erre ici au milieu des rocs escarpés ou de leurs débris, occupé du soin d'assurer ses pas, on est toujours exposé au choc des quartiers de rochers qui s'écroulent, ou des torrents de neige qui font mugir l'air par leurs bonds et leurs chutes. On monte, on descend sur des pentes rapides, revêtues de neige, ou couvertes de glace, ou tapissées par un gazon aussi glissant. Il faut quelquefois se faire des escaliers sur les flancs des rochers dont on veut gagner la tête; on est souvent obligé de traverser sur quelques pouces de neige comme sur un pont, des abîmes dont l'œil ne sonde les profondeurs qu'en désespérant d'en apercevoir les bornes. Dans diverses occasions, la parole seule peut devenir une cause certaine de la mort, en déterminant des avalanches par l'agitation de l'air. Le repos rend la mort inévitable et chaque pas peut mener à la mort[1]. »

En même temps que Saussure étudiait le Mont-Blanc, Grüner, un Suisse allemand, publiait à Berne (1760) un ouvrage en trois volumes in-8° *Die Eisgebirge des Schweizerlandes*. Viennent ensuite les fondateurs de cet hôtel des Neuchâtelois, gîte des plus précaires, installé, comme on le verra, sur un glacier,

1. *Mémoire historique sur la Vie et les écrits de Horace Bénédict de Saussure*, lu à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, le 23 prairial, an VII, in-8°, Genève, an XI.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pour le mieux observer : Louis Agassiz, Charles Vogt, Edouard Desor, Henri Coulon, noms auxquels il faut ajouter celui de Dollfus-Ausset, qui érigea le pavillon de l'Aar, et qui réunit ces *Matériaux pour l'Etude des Glaciers*, en onze volumes in-8° dont le classement laisse à désirer, mais qui sont une source inépuisable de renseignements de première main. Il faut citer aussi De Charpentier, Ed. Collomb, Hogard, Hugi, Ch. Martins, les frères A. Schlagintweit, Studer, Tyndall, Ch. Durier, A. Civiale, le prince Roland Bonaparte, M. Charles Rabot, M. Vallot, qui a un observatoire presque au sommet du Mont-Blanc. Et enfin, la légion des voyageurs dans les régions polaires, qui ont tous contribué à nous faire connaître les glaciers de ces régions difficiles, souvent presque inaccessibles, et parmi lesquels, les plus récents et les plus illustres sont : Nordenskjold, Nansen, Sverdrup, Greely, Amundsen, Shackleton.

Nous avons, grâce à ces pionniers et à nos propres observations, la matière de l'étude que le présent volume propose au lecteur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

AVANT-PROPOS

Sommaire. — Conditions essentielles du glacier. — Localités froides sans glaciers. — Le pôle du froid. — Le Mammouth et le *Rhinocéros tichorinus*. — La toundra et les tarrinnes. — Les glacières naturelles.

L'existence des glaciers exige deux conditions essentielles ; la persistance pendant tout le cours de l'année de neiges accumulées ; et, au-dessous de ce réservoir, une déclivité de la surface du sol fortement accusée.

Avant d'entamer l'histoire des glaciers, nous éliminerons certaines localités, où l'existence d'un grand froid et celles où la présence d'amas de glace, constituant des glacières naturelles, donneraient à penser qu'elles peuvent prendre place dans notre sujet. Mais nous en dirons quelques mots pour montrer qu'elles ne présentent pas les conditions nécessaires que nous venons d'indiquer.

Comme localité froide sans glaciers, on ne peut rien citer de mieux que la Sibérie. Les météorologistes sont d'accord pour placer dans cette région « le pôle du froid ». On y a observé jusqu'à —63°,2. Cet extrême est une exception, car dans le district de Wercho-jansk, par 69° de latitude nord, sur les bords d'un affluent de la Léna, où il fut enregistré, Nordenskjold[1]

1. *Voyage de la Vega*, t. I, p. 367, traduction française par MM. Charles Rabot et Ch. Lallemand, 2 vol. in-8°, Paris 1883.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

a noté une thermométrie des différents mois de l'année, qui en reste éloignée : janvier — 48°,8; février — 46°,2; mars — 33°,9; avril — 14°; mai — 0°,40; juin — 13°,4; juillet — 15°,4; août—11°,9; septembre — 2°,3; octobre — 13°,9; novembre — 39°,1; décembre — 45°,7.

Dans ces pays, le sol est gelé d'une façon permanente jusqu'à une profondeur inconnue et depuis un temps dont la durée est attestée par la rencontre de cadavres entiers et, pourrait-on dire, intacts de Mammouths (*Elephas primigenius*) et de rhinocéros à narines cloisonnées, qui sont des animaux herbivores aujourd'hui disparus. Le fait est si intéressant qu'il nous arrêtera un instant.

Les régions polaires connurent, avant que les climats ne fussent établis sur la Terre, des jours très doux, comme l'atteste la flore fossile qu'on y a recueillie, au Groënland, en particulier; mais ces temps heureux étaient passés, lorsque le mammouth et le *Rhinocéros tichorhinus* firent leur apparition, et le monde des plantes était à peu près alors ce qu'il est aujourd'hui, ce dont les voyageurs nous donnent d'unanimes descriptions.

« En hiver, dit Nordenskjold, les arbres éclatent souvent avec un bruit de tonnerre, et, sous l'influence du froid, le sol se crevasse ; néanmoins la végétation forestière est très belle dans ces parages et s'étend même jusqu'au voisinage des côtes de l'Océan Glacial, où d'ailleurs, le froid est beaucoup moins vif que dans l'intérieur des terres. Les grands mammifères trouvaient dans ces contrées des pâturages excellents, suffisants pour les nourrir tout l'été. En effet, dans les endroits abrités, inondés lors des crues du printemps, se rencontre encore, assez loin au Nord de la limite des forêts sibériennes, une belle végétation d'arbustes, dont les feuilles fraîches et succulentes, devaient former un véritable régal pour ces herbi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

vores. *Enfin les régions les plus froides de l'extrême Nord sont fertiles, comparées à beaucoup de contrées où le chameau peut, tout au plus, trouver sa nourriture, comme par exemple, sur la côte orientale de la mer Rouge.*

Sur la terre de Grinnell, entre 81° et 82° latitude Nord, se trouve une zone abritée, où une flore abondante nourrit des lièvres, des bœufs musqués, et où il y a des loups. En 1860, le voyageur Reman vit, dans une des îles de l'archipel qui s'étend de la baie, de Baffin au détroit de Behring[1] un glacier, au-dessus de la face terminale duquel, était une masse argileuse de 1 à 7 mètres d'épaisseur reposant sur la glace et supportant une couche de tourbe, où poussait une végétation luxuriante.

Donc, les rhinocéros et les mammouths (ceux-ci en immenses troupeaux) ont vécu dans ces pays glacés, et bien connus, par leurs os, des indigènes et de gens qui, voyageant pour s'enrichir, faisaient là une abondante récolte d'ivoire fossile. Les cornes du rhinocéros étaient utilisées par les Tschuktschis, qui en tiraient des fibres pour les cordes d'arc. Ils prenaient son crâne et ses défenses pour des restes d'oiseaux gigantesques. Quant au mammouth, on disait qu'il se promenait sous terre. Cependant, la première mention de restes autres que des os, remonte seulement à 1692. La grande découverte de chairs et de peaux fut faite en 1771 par l'illustre voyageur russe Pallas, dont les chiens se jetèrent avidement sur ces fossiles, pour les dévorer, comme ils eussent fait d'un gibier moderne. Un cadavre entier de rhinocéros fut trouvé sur les bords du Vilouis, affluent de le Léna par 64° l'altitude nord. Pallas disait que toute la Sibérie du nord, jusqu'aux plages de la mer Glaciale, est en quelque sorte jonchée de débris de

1. *Botany of the Voyage*, H. M. S. Herald, 1852.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mammouth. On évalue à, au moins, 200.000 le nombre des défenses qui donnent au commerce, de l'ivoire fossile, et à 40.000 celui des dents utilisables.

Le Musée de Saint-Pétersbourg reçut le premier des échantillons de ces restes précieux, de vastes morceaux de la magnifique toison brune du mammouth et aussi la tête et les pieds du rhinocéros trouvés par Pallas. Maintenant les musées possèdent des échantillons beaucoup plus importants. Grâce à un don magnifique du comte Steinback Fermor.

Le Muséum a reçu, non seulement un morceau de la fourrure si épaisse, mais encore des membres, une tête dont on a pu reconstituer le pavillon de l'oreille, des viscères dans la profondeur desquels on a pu faire des préparations anatomiques permettant d'étudier jusqu'aux globules du sang.

Or, quoique contemporains de l'homme, qui a été jusqu'à en dessiner les traits sur l'ivoire, — avec les défenses fortement recourbées, qui donnent à cet éléphant une physionomie si particulière, — le mammouth a cessé de vivre, peut-être depuis des milliers de siècles. La conservation des restes et l'intégrité de leur gisement, ont été jusqu'à faire supposer que la même glace, passée à l'état de roche essentielle du sol, a persisté sans changement depuis le moment de l'ensevelissement. Toutefois, il est plus conforme aux enseignements de la géologie, d'admettre qu'il y a eu un constant remplacement de cette eau d'imprégnation, par exemple, par les contributions atmosphériques. Or, nous l'avons dit, dans ces régions si intensément froides, les glaciers n'existent pas. On ne voit pas sur les côtes sibériennes d'isbergs donnant de l'eau douce, c'est-à-dire provenant de glaciers, entre le Jugor Schar et la Terre de Wrangel, alors qu'il sont au contraire très nombreux sur les côtes du Spitzberg et au nord de la Nouvelle-Zemble. Les îles de la Nouvelle-Sibérie, et en particulier l'île

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ljachoff, pourtant très montagneuse, n'ont pas de glaciers ; entre les mouvements de terrain, s'étendent de vastes plaines de glace et de sable, fertiles en os fossiles ; mais les montagnes n'offrent pas même de petites plaques de glace, et même leur aspect indique qu'elles n'ont jamais eu de glaciers.

Il y a cependant, dans la partie de la Sibérie septentrionale où s'étendent les *toundras*, des amas de glace superficielle, auxquels on donne le nom de tarinnes. Malgré une certaine ressemblance, ces amas se signalent par le contraste de leurs caractères avec ceux des glaciers.

Tout d'abord, la vallée qui contient une de ces tarinnes est à flancs très doucement inclinés et son fond est horizontal ou creusé en bassin : la vallée des glaciers, est toujours très inclinée et la glace en occupe très oblique à l'horizon la ligne de fond (*imum-vallis*).

En second lieu, ces tarinnes ne dérivent pas de la neige qui tombe, mais de l'eau de source qui se congèle.

Tandis que le glacier donne naissance à un cours d'eau, la tarinne est au contraire alimentée par un ruisseau, ou une rivière.

Les tarinnes appartiennent à des montagnes dont les sommets n'atteignent jamais le niveau des neiges persistantes.

En somme, une tarinne doit toujours son existence à des eaux supérieures ayant assez de pente pour se répandre en couches minces sur le terrain et pour se congeler dès lors dans toute leur épaisseur, de manière que les couches se succédant, l'épaisseur augmente. L'eau peut alors s'ouvrir un passage et couler sous la glace. Parfois, cette glace se rompt et l'eau vient sourdre à la surface, pour s'écouler en filets qui se glacent à leur sortie, couche par couche, de manière à simuler un cratère de volcan. Le voyageur Ditmar a observé un cratère de ce genre qui s'élevait à 6 m. 50 au-dessus de la glace.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On rencontre des tarinnes dans la vallée de Turachtach dans le pays des Tongouses. Elles sont maintenues par des brèches de roches variées, dont le ciment n'est autre chose que la glace. Les éléments roulés ont des dimensions allant de celle de sable fin à celle de la tête. La glace est pure et limpide, et, dans les fentes profondes, on voit une belle couleur bleue : son épaisseur atteint parfois 90 mètres.

Au nord-est de la Sibérie, on en retrouve, de même que dans la Mantchourie chinoise, où l'on en signale dans plusieurs vallées secondaires du côté d'Ajan et jusque dans le nord-est de la Sibérie, sur la route de Yakoutsk à Ockhotsk.

Si nous passons dans les pays montagneux, nous verrons que les plateaux, même les plus élevés, quand ils sont horizontaux, sont dépourvus de glaciers. Le plateau du Tibet en est la preuve la plus colossale.

Avant d'aborder notre sujet, il convient d'en écarter, à la suite des tarinnes, une autre série de gisements de glace connus sous le nom de *glacières* et qui, suivant les termes mêmes de Saussure, sont des cavités naturelles où se conserve la glace à l'abri du soleil : citons, pour la curiosité du contraste, la découverte remarquable faite sur l'Etna, en 1828[1], d'une masse considérable de glace qui avait été garantie de la fusion, pendant plusieurs années et même probablement pendant plusieurs siècles, par cette circonstance singulière qu'un courant de lave brûlante l'avait recouverte. D'après le lieutenant Kendall, l'île de la Déception, dans les Nouvelles-Shetland australes, est principalement composée de couches alternantes de sables et de glaces.

On rencontre des glacières naturelles dans un grand nombre de régions, comme les cavernes des

1. Lyell. *Principes de Géologie*. Traduction française, III, 177, Paris 1846.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chaînes de montagnes et les interstices des éboulis qui s'accumulent dans leurs vallées étroites. En 1861, Thury[1] a publié une étude spéciale sur les glacières naturelles. Il distingue les glacières statiques, où l'air reste immobile, comme le montre l'allure de la flamme des bougies, et les glacières dynamiques où il y a des courants d'air.

D'après M. Martel[2], le Creux-du-Souci, dans le Puy-de-Dôme, peut compter comme glacière naturelle.

Les glacières sont innombrables dans la région du Jura. Il existe auprès de Besançon, une glacière dite de la Baume, que le duc de Lévy fit vider complètement de sa glace en 1727 : en 1743, la glace était entièrement rétablie.

La glacière de Saint-Georges, dans le Jura suisse, est formée d'une glace à structure particulière, dite aréolaire, pleine de stalactites. Elle a l'aspect d'une mosaïque composée de fragments polygonaux, de quelques millimètres à un centimètre de côté, hyalins dans leur centre et un peu opaques sur les bords.

En résumé, à côté des glaciers, les glacières, d'ailleurs répandues dans le monde entier, sont des phénomènes infimes, dépendant beaucoup plus de la météorologie que de la géologie, dont les glaciers constituent un chapitre des plus importants.

1. *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, X, n° 38, février 1861.
2. *Les Abîmes*, p. 392, Paris.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les Glaciers et les Montagnes

CHAPITRE I

La forme générale des Glaciers.

SOMMAIRE. — La Mer de Glace, localité typique. — La vallée de Chamonix, le Montanvers. — Descente sur la moraine latérale. — Les crevasses et les eaux du glacier. — Pourquoi le nom de *moraine*. — Les tables ou champignons de glaciers.— L'abrasion. — La moraine de la rive droite. — L'Arveiron ; changements dans sa voûte. — Le mal de montagne. — Plaisanterie de guides. — « Péri au Mont-Blanc ». — Structure des glaciers. — L'hôtel des Neuchâtelois. — Le tissu de la glace; sa stratification. — Différentes sortes de glace. — Composition minéralogique et biologique des glaciers.

Pour fixer les idées, au moins dans leur généralité, nous résumerons les caractères principaux d'un glacier typique, la Mer de Glace, dans la vallée de Chamonix (Haute-Savoie).

Cette vallée, l'une des plus belles des Alpes, dans laquelle passe maintenant un chemin de fer, mais qui n'eut sa grande route de voitures, de Sallanches à Chamonix, qu'après l'annexion de la Savoie à la France, s'étend du col de Balme, par lequel on arrive de Suisse, au col de Voza, avec une largeur variant de 1.000 à 1.500 mètres. Elle est enserrée entre le massif des Aiguilles Rouges et le massif du Mont Blanc. L'aspect seul de ces imposantes montagnes suffit pour impressionner le voyageur novice et ner-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

veux. Les amateurs de sensations fortes, qui auront fait là leurs débuts dans les grands paysages, s'en souviendront toujours avec plaisir.

Si donc, vous arrivez en chemin de fer ou en automobile, vous apercevrez, après la rampe escarpée des Montets, où commence la vallée, le massif du Mont Blanc, que vous avez déjà admiré de Sallanches, mais qui est ici tout proche, écrasant, avec l'éclatante blancheur de ses névés. Puis, auprès du village des Ouches, vous vous trouverez à proximité des coulées de glace qui s'appellent la Gria, le Tacconay, au-dessous duquel sont de magnifiques blocs erratiques, les Bossons, qui tombent de la cime du Mont Blanc et dont les séracs dominent de si haut la vallée.

Vous voilà tout de suite à Chamonix (1.052 mètres au-dessus du niveau de la mer), sur la rive droite de l'Arve, l'abondant et impétueux torrent, collecteur de toutes les eaux issues des glaciers et qui court chercher le Rhône à Genève.

A Chamonix, vous dépliez la carte, — car, sur la route rapide, il valait mieux regarder le Mont Blanc que de la consulter, — et vous constaterez que d'autres glaciers que ceux devant lesquels vous venez de passer, descendent dans la vallée : le glacier des Bois qui, un peu plus haut, s'appelle la Mer de Glace, le glacier d'Argentières, le glacier du Tour, et vous remarquerez que le plus grand, la Mer de Glace, fait une large coupure dans la chaîne qu'elle divise en deux parties bien nettes : à gauche (sur sa rive droite) celle qui s'étend du col de Balme à l'Aiguille Verte; à droite, les Aiguilles de Chamonix et le Mont Blanc.

La Mer de Glace n'aboutit pas à Chamonix. On peut aller en chemin de fer jusqu'au Montanvers (1.950), où l'on trouve des guides pour la traverser. Mais les touristes qui ont le temps, de bonnes jambes et l'amour des grands bois, trouveront la montée à pied,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

par un beau matin d'été, véritablement délicieuse; et ils auront, en outre, le plaisir de se désaltérer à la source glaciale du Caillet.

Dès que vous êtes parvenus à votre observatoire, vous apercevez, immédiatement au-dessous de vous la Mer de Glace à laquelle Tyndall aurait voulu un autre nom, ce long ruban, encaissé dans les berges de ses moraines donnant plutôt, même au premier coup d'œil, l'idée d'une rivière, ce qui est en effet, conforme à la réalité des faits. Mais l'aspect de cette surface hérissée de crêtes blanchâtres, justifie aussi l'appellation unanimement adoptée. « La surface du glacier vue du Montanvers, a dit Saussure, ressemble à celle d'une mer, qui aurait été subitement gelée, non pas dans le moment de la tempête, mais à l'instant où le vent s'est calmé et où les vagues, quoique très hautes, sont émoussées et arrondies. Ces grandes ondes sont à peu près parallèles à la longueur du glacier et elles sont coupées par des crevasses transversales, qui paraissent bleues dans leur intérieur, tandis que la glace paraît blanche à sa surface extérieure. »

La glace paraît blanche... Cependant la vue d'un glacier ne répond pas tout à fait à l'attente de certaines personnes qui se le figuraient aussi pur que les hauts sommets de neige. Outre les vieilles chaussettes et autres déchets qui marquent, à une certaine place, le passage d'innombrables visiteurs, le glacier est couvert de débris qui lui donnent çà et là une apparence sale, des bandes terreuses, courbes, qui se suivent régulièrement. On a sous les yeux un espace grisâtre, opaque, parsemé de pierrailles de toutes les grosseurs et de flaques de boue. On y voit de toutes parts des blocs de glace jetés sans ordre les uns près des autres, et l'ensemble est parsemé de larges et profondes fêlures, de crevasses, qui promettent une excursion très laborieuse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mais, vues du Montanvers, les montagnes qui servent de cadre à la coulée, produisent sur le voyageur une impression plus grande encore que celle qu'il en espérait. Ce sont : sur la rive droite, l'Aiguille du Bochard, l'Aiguille Verte, énorme pyramide qui dépasse 4.000 mètres et l'Aiguille du Dru, sur les flancs de laquelle sont perchés, entre autres, les glaciers de la Pendant, du Nant Blanc et du Dru ; sur la rive gauche, l'Aiguille de Trélaporte, qui surmonte la montagne de l'Angle, le pic de Tacul et derrière celui-ci, les Jorasses et les Aiguilles de Leschaux. Et l'on aperçoit, entre ces montagnes, des glaces infinies en double coulée : le glacier du Géant et le glacier de Leschaux, dont la jonction forme la Mer de Glace.

Il est temps de descendre jusqu'à celle-ci, par le flanc du Montanvers, ce qui nous met au pied d'une sorte de fortification du glacier, qui s'appelle une *moraine* et qui est faite de débris rocheux, de poussière et de gravier. Il faut gravir ce talus, puis descendre sur son autre versant, au bas duquel nous trouvons la glace.

Nous pouvons alors faire différentes remarques :

Le ruban glacé s'élève avec une pente très sensible. A notre gauche, sur les montagnes de la rive droite, nous sommes frappés du contraste qui existe entre les flancs de ces sommets anguleux et abrupts et la zone des roches, qui, sur un millier de mètres de hauteur leur font un piédestal dont tous les concours sont arrondis et polis. Saussure a donné à cette région inférieure des escarpements bordant les glaciers, le nom de *roches moutonnées*. Nous ne tarderons pas à constater que les roches moutonnées ne manquent dans aucun des glaciers des Alpes.

Il y a des détails intéressants, beaucoup plus rapprochés de nous, comme les crevasses, rectilignes ou courbes, qui s'accompagnent parallèlement, ou s'entrecroisent, avec des profondeurs souvent vertigi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

neuses, sous des directions très variées. Elles déterminent souvent des cascades, car la surface du glacier est une localité remarquablement humide. A l'altitude où nous sommes, bien inférieure à celle du Montanvers, la température de l'air dépasse celle de la fusion de la glace, ce qui explique, sans préjudice des éclaircissements ultérieurs, une débâcle, même beaucoup plus rapide que celle dont nous sommes témoins ici. D'ailleurs, tombent des montagnes environnantes de nombreuses cascades, quelquefois volumineuses, comme celles de la Pendant, du Nant Blanc et du Dru, issues des petits glaciers. La circulation superficielle des filets d'eau, charrie même en beaucoup d'endroits des graviers qui s'accumulent en plages et qui peuvent avoir plusieurs décimètres carrés d'étendue.

Le volume de ces eaux ruisselantes va en augmentant, car, puisqu'il s'agit de nous instruire, nous ne nous bornons pas à traverser le glacier en ligne droite, et même, nous nous hasardons dans un passage difficile, les Ponts, où la paroi de la roche, inclinée comme un toit de maison, présente au touriste comme la tranche tournée en haut, de tuiles renversées, sur lesquelles la semelle du soulier tient à peine, et c'est couché sur la montagne, qu'on passe ainsi, à 100 mètres, au-dessus des énormes blocs de la moraine gauche du glacier. On se retrouve enfin sur la glace et, après avoir contourné ou traversé nombre de crevasses, on arrive aux *Moulins*, puits relativement larges, où la chute de l'eau fait un bruit analogue à celui d'une roue hydraulique. Je garderai toujours un souvenir charmant de ma première excursion à ces Moulins. L'eau limpide divaguait de tous côtés en flots cristallins, qui se précipitaient dans les crevasses aux parois azurées.

Les Moulins marquent le confluent des deux branches formant la Mer de Glace, l'une, à notre gauche,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui monte dans le massif de Leschaux et dans celui du Talèfre, et celle, à notre droite, dans le groupe du Tacul, du Géant et tout au bout du Mont Blanc.

Puisque nous sommes sur la Mer de Glace, nous irons voir, quoiqu'elle lui soit spéciale, une charmante curiosité, le *Jardin*, où l'on se rend en traversant en diagonale le glacier, à partir de l'Angle et en contournant la base de l'Aiguille du Moine, sur le *Couvercle*. Le Jardin, situé à la base de l'Aiguille Verte, n'est pas à proprement parler une île dans la Mer de Glace : il appartient au glacier du Talèfre qui a ici de magnifiques *séracs*, ressauts de glace, quelquefois gigantesques qui sont l'un des traits de la physionomie des glaciers, et qui sont ainsi appelés à cause de leur ressemblance de forme et de couleur, avec des *fromages* de la vallée de Chamonix. Le Jardin, rocher à peu près plat, d'une superficie de trois hectares environ, d'où se détache une moraine qui va se perdre dans des crevasses, — le Jardin a une source, du gazon, des fleurs, en été, bien entendu, alors qu'il y a des rhododendrons sur le Montanvers et bien au-dessus, pentes roses, prodigieuses au-dessus des coulées blanches et bleues, moins salies, plus unies au fond de leurs gorges que plus bas. Et du Jardin isolé au milieu de ces solitudes, le spectacle est fantastique.

Solitudes où les voix ne résonnent qu'au passage des petites caravanes, mais qui ne sont pas silencieuses, à cause du bruit des eaux, à cause de celui des avalanches qui, à tout instant, tombent de tous côtés, surtout de l'Aiguille Verte, des échos qui en répercutent les tonnerres.

On peut, des Moulins, examiner de près les bandes de pierre que nous avons déjà signalées et qui accompagnent la Mer de Glace dans toute sa longueur et en épousant ses inflexions. La structure de ces bandes est tout à fait analogue à celle des fortifications qu'il

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous a fallu franchir au pied du Montanvers, et c'est le moment de dire que l'appellation de moraines leur vient de leur ressemblance avec les cordons de mortier que le maçon forme autour d'un ouvrage en pisé. Nous sommes ici en présence de moraines *médianes*, tandis que celles qui longent le glacier sont dites moraines *marginales* ou *latérales*.

Ajoutons que beaucoup de blocs de pierre se rencontrent de toutes parts à la surface du glacier en conséquence de circonstances diverses. Les uns se sont visiblement détachés des flancs de la vallée glaciaire et le phénomène des avalanches de pierre est l'un des dangers de la montagne. Souvent les blocs sont très anguleux. On en distingue tout de suite qui sont formés de roches de couleur claire et qui sont en dalles relativement minces, à cause de leur manière d'être, souvent singulière.

Au lieu de reposer sur la surface générale du glacier, ces dalles sont portées par un piédestal d'eau congelée. On les a désignées sous les noms pittoresques de *tables de glacier* et de *champignons de glacier*. Leur origine est bien connue et se rattache au phénomène de fusion dont nous parlions tout à l'heure : la pierre plate joue, à l'égard de la roche qu'elle recouvre, le rôle d'un parasol. La glace voisine étant fondue peu à peu, le bloc semble être poussé de bas en haut par la croissance de son support qui, en réalité, n'a pas bougé. Et nous remarquerons en passant, que son exhaussement, qui peut atteindre et dépasser un mètre, nous donne une idée de l'énergie avec laquelle le glacier subit le phénomène de l'*abrasion*.

D'autres blocs de toutes tailles sont au contraire arrondis et nous reviendrons sur leur histoire.

Jusqu'ici, nous avons monté sur le glacier : nous allons revenir sur nos pas ; et, à peu près en face du point où nous avons quitté la moraine marginale gauche, nous laisserons la glace, pour escalader la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

moraine de la rive droite d'où nous recommencerons à dominer la Mer de Glace et sa partie inférieure, plus tourmentée, où les glaces édifient comme une architecture fantastique de château fort et qui s'appelle le glacier des Bois, parce qu'il se termine au milieu d'une forêt de sapins.

Par le *Mauvais-Pas*, nous nous dirigeons vers le *Chapeau*. Ce Mauvais-Pas se compose de marches très irrégulières, taillées dans une paroi pierreuse, qui fait partie des escarpements polis que nous avons déjà remarqués. Une tringle de fer fixée dans le rocher donne au promeneur un solide point d'appui.

Le Chapeau est une petite plate-forme, à la hauteur de 1.549 mètres, au pied de l'Aiguille du Bochard. Il est occupé par une cabane avec tout ce qu'il faut pour se rafraîchir. Après quelques instants de repos, nous descendrons sous bois et nous irons voir la moraine *terminale* du glacier, que l'on appelle aussi sa moraine *frontale*, la fin de la coulée de glace étant désignée sous le nom de *front*, aussi bien que sous celui de *pied*.

Un torrent sort du glacier des Bois, comme de tous les glaciers : l'Arveiron, dont la voûte de glace qui eut des jours de splendeur et qu'on illuminait pour le plaisir des visiteurs et le pourboire des guides. Mais cette voûte, comme les crevasses et tous les accidents du glacier, est des plus changeantes, à cause des écroulements qui s'y produisent souvent et qui endommagèrent, même mortellement, des imprudents. On peut toujours constater que la masse glacée est soutenue seulement par ses deux bords et que l'eau en sort comme de l'arche d'un pont. Cette eau est singulièrement trouble et si l'on en puise un verre, on voit se déposer une petite couche de sable.

Vous n'avez pas, au cours de cette première excursion, où l'altitude n'a pas dépassé 2.000 mètres, éprouvé le moindre symptôme du *mal de montagnes*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les anciens alpinistes ont souffert souvent, dans les hautes régions, de troubles de l'estomac, de la respiration, de la circulation : nausées, défaillances, besoin impérieux de dormir, dyspnée, tension artérielle excessive. Et le bon Saussure croit devoir donner une explication de ces phénomènes dont il a fait l'expérience.

« L'habitude, dit-il[1], de vivre comprimé par le poids de l'atmosphère, fait que nous ne pensons guère à l'action de ce poids et à son influence sur l'économie animale. Cependant, si l'on réfléchit qu'au bord de la mer, tous les points de la surface de notre corps sont chargés du poids d'une colonne de mercure de 28 pouces (0 m. 757) de hauteur, qu'un seul pouce de ce fluide exerce, sur une surface d'un pied carré, une pression équivalente à plus de 78 livres; que, par conséquent, 28 pouces exercent sur cette même surface la pression de 2.203 livres; et qu'ainsi, en attribuant, comme on le fait communément, 10 pieds carrés de surface à un homme de moyenne taille, la masse totale du poids qui comprime le corps de cet homme équivaut à 22.033 livres (10.794 kilogrammes) : si, dis-je, on réfléchit à ce qui doit résulter de l'action de ce poids, on verra qu'il doit refouler toutes les parties de notre corps, qu'il le contrebande (*sic*), pour ainsi dire, qu'il comprime les vaisseaux, qu'il contribue à la force élastique des artères, qu'il condense les parois de ces mêmes vaisseaux, et s'oppose à la transsudation des parties les plus subtiles, du fluide nerveux, par exemple... » Ne dirait-on pas du Molière?

« Si donc, du bord de la mer, on se trouvait tout à coup transporté à la hauteur de 1.250 toises (2.436 mètres), où le poids de l'air ne soulève qu'en-

1. *Matériaux pour l'étude des Glaciers*, par Dollfus-Ausset, t. II, p. 526, Paris 1863.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

viron 21 pouces (0 m. 568) de mercure, l'action de l'atmosphère sur notre corps se trouverait diminuée d'un quart ou de 508 livres (2.696 k.), par conséquent, tous les effets de cette action seraient sensiblement diminués, et les forces musculaires devraient nécessairement en souffrir. Les vaisseaux en particulier exerceraient une pression beaucoup moins considérable sur les fluides qu'ils renferment ; et par cela même, ils opposeraient moins d'obstacles à l'accélération que le mouvement musculaire tend à donner à toute la masse de nos liquides. »

Lorsqu'on entreprit de construire des chemins de fer pour les plus hautes cîmes des Alpes, des personnes prudentes se préoccupèrent de l'action funeste que pourrait avoir, sur les voyageurs, une ascension plus rapide qu'une ascension à pied et qui amènerait très vite la décompression à laquelle Saussure attache tant d'importance. Ces raisonnements et ces inquiétudes ne tiennent plus debout, depuis que nos aviateurs montent à 6.000 mètres en moins d'un quart d'heure. Ici, et ce n'est pas la première fois que cela leur arrive, *les mathématiques sont en défaut.* Et, quand au mal des montagnes, auquel on s'est généralement préparé par une nuit blanche, une fatigue très grande et une nourriture insuffisante, il faut s'en tenir à l'explication et aux remèdes d'un bon guide, qui y voyait seulement de la faiblesse et qui disait :

« Il faut le matin, avant de se mettre en route, déjeuner de choses chaudes : c'est l'essentiel, surtout lorsqu'on a pris gîte sous des rochers en hautes régions. Mais ce qu'il faut surtout, c'est avoir la tête à soi, ne pas être sujet au vertige, et pour cela, le meilleur moyen est de ne pas craindre de voir de près, et de bien voir, les crevasses, les précipices, les pentes abruptes et autres places dangereuses ; et alors, tous les maux que l'on attribue à la raréfaction de l'air en hautes régions disparaissent, la peur qui

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

engendre les maux est chassée, et l'on se trouve aussi bien à la cîme de la Jungfrau, du Finsteraarhorn et de tous les pics, peu importe leur élévation, que sur le Hasliberg, près de Meyringen. »

Il nous a fallu des guides pour traverser la Mer de Glace et surtout pour aller aux Moulins et au Jardin. Ils forment dans les Alpes toute une population de braves gens, souvent fort intelligents et qui ont aidé les savants de leur expérience et de leur connaissance des faits. Le simple voyageur n'a ordinairement qu'à s'en louer, quoiqu'ils aient bien un peu de mépris pour les Tartarins, qui ne se font pas une idée juste du danger et qui parfois veulent leur en remontrer.

Voici une anecdote que raconte Desor et dont nous lui laissons toute la responsabilité. D'ailleurs, elle n'est pas d'hier et la corporation des guides d'aujourd'hui ne saurait s'en fâcher. « Lorsqu'un touriste témoigne le désir d'aller à la mer de glace (de Grindelwald), on le hisse sur un cheval et l'on s'achemine vers le Mettenberg, où l'on arrive vers midi.

« Pour peu que la journée soit chaude, il est rare qu'il ne se détache pas quelques glaçons d'un couloir dépendant du glacier de l'Eiger. Les guides qui, par l'habitude qu'ils ont du glacier, reconnaissent facilement si quelque aiguille de glace est prête à tomber, guettent l'instant de la chute, et, au moment où le glaçon se détache, poussent un cri de détresse et supplient les Messieurs de descendre de cheval, pour n'être pas renversés par l'ébranlement de l'air. Messieurs les touristes, qui se piquent de s'entendre plus ou moins en physique, obéissent à la science secondée de la peur et s'étendent tout de leur long sur le chemin, aussi près du rocher que possible, pour échapper à la terrible secousse. Lorsque la chute est consommée, on se relève encore tremblant et plein de reconnaissance envers ce digne guide qui s'est montré si dévoué au moment du danger. On con-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

vient qu'on lui doit la vie et on le récompense en conséquence. »

Un grand nombre de guides et de porteurs ont trouvé la mort dans les ascensions. Ils sont d'ordinaire aussi prudents que braves; mais il leur arrive parfois de céder aux injonctions de voyageurs qui veulent affronter les menaces du temps, l'état défavorable de la neige, et des catastrophes ont résulté de cette témérité. La plus fameuse peut-être, celle qui excita le plus de rancune à Chamonix est celle du Dr Hamel, en 1820. Le Mont Blanc n'avait été gravi que onze fois, et sans aucun accident. Malgré un violent orage qui obligea les ascensionnistes à passer deux nuits aux Grands Mulets, on se mit en route pour la cime. Une avalanche emporta trois des guides. Ils avaient conseillé de descendre. « Nous avons monté de colère », disait, cinquante ans plus tard, le dernier survivant. Beaucoup de tombes à Chamonix portent au-dessous d'un nom cette mention : « Péri au Mont Blanc. »

§ 1. — La forme et la dimension des Glaciers.

La forme générale des glaciers est très variable : c'est un reflet de la forme de la vallée qu'ils occupent.

On peut tout d'abord distinguer ceux qui sont simples et ceux qui sont composés. Les premiers sont de beaucoup les plus rares, comme il est rare qu'une vallée soit sans rapport avec d'autres vallées.

Les glaciers composés, résultant le plus souvent, comme nous l'avons vu pour la Mer de Glace, de différents rubans qui viennent se réunir en un seul. Aussi fréquemment voit-on une disposition inverse : l'irradiation autour d'un point de départ commun de vallées divergentes descendant sur les versants d'une même montagne. Dans les deux cas, la région d'où

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

part le glacier est une nappe de neige comprise dans un cirque de rochers ou bien une calotte neigeuse qui cache complètement son support pierreux.

Malgré cette différence entre les glaciers convergents et des glaciers divergents, la forme générale est la même et on donne le nom de cirque neigeux à la partie supérieure, quelles que soient les variantes de son contour.

Dans le massif des Alpes, les plus beaux et les plus grands glaciers font partie de massifs divergents, ce qui ne les empêche pas de communiquer fréquemment les uns avec les autres, comme nous l'avons vu pour la Mer de Glace.

Par ses dimensions, le glacier d'Aletsch, dans les Alpes Bernoises, se signale par son ampleur. Il a plus de 36 kilomètres de longueur. Son cirque de neige a plus de 12 kilomètres de diamètre : c'est le point culminant de tout le massif de la Jungfrau. Il est en communication, par la neige, avec tous les géants de l'Oberland, la Jungfrau, le Moench, le Trugberg, l'Aletschorn, le Breithorn, le Gletscherhorn qui, par trois grandes vallées, font converger leur névé, « en un endroit, dit Tyndall [1], qu'un montagnard d'esprit a appelé la place de la Concorde de la Nature ». Et il ajoute gracieusement pour les Parisiens : « Si cette expression signifie grandeur calme, beauté de forme et pureté de teintes, elle est bien à sa place ».

Il y a de grandes différences dans les dimensions des glaciers. Le glacier inférieur de l'Aar a 25 kilomètres de longueur, la Mer de Glace, 20 kilomètres ; le glacier principal de Bell Sound, au Spitzberg, 20 kilomètres ; le plus petit des glaciers de cette île, 680 mètres ; le glacier de Malaspina, sur la côte occidentale de l'Alatska et sur le versant des monts Saint-Elie et Logan, 100 kilomètres, etc.

1. *Les Glaciers et les Transformations de l'eau*, p. 132, 6e édition, Paris 1894.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La largeur des glaciers est également très variable. L'Aletsch a 22 kilomètres de largeur, l'Aar, 5; la Mer de Glace, 4 au maximum. L'épaisseur est difficile à mesurer, et seulement par la vue de l'escarpement marginal, ou bien grâce à des crevasses. Le glacier d'Altesch mesure ainsi 300 mètres en moyenne; le glacier de l'Aar, 250; le glacier du Rhône, au front, 400. Au Spitzberg, les mesures ont donné de 120 mètres, pour le Horn Sound, à 63 pour le glacier de Magdalena.

Quant à la surface, il y a aussi bien des incertitudes : Aletsch aurait de 76 à 80 millions de mètres carrés; l'Aar, 9.600.000, Bell Sound 120.000; le glacier de Malaspina, 35.000 kilomètres carrés.

Le glacier de l'Aar aurait, d'après les calculs de Desor 2.400.000 mètres cubes, et le volume du glacier d'Aletsch atteindrait de 22 à 24 milliards de mètres cubes.

Parmi les variétés de forme générale des glaciers, il faut citer les glaciers suspendus, qui sont, privés, par la forte déclivité du sol, d'une partie ou de la totalité de leur traîne : tel est le glacier de Trient et celui de Gétroz, plus célèbre encore à cet égard. Il est situé dans la vallée de Bagne (Valais). Sa pente dépasse dans certains endroits 60 degrés, et sur la tranche terminale, qui repose sur un à pic au-dessus de l'étroite vallée, la glace a plus de 50 mètres d'épaisseur. Il est dominé par une crête noire dont la plus haute pointe s'élève à 3.427 mètres.

Ces glaciers tronqués sont fréquents dans les mers polaires, au-dessus desquels ils constituent de véritables falaises de glace. Les blocs de glace qui s'en détachent deviennent les glaces flottantes, dont nous aurons tant à parler plus loin.

Ajoutons que les glaciers polaires qui portent le nom d'*inlandsis*, comme celui du Groënland, sont d'énormes coulées, parfois très tourmentées, parfois

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

très unies, avec en certaines régions les hauts îlots rocheux connus sous le nom de *nunataks*.

Une forme très particulière des glaciers est celle des glaciers des Pyrénées, réduits à leur cirque, c'est-à-dire dépourvus de cette rivière gelée, qui, dans les Alpes, descend souvent si bas dans les vallées.

§ 2. — La structure des glaciers.

Un complément tout à fait significatif de la morphologie extérieure des glaciers concerne la structure intérieure de ces accidents géographiques. Et, à cette occasion, il est tout à fait indispensable de noter la grandeur de la tâche réalisée par un certain nombre de naturalistes pour fonder et perfectionner une branche de connaissances, qu'on a pu appeler la *glaciologie*.

L'origine de cette branche d'études, malgré les précédents établis par Saussure, se rattache à l'entreprise qui fut inaugurée en 1840 par un groupe de savants, comprenant Agassiz, Charles Vogt, Coulon, François de Pourtales, Desor et Nicolet, qui s'installèrent à demeure pendant la durée qu'il faudrait, sur le glacier inférieur de l'Aar, pour en étudier toutes les particularités.

Ne retrouvant pas une cabane qu'ils avaient habitée l'année précédente, ils avisèrent sur la moraine médiane un énorme bloc de schiste micacé, dont l'un des angles avançait sous la forme d'un toit. Il leur suffit de construire un mur vertical sous cet abri pour avoir un logis très acceptable. « Nous nous couchâmes avant la nuit, raconte Desor [1], car nous étions impatients d'essayer notre gîte. Tout nous

1. Séjours au glacier inférieur de l'Aar, d'après *les Matériaux pour l'étude des Glaciers*, par Dollfus-Ausset, t. V, Ire partie, p. 309, Strasbourg 1864.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

semblait arrangé pour le mieux. Nous décidâmes pendant la nuit que notre cabane porterait le nom d'*Hôtel des Neuchâtelois* et que, pour perpétuer le souvenir de notre séjour en ce lieu, ce nom serait gravé en gros caractères sur la face septentrionale du bloc, avec l'indication de sa distance de la base de l'Abschwung, qui était alors de 792 mètres. A l'aide de cette inscription on pourra toujours savoir au juste l'espace que le bloc aura parcouru depuis l'année 1840 et reconnaître par conséquent la moyenne annuelle de la marche du glacier depuis cette époque. Nous ajoutâmes plus tard à cette inscription les noms de ceux qui prirent part à cette expédition. »

Peu d'années après, cependant, l'abri était détruit, le bloc coupé en deux morceaux, très séparés l'un de l'autre.

Depuis cette époque, un nombre chaque année plus considérable de savants, s'adonnèrent à l'étude des glaciers et l'un des premiers sujets qui fut abordé et dont l'étude est bien loin d'être terminée, est la structure, ou, si l'on aime mieux, l'anatomie des glaciers.

Malgré la première apparence de désordre, ils révèlent une régularité de *tissu*, à laquelle on était loin de s'attendre, et la paroi des crevasses y laisse voir une véritable stratification.

On émit tout de suite l'opinion que chaque saison d'hiver vient déposer une couche de neige sur la surface fondue au cours de l'année précédente et par conséquent sur les éléments pierreux qui y sont si abondants. En effet, chacune des couches est séparée de ses voisines par une ligne sombre ou d'un blanc sale, qui provient d'un léger dépôt de sable ou de poussière interposée.

Très fréquemment, ces strates, au lieu d'être à peu près planes, comme la surface du glacier, sont plus ou moins et quelquefois très courbées. D'une façon

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

générale, leur allure change avec la hauteur dans un même glacier.

Au voisinage du cirque supérieur, elles sont sensiblement horizontales; mais à mesure qu'on descend, elles s'incurvent de façon à devenir en certains points presque verticales et quelquefois même à se renverser.

Souvent, on leur retrouve une horizontalité relative, dans le bas du glacier, de telle sorte que, suivant la longueur du ruban de glace, elles affectent une allure générale qui rappelle la forme d'un S. Cette manière d'être est d'ailleurs, à chaque instant, modifiée par des incidents locaux.

Dans les régions telles que les entours des Moulins de la Mer de Glace, où deux glaciers sont en contact, les strates de chacun d'eux gardent leur autonomie, pour ainsi dire, si bien que deux paquets de couches, avec des inclinaisons différentes sont juxtaposées. Cette disposition est spécialement visible sur les parois des grandes crevasses transversales.

Dans l'épaisseur de certains glaciers, comme ceux de Tête-Rousse et de la Griaz, on rencontre deux sortes de couches superposées l'une à l'autre, de glaces très distinctes : 1° des couches inférieures assez régulièrement stratifiées et très fortement redressées ; 2° des couches superficielles sensiblement parallèles les unes aux autres, mais disposées suivant la pente générale du glacier[1].

L'examen de la disposition des strates sur les parois de deux galeries à faible pente, situées dans le même plan vertical et reliées par un puits, a montré que la discordance, nettement visible dans la tranchée qui donne accès à la partie inférieure, ne se continue pas vers l'amont.

L'inclinaison des couches inférieures, très accen-

1. Bernard et Mougin. C. R. *Acad. sc.*, CLI, 1083 (1910).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tuée à l'entrée de la galerie, va en diminuant peu à peu. A 100 mètres environ de cette entrée, les couches sont sensiblement horizontales, puis elles se relèvent en sens inverse de leur inclinaison primitive et deviennent finalement parallèles aux couches superficielles.

Les couches superficielles, inclinées parallèlement à la surface libre du glacier, représentent ce qui reste des neiges tombées annuellement. Les couches fortement redressées, dont les tranches apparaissent à la surface ou qui sont cachées par les couches superficielles, ne sont pas autre chose, elles-mêmes, que d'anciennes couches superficielles.

Edouard Collomb a constaté que, dans certains cas, la surface même du glacier permet d'observer l'affleurement successif des couches superposées : c'est ce que lui a montré en particulier l'extrémité du glacier du Rhône où, entre les altitudes de 2.200 et 1.700 mètres, des lignes courbes concentriques, constituent le bord des marches d'un escalier de géants.

C'est dans une certaine mesure, le pendant de ce que montre la surface du glacier des Bois, par le travers du Chapeau. On y voit, en effet, et dans un état de juxtaposition intime, la moitié tangente à la rive droite, avec la structure ordinaire, et la moitié tangente à la rive gauche, au-dessous du Montanvers, toute couverte de bandes terreuses en forme de croissant et qui suggèrent aussi cette idée d'escalier[1].

Ce détail nous donne une transition vers l'observation des bandes bleues, si élégantes, de certaines parties de la glace. On pense, d'après la structure intime de chacune de ces bandes, comparée à celle des régions interposées, qu'elle résulte de la congéla-

1. Tyndall. *Les Glaciers*, p. 126. Traduction française, in-4°. Paris.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tion tranquille d'eau d'infiltration dans des fissures qu'elles ont remplies.

Les montagnards ont ménagé dans l'épaisseur de quelques glaciers, de petits réduits creusés à la pioche et dans lesquels on peut entrer par un étroit couloir à peu près horizontal. C'est ce que chaque année offrent au touriste le glacier des Bossons et celui de Grindelwald, entre autres.

Dans ces grottes, on est frappé, en même temps, de la délicatesse de teinte du jour filtré par la toiture glacée et de l'existence de nombreux filets de nuance plus sombre, et que l'on désigne sous le nom de *bandes des glaciers* [1].

Ajoutons que, sur la plupart des glaciers pourvus d'une traîne, une observation même superficielle montre un changement continu de grain dans la glace depuis la moraine frontale jusqu'au cirque des sommets. C'est seulement dans le bas que se présente la matière compacte donnant les beaux effets de lumière.

A une certaine altitude, qui varie d'ailleurs selon les cas, quelque peu supérieure à celle des Moulins de la Mer de Glace, on remarque que la substance est beaucoup moins transparente ; elle est de plus en plus bulleuse à mesure que l'on avance, de façon à rappeler, dans une certaine mesure, l'aspect de la pierre ponce. Un examen un peu plus attentif, à la loupe, montre des cavités innombrables rappelant celles de la mie du pain et qui sont évidemment remplies d'air. C'est la glace *bulleuse* des glaciéristes.

La structure, plus haut devient encore plus grossière. La glace manque de continuité : c'est comme un sable ou un gravier : les spécialistes disent qu'on est dans la zone des *névés*. On les suit jusqu'au voisinage du cirque, où l'on ne voit plus que de la neige.

1. Voir, pour les détails, le volume d'Agassiz intitulé *Geological Sketssches*. Un vol. in-16 (Londres), sans date.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces différentes glaces de *névé* : *bulleuse*, *grenue*, *blanche*, *bleue compacte*, ont des densités variables en raison directe de la pression subie : la glace de névé de la région supérieure pèse 628 kilos le mètre cube, la glace blanche avec beaucoup de bulles d'air *rondes*, 871 kil. 23 ; la glace blanche avec beaucoup de bulles d'air aplaties, 897 kil. 92 ; la glace bleue des régions inférieures, 909 kil. 30.

Malgré le caractère transitoire de ces variétés, nous verrons plus loin l'importance que prendront leurs différences de caractères, dans la théorie des glaciers.

Dans cet ensemble d'observations sur la structure des glaciers, on est allé jusqu'à faire intervenir l'emploi du microscope, et parmi les nombreux résultats obtenus, il nous suffira de mentionner ceux qui sont dus à Tyndall.

Une plaque de glace, d'un ou deux centimètres d'épaisseur, étant recueillie à la surface d'une pièce d'eau stagnante, on la dispose dans la glissière du microscope solaire, placé devant un écran dans une chambre obscure. Sous l'influence de la chaleur qui émane de la lampe, la glace ne tarde pas à subir un commencement de fusion, et l'on voit s'ébaucher, puis se dessiner avec de plus en plus de netteté, des sortes d'étoiles que l'on compare nécessairement à des fleurs à six pétales. Elles disparaissent bientôt pour être remplacées par d'autres et le spectacle continue tant qu'il reste une plaque de glace, à chaque instant amincie.

Si l'on répète la même observation, à l'aide d'une plaque de glace prélevée à la scie, dans un bloc recueilli sur un glacier, on ne voit plus que des délinéaments confus de la structure précédente : ce sont comme des lambeaux de pétales, parfois même une fleur plus ou moins entière, mais dont le contour est confus et comme chaotique. Enregistrons cette diffé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rence si profonde, dont la constatation nous sera très féconde un peu plus loin.

§ 3. — Composition minéralogique des glaciers.

A la vue des glaciers, on est très vite amené à renoncer à l'idée théorique qu'on s'en faisait *a priori*, et d'après laquelle le glacier serait une masse de glace. Il faut en effet reconnaître que la réalité est bien opposée à cette conception et que le glacier est, avant tout, remarquable par son hétérogénéité. Déjà, nous avons constaté l'abondance, à sa surface, de pierres de toutes dimensions, de graviers et de boue. Nous avons même dit que l'on retrouve des objets pareils dans l'épaisseur de sa masse et il faut ajouter que le ruban glacé repose sur un matelas qui ressemble à une portion de plage de galets.

La quantité de pierres est d'ailleurs très inégale d'un glacier à un autre, et par exemple, le glacier de Z'mutt, qui se traîne au pied du Grand Cervin, est dans sa partie basse, entièrement dissimulé sous une nappe de pierrailles. La qualité minéralogique de ces éléments pierreux est indéfiniment variable, et elle est loin de dépendre exclusivement de la nature des roches encaissantes ou surplombantes, le vent y apportant souvent une contribution notable de poussières. Après de longues périodes sans neige et de fusion active, on voit apparaître les poussières, précédemment mélangées à la glace, et qui étaient ainsi complètement dissimulées.

En 1911, par exemple, M. Vallot[1] a constaté au sommet du Mont Blanc que la neige était devenue jaunâtre, en même temps qu'elle s'était fortement ondulée, par suite de sa fusion inégale aux divers points, de façon à imiter un très remarquable détail

1. C. R. *Acad.*, CLIV, 905.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de beaucoup de glaciers tropicaux, où le soleil intervient énergiquement, et qui, composé de cônes groupés, a reçu le nom de *Pénitentes* de l'Himalaya ou des Andes Argentines.

Dans cette poussière se trouvent des matériaux d'origine très variée, au point que certains grains y ont été véritablement fournis par les espaces célestes, dérivant de l'entrée dans notre atmosphère d'étoiles filantes et de météorites.

C'est en étudiant l'eau du torrent terminal des glaciers qu'on peut avoir une idée de l'abondance des matériaux lithoïdes du glacier. Dès 1854, Dollfus-Ausset a trouvé à quelques mètres en aval de la grotte terminale du glacier de l'Aar, 2 gr., 275 de limon dans 16 litres de l'eau du torrent, ce qui fait 142 kil., 187 de sédiment par mètre cube. Et étant donné le volume total du glacier, plus de 284 tonnes en vingt-quatre heures.

Eugène Robert[1] a constaté que les glaciers du Spitzberg sont plus ou moins poreux et chargés de matières pierreuses. Il cite même des glaciers d'Islande dont, dit-il, « on serait tenté de prendre les aiguilles de glace pour des basaltes, tant elles sont noircies intérieurement, par les détritus volcaniques que les vents chassent quelquefois sur les glaciers ».

Sverdrup[2] note que des glaces flottantes de la côte occidentale du Groënland sont grises, à cause de la présence de sédiments.

Enfin, Helland[3] a calculé la quantité de boue, d'ailleurs variable avec la saison, contenue dans l'eau de fusion des glaciers polaires. Pour la Norwège, il cite : torrent Ouest du glacier de Borrum, 309 grammes par mètre cube d'eau ; torrent Est du même

1. Bull. Soc. Géol. France. XI, 382 (1840).

2. Sverdrup. *Quatre années sur les glaces du pôle*, p. 12, trad. Rabot, Paris, s. d.

3. Helland. V. l'*Océanographie* de Thoulet, p. 447. 1 vol. Paris.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

glacier, 159 grammes ; grand torrent du Suptielle, 113 ; le petit du même, 72 ; celui du glacier de Langedal, 513 ; de Auesterdal, 56 ; de Brixdal, 77. La moyenne étant de 147 grammes, on peut évaluer à 2 millions de kilogrammes en une journée de juillet, la boue charriée par les torrents de tous les glaciers de Justedalbroen, dont la masse totale est de 870 kilomètres cubes.

Pour le Groënland, le même auteur donne : torrent du glacier de Jakobshavn, 104 grammes par mètre cube ; d'Alangordlek, 2.374 ; d'Ilartdlek, 723 ; de Tuaparsuit, 678 ; d'Uniatorfik, 75 ; d'Assakak, 208 ; de Kangerdlussuak, 278.

Dans cette série, le document le plus intéressant nous a été fourni par Nordenskjold, à la suite de son exploration du gigantesque glacier continental, l'*Inlandsis*, en 1870[1].

D'après sa relation, la surface de la glace est couverte de poussière formée surtout d'écailles jaunâtres, que l'on prit d'abord pour des restes de diatomées, mais qui se sont révélées comme du sable minéral cristallisé. Sur la côte de Taimur, 3 litres de neige, prélevés sur 10 mètres carrés, donnèrent 0 gr. 2 de ces cristaux, qui ont 1 millimètre environ de diamètre. Ce sont des prismes striés, terminés à chaque bout par une pyramide tronquée et qui paraissent appartenir au système rhombique, manifestant un clivage parfait. N'étant pas suffisamment outillé sur place, on remit les mesures à faire à la rentrée dans le laboratoire de Stockholm ; mais à l'arrivée, le travail fut reconnu impossible, les matériaux s'étant réduits en une poussière blanche et amorphe, où l'analyse ne trouva que du carbonate de chaux : c'est probablement un carbonate hydraté, qui perd son eau au-dessus de zéro. Malgré cette composition, qui n'a

1. *La seconde expédition suédoise au Groënland (l'Inlandsis et la côte orientale), traduction Rabot*, in-8, Paris 1888.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

aucun rapport avec celle des météorites, Nordenskjold attribue à la *Kryoconite* (c'est ainsi qu'il appelle le minéral groënlandais), une origine cosmique, et à cette occasion, il se livre à un calcul auquel il n'y aurait peut-être pas lieu d'attacher beaucoup d'importance, s'il n'était d'un savant aussi illustre. Admettant qu'on rencontre de 1 dixième de milligramme, à 1 milligramme de poussière, par mètre carré de neige, et remarquant qu'il n'y a aucune raison de supposer qu'une région quelconque de la terre fût favorisée par rapport aux autres, on trouve qu'il pourrait y avoir, par an, 500 millions de kilogrammes de cette substance pour la surface du globe. Si le phénomène s'était continué depuis les temps géologiques, le poids serait formidable. Nordenskjold émet l'avis que la Terre a peut-être commencé par être toute petite et qu'elle s'est accrue, grâce à ces apports de l'espace. Cependant, outre que cette hypothèse est en opposition avec les observations et avec des théories plus vraisemblables, la composition de la Kryoconite ne cadre pas avec celle des roches célestes.

Quoi qu'il en soit, le gisement et la manière d'être de cette curieuse substance, méritent de nous arrêter un moment. A la surface de l'Inlandsis, de petits amas de la poussière se trouvent dans des trous cylindriques et verticaux de 0 m. 30 à 1 mètre de profondeur. Il y en a sur toute la surface explorée du glacier, aussi bien près des rivages qu'à 150 kilomètres dans l'intérieur des terres. On ne peut croire qu'elle soit venue des nunataks, car elle se trouve beaucoup plus haut que ces montagnes, et elle est aussi abondante sur les pyramides de glace qu'à côté d'elles. Elle n'a pas non plus été apportée par des torrents et ne provient pas de moraines de fond. C'est certainement un sédiment éolien.

Des spécimens ayant été examinés d'un côté, par von Lazaulx et de l'autre, par Des Cloizeaux, le pre-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mier y a indiqué le quartz, le mica, l'orthose, le grenat et l'épidote; et le second, l'amphibole, le quartz, l'orthose et des plagioclases. Sans attacher autre chose qu'un intérêt provisoire à ces résultats, on peut remarquer l'absence de tout minéral volcanique.

Le voyageur Grelly[1], partant de la présence de nickel et de cobalt et du magnétisme d'un échantillon qu'il a observé, se joint à Nordenskjold pour supposer à la Kryoconite une origine en partie cosmique.

A côté des minéraux solides contenus dans les glaciers, nous devons mentionner, d'un côté, l'eau liquide dans des cavités closes, ou circulant dans des pertuis variés, et d'un autre côté, l'air, c'est-à-dire le mélange d'oxygène et d'azote, additionné suivant Boussingault[2], d'acide azotique et d'ammoniaque, qui se dégagent parfois, en quantité plus ou moins grande, quand on pratique des forages dans le glacier, comme Agassiz et ses Neuchâtelois en ont réalisé un si grand nombre, sur le glacier inférieur de l'Aar.

Il faut enfin constater aussi beaucoup de matières organiques, soit dans la substance, soit à la surface des glaciers. Les glaces flottantes polaires, arctiques et antarctiques sont fréquemment colorées en vert-jaunâtre par la présence d'innombrables petites algues unicellulaires.

En maintes localités, la surface des glaciers est d'un rouge de sang, par la profusion de *Protococcus nivalis*. Quand elle vient d'être recouverte d'une mince couche de neige, la surface ainsi colorée apparaît sous chaque trace de pas d'homme ou d'animal, comme une empreinte sanglante, dont on a fait des descriptions dramatiques.

Il paraît que c'est Saussure qui, en 1760, sur le Brévent, et sur toutes les hautes montagnes qu'il visita, a remarqué ce curieux phénomène, dont natu-

1. *Dans les Glaces Arctiques*, p. 394. Un vol. in-8°, Paris 1889.
2. *C. R. Acad. sc.*, XIV, 920.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rellement il voulut se rendre compte. A la suite d'une série très logique d'expériences, il arriva à la conviction qu'il s'agissait d'une matière végétale.

« Quand j'examinais, dit-il, cette neige rouge, je voyais que sa couleur dépendait d'une poudre fine mêlée avec elle et qui pénétrait jusqu'à 2 ou 3 pouces de profondeur, mais pas plus avant. Cette poudre ne paraissait pas être descendue ou coulée du haut de la montagne, puisqu'on en trouvait dans des endroits séparés ou même éloignés des rochers; elle ne semblait pas non plus avoir été jetée par les vents, puisqu'on ne la voyait point semée par jets. On aurait dit qu'elle était une production de la neige même... Je remplis de cette neige un verre à boire et je le portai à ma main jusqu'à ce que la neige fût fondue. La poudre rouge s'affaissa au fond du verre, sa couleur ne parut plus alors si brillante, elle la perdit même en entier, quand elle fut parfaitement sèche et sa quantité se trouva réduite presque à rien. »

Il entreprit dans son laboratoire divers essais et tout d'abord celui du chalumeau qui enflamma, avec une odeur d'herbe brûlée, la poudre rouge.

« Je mis en digestion, dans l'esprit-de-vin, 40 grains de cette poudre qui, en se dissolvant partiellement donna au liquide une belle couleur jaune doré. Une fois l'esprit de vin chassé par distillation, il resta au fond de la cornue une matière huileuse, d'un brun doré, transparente qui refusa de se dessécher à la chaleur du bain-marie. Cette matiere huileuse avait une odeur analogue à celle de la cire. Ces expériences semblent prouver que cette poudre est une matière végétale et vraisemblablement une poussière d'étamines. Il est bien vrai que je ne connais aucune plante de la Suisse dont les fleurs donnent une poussière rouge et qui soit assez abondante pour correspondre à l'universalité de cette poussière sur les neiges des hautes Alpes. »

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'objection qu'il se faisait à lui-même était très juste. Il n'en est pas moins intéressant de constater la méthode qui l'a approché de la vérité.

Le vent emporte sur les glaciers une foule d'insectes qui y meurent. Mais bien des glaciéristes ont observé sur les plus hautes montagnes, et par exemple au Breithorn (3.902 mètres), des insectes qui y naissent et y vivent.

Ce sont des podures, très agiles et parfois si nombreux que la glace en est toute noire. Nicollet, en 1842, a décrit sous le nom de *Desoria saltans* une espèce découverte au Mont Rose par Desor, au glacier inférieur de l'Aar et que M. Vallot a vue, en très grande abondance, dans les parties hautes de la Mer de Glace.

Nordenskjold, au cours de ses voyages et dans des régions où chaque année le froid atteint de 40 à 50°, a signalé neuf coléoptères à la Nouvelle-Zemble, six à l'île de Vaigatz. Au cap Tcheljulski, qui est le point le plus septentrional de tout l'ancien continent, il a décrit sous le nom de *Micralimna Dicksoni*, un staphyllin de trois millimètres de longueur. Dans maintes localités arctiques se rencontrent, par milliards à la surface de la neige, un crustacé copépode, *Metridia armata*, qui jouit de la propriété phosphorescente, au point d'illuminer, pendant la grande nuit polaire, des surfaces gigantesques de glace et de neige.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE II

Conditions essentielles des localités à glaciers.

Sommaire. — Le froid. — Eau gazeuse dans l'atmosphère. — Eau liquide dans l'atmosphère. — Eau solide dans l'atmosphère. — Limite des neiges persistantes perpétuelles. — Eau solide sur l'eau : banquises et isbergs. — Eau solide sur le sol. — Gélivité des pierres. — La pente. — L'origine des vallées de glaciers. — Géoclases et lames de charriages. — Géographie glaciaire. — Les Alpes. — Le massif du Mont Blanc. — — Zermatt. — Le Mont Rose et le Cervin. — L'Oberland vu de l'Eggishorn : l'Aletschorn et le glacier d'Aletsch; le lac de Marjelen. — Le Saint-Gothard et le glacier du Rhône. — L'hospice du Grimsel. — Les glaciers de l'Aar. — Grindelwald et ses deux glaciers. — Le Finsteraarhorn, l'Eiger, le Mönch, la Junfgrau, etc. — Le Bernina. — Les Alpes tyroliennes. — Les Monts Scandinaves. — Les glaciers de la Laponie. — Les glaciers de l'Islande. — Le Caucase : l'Elbrouz, le Kashbeck, le glacier de Devdorok. — L'Ararat et le glacier d'Argouri. — — L'Himalaya et le Karakoroum. — Le plateau du Tibet. — Le Kilimand'jaro. — Les glaciers d'Amérique. — Mont-Saint-Elie, Baker, Rainier, etc. — Glacier tropical de la Sierra Nevada de Sainte-Marthe. — Les glaciers du Chili. — Les glaciers de l'Antarctique. — Nouvelle Zemble, Spitzberg, Groënland. — — La terre de Grinnell. — L'Alaska : glacier de Muir.

§ 1. — Le froid.

L'eau intervient d'une manière spéciale dans l'économie des glaciers par l'ensemble de ses propriétés physiques.

A cet égard, il ne serait pas hors de propos de résumer quelques vues relatives au rôle de l'eau,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sous toutes ses formes, dans le concert des phénomènes géologiques.

Constatons tout d'abord, que la terre a certainement existé bien longtemps avant la création de l'eau. L'analyse spectrale des étoiles paraît démontrer que la plupart d'entre elles sont dépourvues de ce corps si prépondérant sur notre planète, et tout concours à faire croire que sa constitution doit marquer, dans l'histoire des mondes, une étape de refroidissement.

A l'origine, régnait l'état de dissociation, c'est-à-dire l'existence exclusive des atomes, à l'état de séparation complète. Certains philosophes vont plus loin et admettent que les atomes eux-mêmes sont des produits de conjugaison d'éléments plus ténus encore et que nos *corps simples*, loin de mériter ce qualificatif, sont seulement des *polymérisations* diverses de quelque chose qui pourrait être l'hydrogène.

J.-B. Dumas, en mesurant les poids atomiques des corps simples, y a trouvé des multiples les uns des autres, et les phénomènes étranges et encore incomplètement observés auxquels l'étude du radium a permis d'assister, ont conduit de bons esprits, à revenir, dans une certaine mesure, à des suppositions qui rappellent, de bien près, la conception des transmutations qui furent la base de l'alchimie et qui, encore aujourd'hui, sont bien loin d'être démontrées. En tout cas, il faut signaler un travail remarquable du professeur Garrigou (de Toulouse), sur la création de l'eau [1].

Quoi qu'il en soit, l'eau est maintenant un des agents les plus actifs de toute la mécanique planétaire.

Depuis l'époque de sa première condensation, — qui s'est faite sur l'initial fondement de l'écorce

1. Leçons d'ouverture du cours d'hydrologie de l'année scolaire 1907-1908, à la Faculté de médecine de Toulouse. (Extrait du Bulletin général de Thérapeutique. Paris, in-8°, 1908.) — Voir aussi, du même auteur : D'où vient l'eau ? Son origine planétaire. *Revue scientifique* des 2-9 décembre 1916.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

solide, concrétion des matières les moins volatiles de la masse chaotique primitive, — on peut dire, sans exagération, que l'eau a pris part à toutes les catégories de phénomènes qui se sont succédé sur le globe. A l'heure actuelle, on peut proclamer l'ubiquité de l'eau, sur toutes les parties de la terre accessibles à nos études.

Tous les corps, simples ou composés, sont, au moins théoriquement, aptes à revêtir trois états physiques profondément distincts, qui dépendent avant tout de la température et parfois aussi de la pression auxquelles ils sont soumis : s'ils sont *solides* et suffisamment stables pour ne pas se décomposer, l'échauffement les fait passer de l'état solide à l'état liquide et subséquemment à l'état gazeux. Dans les conditions de température et de pression actuellement réalisées sur la terre, ils présentent normalement l'un ou l'autre de ces états. Or, il se trouve que l'eau jouit de cette particularité exceptionnelle que, dans les limites de température et de pression entre lesquelles varient spontanément les conditions de milieu où nous vivons, elle revêt l'une ou l'autre des trois formes fondamentales et se comporte ainsi à beaucoup d'égards comme trois corps différents. C'est de là que dérive, pour l'eau, une facilité spéciale à entrer dans le cycle atmosphérique et dans le cycle souterrain des mutations géologiques.

D'autres corps nous donnent bien le spectacle de circulations comparables; mais elles sont beaucoup plus compliquées et supposent l'intervention de dissolvants et de réactifs qui, alternativement, déterminent la production et la destruction de certaines combinaisons : ici, au moins dans les cas qui doivent nous intéresser spécialement, il suffit de variations de température pour déterminer l'un ou l'autre des états physiques.

La première chose qui frappe, quand on s'occupe

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de l'histoire géologique de l'eau, c'est sa circulation continue à la surface et dans l'épaisseur des écorces gazeuse (atmosphère) et solide (lithosphère). Partout, elle procède à l'entraînement, à la dissolution et à la précipitation des substances les plus diverses, dont le résultat le plus sensible est le lavage des continents et la minéralisation de la mer.

Eau gazeuse dans l'atmosphère. — La vapeur d'eau est un des éléments constants de l'atmosphère ; mais pour en apprécier le rôle, il importe de remarquer que c'est par un véritable abus de langage que, dans la vie courante, on qualifie de *vapeurs* les brouillards et les nuages.

Les physiciens ont déterminé avec précision les propriétés des vapeurs qui, comme on le sait, sont remarquablement analogues à celles des gaz, que ne possèdent ni les nuages ni les brouillards.

La vapeur d'eau est complètement invisible, étant incolore ; mais il est facile de déceler sa présence : il suffit, par exemple, d'exposer à l'air une carafe contenant de la glace ou un mélange réfrigérant, pour en voir très rapidement la surface extérieure toute ruisselante, par suite de la condensation de la vapeur atmosphérique.

Les hygromètres et surtout les psychromètres, sont des instruments destinés à évaluer la quantité de vapeur contenue dans l'air. La proportion en est beaucoup plus faible qu'on ne croirait. « Comparé à l'immense volume de l'air, dit John Tyndall [1], la vapeur aqueuse qu'il contient est à peu près infinitésimale, puisque 99,5 °/₀ de l'air atmosphérique sont composés d'oxygène et d'azote. En l'absence d'expériences, nous n'aurions jamais songé à attribuer à cette proportion, variable mais si petite de vapeur d'eau, une influence importante sur la radiation terrestre ; et

1. *Sur la Radiation*, p. 52. Un vol. in-18, Paris 1865.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cependant, cette importance est beaucoup plus puissante que celle du volume énorme de l'air. En disant qu'en Angleterre, par un jour d'humidité moyenne, la vapeur atmosphérique exerce une action égale à 100 fois celle de l'air, nous resterons bien certainement au-dessous de la réalité ».

En d'autres termes, la vapeur d'eau joue un rôle très notable, en retenant la radiation émise par la terre, sans s'opposer à celle qui vient du soleil. La surface de la terre, est donc plus chaude que si la vapeur d'eau n'intervenait pas.

En définitive, malgré son peu d'abondance dans l'air, il faut y voir le début des cycles de circulation aqueuse, sous l'influence du soleil et du vent non saturé. Le refroidissement peut la faire liquide et même solide, mais il faut se rappeler que la pluie n'est que de la vapeur d'eau condensée, pour avoir le sentiment de l'extraordinaire dimension de son rôle.

Eau liquide dans l'atmosphère. — Le brouillard est le résultat de la condensation de la vapeur aqueuse. Il est formé de poussière d'eau. Cette définition, il est vrai est critiquable, un grain de cette poussière d'eau ne possédant pas les propriétés les plus fondamentales des liquides.

Il en est ici de l'eau comme du mercure, tombant sur une table et s'y éparpillant en gouttelettes. Les plus petites de celles-ci, ont plutôt des allures de granules solides, et les physiciens ont fait sur cet état des travaux bien troublants, quant à l'idée qu'il faut se faire de la constitution de la matière en général. On est allé jusqu'à supposer un état physique intermédiaire entre la forme liquide et la forme solide et Boutigny (d'Evreux) l'a qualifié d'état sphéroïdal [1].

1. Etude sur les corps à l'état sphéroïdal. Un vol. in-8°, 4e édition, p. 267, Paris 1883. L'auteur y cite avec éloge à la page 267, ma note sur la forme globulaire, que l'alcool peut prendre sur sa propre surface.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

C'est avec l'aide de chaleurs intenses que cet ingénieux physicien provoquait les effets qu'il a décrits. Mais il faut savoir qu'ils se reproduisent, même à la température ordinaire, et que, par exemple, de l'alcool, éparpillé à l'aide d'une pipette fine sur la surface de l'alcool contenu dans un vase, rebondit et se comporte comme une petite perle qui ne disparaît qu'au bout de quelques secondes. On peut s'assurer qu'il n'y a d'ailleurs aucun contact entre le globule et la surface sur laquelle il évolue, en colorant la gouttelette et en laissant le liquide incolore [1].

On peut observer directement la forme globulaire des éléments du brouillard, en déterminant leur dépôt sur une lame de verre convenablement refroidie. On remarque journellement leur mode de formation en constatant l'intervalle qui sépare l'extrémité supérieure de la cheminée d'une locomotive, de la région où apparaît tout à coup le panache de nuage.

Pendant un temps, et à cause de l'autorité de Saussure qui la défendait, on a adopté l'idée que la poussière d'eau atmosphérique est en réalité composée de vésicules creuses. Cette manière de voir fut ruinée par Monge qui démontra : 1° que les particules du brouillard rebondissent sur les corps secs et même parfois sur l'eau ; 2° que les particules qui composent les nuages rassemblent les rayons du soleil et se comportent comme des lentilles, quand on les arrête sur quelques corps léger, une fourrure, par exemple ; 3° enfin, que si elles étaient creuses, elles se convertiraient très vite, par capillarité, en globules pleins. Leur suspension dans l'air s'explique aussi bien pour de petits globules pleins, que pour de petites sphérules creuses.

D'ailleurs, leur suspension est plutôt apparente que réelle, et certaines observations sont décisives à cet égard.

1. Stanislas Meunier. C. R. *Acad. sc.*, LVII, 401 (1863).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il arrive fréquemment dans les pays de montagnes, par exemple dans les Alpes, que, même par des temps de vent, un nuage reste pour ainsi dire immobile au débouché d'une gorge, tel que le ravin de Novelle, au-dessus de Saint-Gingolphe, et du lac Léman, sur le flanc sud du Gramont.

On en conçoit la production et le maintien, en admettant qu'un courant d'air, relativement chaud venant du sud, subit, à la rencontre d'un autre courant, froid, descendant de la montagne, la condensation observée tout à l'heure dans le flot de vapeur de la locomotive, et que le produit condensé, c'est-à-dire le brouillard, se dissout presque instantanément et disparaît quand il a traversé le courant froid.

Eau solide dans l'atmosphère. — En poursuivant l'étude ainsi commencée, nous nous trouvons en présence (après les cas de l'eau gazeuse et de l'eau liquide), du cas de l'eau solide, c'est-à-dire congelée dans l'atmosphère. Elle se présente avec des caractères assez divers.

Tel est d'abord le produit de la congélation du brouillard, laquelle, pour le dire en passant, confirme bien l'état non vésiculaire du brouillard. Ce phénomène est plus fréquent qu'on ne le croirait, et les Anglais, depuis longtemps l'appellent *Frost-Smoke*. Il consiste dans la présence, au sein de l'atmosphère, de petits globules pleins, de glace transparente. Pour l'expliquer, Fournet a émis l'opinion que les globules aqueux, dont sont formés les brouillards et les nuages, peuvent être en état de surfusion [1], à la suite duquel ils seraient frappés d'inertie moléculaire, qui les maintiendraient liquides encore au-dessous de zéro, et qu'il suffirait alors d'un faible ébranlement mécanique

1. Dollfus-Ausset. *Matériaux pour l'étude des Glaciers*, II, 13.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pour les solidifier brusquement. On sait que bien des corps, comme le soufre, le phosphore et même l'argent fondu, peuvent résister de même à la solidification à des températures relativement basses. L'hypothèse est d'autant plus acceptable que l'eau liquide ordinaire, descendue progressivement jusqu'à 12 ou 14°, et surtout lorsque la capillarité intervient, ce qui est le cas ici, persiste dans sa fluidité.

Les voyageurs qui ont fréquenté les mers polaires, comme la baie d'Hudson, les côtes du Groënland, du Spitzberg et de la Nouvelle-Zemble, rapportent qu'en hiver, pendant les périodes de grand froid, il se forme une vapeur épaisse, ou plutôt une sorte de fumée, sortant de la mer et qui se convertit avec rapidité en une infinité de petites aiguilles très fines, quoique visibles à l'œil nu, parce qu'elles brillent en tombant. Martins, Ellis, Middleton, Scoresby ont noté ce phénomène, qu'ils qualifient de *Frost-Rime* (bruine gelée).

Ce même phénomène n'est pas inconnu en France, où les météorologistes l'ont traité de *flèches glaciales*, de *flèches de neige*, ou même de *spicula*. Fournet en a observé un exemple à Strasbourg, pendant l'hiver de 1819-1820.

« Il se manifeste, dit-il, à la suite d'une de ces nuits, pures et poignantes, que les habitants des pays septentrionaux caractérisent sous le nom *de nuits de fer*. Pendant la matinée, un soleil presque pur, brillait au travers d'une couche d'apparence vaporeuse, mais composée de ces flèches qui, dans leur mouvement de translation, réfléchissaient de toutes parts les rayons de l'astre ».

C'est le lieu de remarquer que Mariotte, vers 1740, et Venturi, un peu plus tard, expliquaient les halos et les parahélies par la présence supposée dans l'air d'aiguilles de glace à angles réfringents de 60°. Brewster et Arago ont admis cette théorie qui est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

aujourd'hui démontrée. On a vu, dans les régions polaires, des halos se produire pendant des pluies d'aiguilles et cesser dans les intervalles de ces pluies. Arago a constaté que la lumière des halos est polarisée, perpendiculairement au plan passant par l'œil et normal à l'arc lumineux.

Les nuages qualifiés de *cirrhi*, sont formés d'aiguilles de glace.

Des nuages de la catégorie des *cumuli* et des *cirrhocumuli* sont constitués de cristaux de neige, résultant comme les aiguilles, de la cristallisation de la vapeur d'eau, mais manifestant des caractères cristallographiques particuliers, dont le principal est le groupement régulier d'aiguilles hexagonales sous la forme de rayonnements par trois, par six et par leurs multiples. Il s'y mêle fréquemment des prismes hexagonaux très fins et plus ou moins allongés.

C'est par des températures relativement élevées, c'est-à-dire au voisinage de zéro, que se constituent les flocons parfois volumineux. Sous cette forme, la neige occupe un espace 10 à 11 fois plus considérable que l'eau résultant de sa fusion. Sur les hauts sommets montagneux, il ne tombe presque jamais de flocons ; c'est du grésil qui constitue les hauts névés.

« Les neiges des régions équatoriales (à cause de leur grande altitude) sont toutes des névés, et leur cohérence est si faible qu'elles ressemblent à un amas de cendres que le vent soulève en tourbillons [1]. »

La neige poudreuse est composée de petites aiguilles et de fragments cristallins qui n'adhèrent pas aux objets sur lesquels ils tombent. Le vent

1. De Charpentier. Bibliothèque universelle de Genève, 1842, p. 391.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

influe beaucoup sur leur dépôt, car il balaye les revers montagneux qui lui font résistance et l'accumule dans les points abrités.

Les neiges jouent un rôle de réserve d'eau qui, au lieu de se précipiter immédiatement comme l'eau de la pluie, persiste aux grandes hauteurs, jusqu'aux époques de fusion, pour arroser les régions basses.

L'enneigement des Alpes françaises a été l'objet d'études spéciales, ainsi qu'en témoignent leurs publications dans l'Annuaire du Club Alpin français. Le prince Roland Bonaparte s'en est occupé en 1891. L'année suivante, le *Bulletin de l'Association franfrançaise pour l'Avancement des Sciences* de 1892 jusqu'en 1900, donne des résultats concernant le même sujet. Depuis lors, ce genre d'études n'a jamais été abandonné, et M. Killian est à citer parmi les auteurs les plus actifs [1].

Une des questions spécialement étudiées, a été la détermination de l'altitude des neiges éternelles, ou plus exactement persistantes. De Mairans en faisait une conséquence de la chaleur intérieure du globe. Saussure l'a fixée, sans paraître la rattacher à la considération de la latitude, à 2.923 mètres pour l'Etna ; mais il la place à 2.333 mètres pour tous les hauts sommets des Alpes, en ajoutant qu'elle est à 2.728 pour les montagnes isolées. Peu à peu, et surtout en faisant entrer en ligne de compte les régions polaires, où cette limite serait inférieure à l'altitude de la mer, on a cherché à réunir, par une surface continue, les points observés dans les régions les plus diverses. La plus grande hauteur où l'on puisse s'élever sans rencontrer de neiges persistantes, serait d'après R. de Schlagenweit, à 5.860 mètres sur le versant méridional des monts Karakoroum.

1. Compte Rendu sommaire de la Soc. Géol. Fr. du 18 mars 1918.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En 1857, Ed. Colomb publia le tableau suivant[1].

PAYS	LATITUDE	ALTITUDE DE LA LIMITE INFÉRIEURE DES NEIGES
Equateur.	0°,00	4,810 mètres
Mexico.	19°,00	4,580 —
Hymalaya (versant sud).	30°,00	3,900 —
— — nord).	31°,00	5,000 —
Ararat.	39°,30	2,700 —
Pyrénées (moyennes). .	42°,45	2,730 —
Caucase.	43°,00	3,330 —
Alpes (moyennes). . . .	45°,30	2,630 —
Norvège.	70°,00	1,070 —
Spitzberg.	79°,30	0,000 —

La zone du névé dans les Alpes, est comprise entre 2.600 et 2.700 mètres d'altitude. La ligne de démarcation avec la glace n'est pas nette.

Charles Martins est un des premiers observateurs qui émit l'idée que la surface des neiges persistantes, sur toute la surface de la terre, est un ellipsoïde qui, dans tout l'hémisphère nord, vient recouper la sphère terrestre par 79° 34′ de latitude.

Dans cette région, dit-il, en faisant peut-être une petite erreur, la limite des neiges est exactement au niveau même de la mer : les conditions thermométriques y sont donc comparables à celles du Faulhorn à 2.710 mètres au-dessus de l'Océan. La courbe subit d'ailleurs des modifications locales, par suite d'influences diverses, dont l'une des plus visibles dérive des propriétés du sol solide.

Au Spitzberg, par exemple, à 31 centimètres au-

1. Mémoire sur les glaciers actuels. *Ann. des Mines*, XI, 177.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dessous de sa surface, elle fut inférieure de 1° à celle de l'air dans les premiers jours d'août 1839. Il y a là une différence radicale avec ce qu'on observe en Suisse, par exemple, où la terre contribue à fondre la neige. Il y a évidemment à considérer un échauffement, par conduction du sous-sol, en communication avec celui de la plaine et avec les vents qui en viennent également. Rien de pareil n'a lieu au Spitzberg qui manque aussi de la couche de terreau noir qu'on voit dans les hautes régions des Alpes et qui jouit d'un pouvoir absorbant considérable.

Saussure raconte qu'il vit les paysans d'Argentière saupoudrer la neige de terre noire, pour en accélérer la fonte, et qu'ils avançaient ainsi, de quinze jours à trois semaines, le moment où l'on pouvait labourer et ensemencer les champs. C'est ce qu'on appelait alors terrasser la neige. Le sol s'échauffe dans la montagne, par l'effet du soleil, presque autant que dans la plaine ; mais il n'en est pas de même de l'air.

Il faut remarquer, en effet, qu'une partie du refroidissement de l'air des hautes régions atmosphériques vient de la dilatation qu'il éprouve en s'élevant. Bravais et Ch. Martins ont étudié ce sujet avec beaucoup de détails. Le dernier en résume ainsi la partie importante : « Une masse d'air dont la pression diminue de 300 millimètres ou, en d'autres termes, qui s'élève de 4.000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, se refroidit de 6°,3 (de 1° pour 635 mètres) ». Le décroissement moyen de la température avec la hauteur étant de 1° centigrade par 180 mètres, la fraction due à la dilatation de l'air serait d'après Martins de 0°,32 : ce chiffre est évidemment faible, mais il importe cependant de le faire entrer dans les supputations.

Nansen nous donne des détails intéressants sur la température de l'Inlandsis, au mois de septembre. Le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

3, à midi, un thermomètre exposé au soleil sur un traîneau marqua + 31°,5 c.; à la même heure, la température était de — 11° c. Le soleil disparu, la chute de la température était des plus brusques.

« Dans la nuit du 11 septembre, dit le célèbre voyageur, je plaçai sous mon oreiller un thermomètre à minima : le lendemain matin, l'alcool était descendu au-dessous de 37°, terme de la gradation. Vraisemblablement, la température s'était abaissée à 40° dans la tente, où six hommes étaient couchés et où la lampe à alcool avait été allumée.

« De l'état de la neige, on pouvait conclure qu'elle peut être approximativement, dans ce désert de glace, la chaleur la plus élevée durant l'été.

« Jusqu'à l'altitude de 1.980 mètres, la vieille neige était complètement gelée et en partie transformée en grains de glace. Elle avait donc été exposée à une chaleur assez forte pour avoir subi une fusion partielle, après quoi une gelée était survenue. Cette couche était recouverte d'une nappe de neige fraîche très sèche, dont l'épaisseur variait de 13 à 20 centimètres. A la hauteur de 2.770 mètres, le glacier présentait cette stratification : neige pulvérulente sur une épaisseur de 8 centimètres; au-dessous, couche de glace de 1 cent. 1/2; puis neige pulvérulente ayant une puissance de 18 centimètres; seconde couche de glace que le bâton traversait difficilement; enfin, neige de plus en plus dure, dans laquelle le bâton enfonçait d'un pied ou deux; à la profondeur de 62 centimètres, il ne pouvait pénétrer davantage. »

Saussure conclut de ses expériences, qu'une diminution d'environ un tiers dans la densité de l'air, rend plus que double la quantité de l'évaporation.

Le vent a aussi la plus grande influence sur l'évaporation et Nordenskjold[1] en cite un exemple bien net:

1. *Voyage de la Vega* t. I, p. 245.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

« Il souffla le 2 juin, dans la mer de Kara, un terrible vent du nord-ouest, qui amena, des hautes montagnes, un air âpre et furieux (probablement un coup de fœhn). Dans cette région, l'air descend avec une violence extrême des glaciers de l'intérieur du pays. Mais au lieu d'abaisser la température, ces ouragans la relèvent au contraire brusquement, au-dessus de zéro. La neige disparaît comme par enchantement, à la fois par fusion et par évaporation. »

Les montagnards des Alpes disent que « sans le fœhn, le bon Dieu et le soleil ensemble ne fondraient pas la neige ».

En passant à l'état de névé, la neige augmente de densité. D'après Colomb[1], un mètre cube de neige, pesant environ 85 kilogrammes, un mètre cube de névé pèse de 290 à 628 kilogrammes, selon la pression à laquelle il a été soumis.

On a quelquefois prétendu que la glace grenue est formée de grains, dont chacun résulte d'un cristal unique. C'est une erreur : on voit facilement le vent agglutiner les flocons, de façon à en faire de petits sphérules qui deviennent progressivement les granules constitutifs du névé. Leur structure est ordinairement très complexe. Dans les pays très froids, comme le Spitzberg, les névés sont de structure rugueuse, inégale, jamais glissante; jamais formée par la réunion d'une multitude de cristaux irréguliers, comme celui des glaciers des Alpes.

Eau solide sur l'eau. — L'eau liquide est, en beaucoup de circonstances, le substratum de l'eau solide. C'est une conséquence de la densité de la glace comparée à celle de l'eau liquide, à partir de la température de 4° au-dessus de 0°.

Mais il faut remarquer que cette circonstance ne

1. Dollfus-Ausset. *Matériaux pour l'étude des Glaciers*, tome II. Hautes régions des Alpes, p. 374.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

persiste pas pour l'eau salée, qui augmente de densité jusqu'au point de congélation, conformément à ce qui a lieu pour l'immense majorité des substances solidifiables par leur refroidissement. Aussi dans la mer, peut-il se faire des congélations de fond, ce qui donne lieu aux *calves* (veaux), suivant le langage des marins anglais, et qui peuvent causer un certain danger à la navigation. Scoresby a vu un calf, recouvert de tant d'eau, que le navire passait au-dessus sans le toucher.

Cependant, en conséquence de circonstances toutes spéciales, il peut se faire des glaces de fond dans l'eau douce, comme il se produit aussi, exceptionnellement, une couche de glace généralement très mince à la surface de la mer et c'est par exemple, ce qui a été observé en 1888 aux environs de Smyrne[1].

La congélation de la surface d'une eau tranquille, par l'abaissement progressif de la température, engendre une variété macrocristalline, c'est-à-dire formée de grands cristaux, dont l'axe est perpendiculaire à la surface de refroidissement. Elle se prête merveilleusement à l'expérience de production des fleurs de glace, à l'aide de la lanterne de projection. Sa cassure est conchoïdale, sa dureté égale à 1,5, intermédiaire entre celles du n° 1 qui est le talc et celle du n° 2 qui est le gypse, de l'échelle des duretés de Mohr. Sa densité à 0 est de 0,9181.

Dans les grandes altitudes on rencontre, dans certains points abrités contre toute agitation, des cristaux parfois volumineux de forme prismatique à six pans, terminés à leur extrémité libre, par une pyramide à six faces. La ressemblance est identique avec du quartz cristallisé, et c'est sans doute l'origine de l'opinion exprimée par Pline, que le cristal de roche

1. Carpentier. C. R. *Acad. sc.*, XCII, 48 (1884).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

n'est autre chose que de l'eau, qui a été soumise pendant si longtemps au froid le plus intense, qu'elle ne sait plus se dégeler.

Un minéralogiste italien bien connu, M. Ignatio Galli[1], a raconté cette observation, qui date du 1er février 1895 :

Un bol plein d'eau ayant été oublié dans le jardin de l'école normale de Rome, sa surface, d'ailleurs devenue onduleuse par l'effet des pressions consécutives à la solidification, arborait un magnifique cristal hexagonal, terminé par une pyramide à six faces dont la hauteur était de 64 millimètres, et la grosseur à la base, de 10 millimètres. Les faces du prisme n'étaient pas égales, trois faces étroites alternant avec trois faces plus larges. Ce cristal n'était pas parfaitement diaphane.

La glace qui se produit à la surface des eaux courantes a une histoire un peu plus compliquée. Elle est fréquemment brisée, par exemple par l'abaissement ou le soulèvement du niveau de l'eau ; et, alors charriée, elle va constituer, dans les localités relativement tranquilles, des amas à surface très inégale, par le rapprochement de blocs de formes très diverses et soudés bientôt intimement les unes aux autres.

C'est le phénomène des *embâcles*. On constate que beaucoup de glaçons sont originaires du fond, qu'ils ont gagné progressivement sur le bord des rivages, où la profondeur est souvent très faible, par l'épaississement de la pellicule de surface. Fréquemment, ils arrachent, en se décollant du fond, des matériaux pierreux, graviers ou galets, qu'ils transportent à des distances plus ou moins grandes, pour les mélanger, au moment de la *débâcle*, à la masse du diluvium.

L'abbé Nollet[2] remarque à cet égard que la glace

1. *Osservatorio fisicometeorologico municipali di Velletri*, 31 marzo 1895, Rome (1895).

2. *Journal de Physique*, I, 30 (1783) et II, 59 (1788), Paris.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des rivières est généralement composée de deux parties superposées : la glace compacte de la surface et la glace spongieuse sous-jacente, chargée de graviers.

La région la plus vaste, où l'eau solide repose sur l'eau liquide est, sans doute, l'ensemble des mers sur le littoral desquelles viennent se terminer des glaciers. Ces glaces constituent comme une marge, autour du continent et des îles, et leur ensemble est désigné sous le nom de *banquise*.

Ce vaste phénomène mérite de nous arrêter un instant, en compagnie des explorateurs qui l'ont affronté et décrit.

Ecoutons Nansen[1] : « Non, jamais je n'oublierai ma première impression à la vue de la banquise. C'était par une sombre nuit de mars 1882. Tout à coup la vigie signale la glace à l'avant : immédiatement je quitte la cabine et grimpe sur le pont. Là-haut tout est noir, impossible de distinguer quelque chose. Tout à coup une masse lumineuse émerge de l'obscurité, elle est toute blanche au-dessus de l'eau noire. Après cela, il en arrive d'autres dont l'apparition est signalée par un bruit extraordinaire, puis elles disparaissent derrière nous. Au nord, s'élève vers le zénith une lumière étrange, très vive au ras de l'horizon; du même côté, on entend un bruit analogue à celui du ressac.

« A mesure que nous avançons, le bruit augmente et les *drifis* (glaçons) deviennent plus nombreux. Le navire rencontre des plaques de glace et les culbute d'un coup de sa solide étrave... Nous sommes sur un océan étrange, au milieu d'une nature inconnue. Le capitaine donne l'ordre de changer de route et de suivre l'*iskant* (lisière de la banquise). Pendant plusieurs jours nous longeons la banquise, puis voici,

1. *A travers le Groënland*, trad. Charles Rabot. Un vol. grand in-8°, Paris 1893, p. 91.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qu'un soir, le vent fraîchit et la tempête menace. Nous allons chercher un refuge au milieu des glaces. Le bâtiment avance rapidement, en culbutant les glaces qui lui barrent la route... Il va entrer dans la banquise, lorsque surgit devant nous une énorme masse blanche. On réussit à l'éviter... »

La banquise forme, durant les longs hivers polaires, d'immenses étendues (*le pack*) faites de blocs juxtaposés dont l'épaisseur varie, toujours d'après Nansen, de 6 à 12 ou 15 mètres. Ces glaçons proviennent de la partie la plus septentrionale de l'Océan du nord. Le nombre est infini des navires qui y furent et qui y sont emprisonnés, pour des semaines, des mois, des années.

A cet égard, l'année 1777 fut particulièrement tragique, les glaces se trouvant plus compactes que jamais le long de la côte orientale du Groënland. Vingt-huit baleiniers s'y trouvèrent bloqués entre le 74° et le 75°. Seize réussirent à se dégager, douze restèrent. En dérive avec la banquise vers le sud, six bâtiments furent brisés par les glaces entre 67° 30, et 68°, à une distance de 12 à 14 milles de la terre. A la fin de septembre, les navires encore intacts, se trouvaient à 5 ou 6 milles de la terre, par 61° 30. Ils avaient dérivé pendant 107 jours, sur une distance d'environ 1.080 milles marins. Les équipages se réfugiaient sur ceux des navires qui n'avaient pas encore été broyés, ou bien campaient sur la banquise. Sur le dernier bâtiment échappé au désastre, il y avait 286 hommes, dans la famine que l'on peut imaginer. Trois cent vingt hommes périrent ; on n'en sauva que 155.

La retraite forcée sur la banquise n'est pas toujours aussi meurtrière. Elle est prévue par les explorateurs, dont les navires sont aménagés en conséquence. Bon gré, mal gré, ils y passent des hivers, et ne sont pas toujours libérés à la belle saison. Mais ils connais-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sent les courants, qui emportent la banquise et elle entre, avec les courants, dans leurs plans de recherches,

Il y a, sur le pack, des réserves d'eau douce, des flaques et même des lacs. Le *Yermak*, amarré en 1862 à un champ de glace, raconte qu'on y trouvait quatre de ces bassins, dont deux fournissaient de l'eau potable, un troisième, l'eau pour la toilette de l'équipage, le quatrième de l'eau pour la lessive.

La fusion de la neige produit cette eau douce qui disparait à la fin de l'été. Il s'en trouve en abondance sur des glaces énormes, détachées des glaciers de la côte par le vélage et qui donnent lieu aux *isbergs*, montagnes de glace flottantes, infiniment nombreuses.

Sur la côte orientale du Groënland, jusqu'au 63° il y a 60 à 70 courants de glace larges de 2 à 3 kilomètres et une centaine d'autres moins importants. Cook observa un courant s'étendant au travers du détroit de Behring et reliant les deux mondes. On a vu des glaces flottantes s'élever à 60 mètres au-dessus de la mer, avec un volume de plus de 6 millions de mètres cubes ; d'autres, qui atteignaient 100 mètres de haut.

Nansen qui en vit un, dont le sommet était à 70 mètres, fait cette réflexion que la partie émergée ayant six ou sept fois la hauteur de la partie émergée, ce glaçon avait quelque chose comme 400 mètres d'épaisseur. Sa largeur à la surface était d'un millier de mètres.

« Le long de la côte orientale il s'en trouve des centaines et même des milliers... Vus du sommet de l'isberg que nous avions gravi, tous ces glaçons semblaient une hautes-chaîne alpine. »

Les isbergs ont parfois des formes compliquées et magnifiques. Nansen en décrit un qui se composait de deux énormes pitons élancés comme des clochers;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à une certaine hauteur, le bloc était percé de part en part, par un tunnel et la mer avait creusé à la ligne de flottaison des grottes « qui auraient pu abriter un petit navire. On eût dit un palais des contes de fées, bâti dans le saphir le plus pur ».

L'illustre explorateur ramène les isbergs à deux formes différentes : Les uns, que l'on reconnait de très loin, sont crevassés, accidentés, d'une belle couleur bleue ; les autres, beaucoup plus réguliers sont des parallélipipèdes, de dimensions colossales, dont la glace est blanche ; ils sont plus nombreux que les premiers, qui sont des tranches de glace tombées des glaciers et montrant la surface qu'ils avaient sur ceux-ci ; les autres ont, au moment du vélage, subi un retournement, « et leur large sommet campaniforme est formé soit par la surface inférieure du glacier, soit par un des plans de cassure, généralement unis et sans crevasse ».

On peut détacher des isbergs, des morceaux de glace transparents et éclatants comme du cristal. Scoresby en transformait des éclats en portions de lentilles biconvexes avec lesquelles il allumait des morceaux de bois, de la poudre à canon, ou le tabac des pipes de ses matelots émerveillés.

L'eau solide sur le sol. — A la surface du sol, l'eau solide peut se rencontrer sous les trois formes principales de givre, de verglas, et de glace proprement dite.

Le *givre* résulte de la congélation, sans intermédiaire de l'état liquide, des vapeurs arrivant au contact des objets froids. Tout le monde connaît les broderies de givre qui s'étendent sur les vitres en hiver et les festons qui chargent les arbres, au point parfois de les rompre.

Ce phénomène a, de tout temps, frappé l'imagination et on s'est ingénié maintes fois à l'expliquer. Par exemple, Dortous de Mairans, — qui fut l'un des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Quarante de l'Académie française, sans parler de l'Académie des Sciences dont il était aussi, — a écrit une *Dissertation sur la glace* ou *explication physique de la formation de la glace et de divers phénomènes*[1] : « Voulez-vous, dit-il, faire de la glace, c'est-à-dire voulez-vous changer l'eau liquide en un corps solide ? Chassez une partie de la matière subtile qui coule entre ses interstices, diminuez son mouvement ou affaiblissez son ressort, en sorte qu'elle ne puisse plus vaincre la résistance des parties intégrantes du liquide ; c'est tout ce que fait le froid et vous aurez de la glace ». Et notre auteur continue : « Voulez-vous, au contraire, changer un corps très dur en un corps liquide ? Introduisez une quantité suffisante de matière subtile dans ce corps..., etc. » Cette matière subtile n'est-elle pas, à cent ans d'antiquité moins grande, l'exacte homologue de la *virtus dormitiva* du médecin de Molière ?

Le *verglas* consiste en une espèce d'épiderme de glace, compacte et continue, résultant de la chute de la pluie ou de l'extension du brouillard, sur un support solide suffisamment froid. Son épaississement conduirait à la production de la *glace* proprement dite.

Les rapports de l'eau congelée avec les roches, comporte les effets de la congélation de l'eau, qui a pu y pénétrer par l'imprégnation. Il s'agit de la gélivité, qui fait rejeter, pour les constructions, certaines pierres désagrégeables par la gelée et qui justifient cette vieille expression de *froid à pierre fendre*.

La gélivité résulte tout entière de cette exceptionnelle circonstance, que le maximum de densité de l'eau, en voie de refroidissement, précède le moment de sa solidification : pour elle, se congeler, c'est se dilater. La puissance mécanique qu'elle développe

1. Un vol. in-18, p. 29, Paris 1749.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ainsi, a été consacrée par des expériences célèbres. A la fin du XVIe siècle, les Académiciens de Florence, firent congeler de l'eau dans une sphère de cuivre mince, qui se gonfla au point de ne pouvoir plus passer par un anneau qu'elle traversait facilement avant la congélation. Huyghens répéta ces essais avec un canon de pistolet rempli d'eau, dont la lumière avait été fermée et qu'on avait bouché à l'aide d'une vis. Placé dans un mélange réfrigérant, il fit entendre un craquement et on le retira fendu. Le major Edouard William étant à Québec, remplit d'eau une bombe de 13 pouces de diamètre, (40 centimètres) après l'avoir fermée à l'aide d'un solide bouchon. On l'exposa au froid et, au bout d'une heure, le bouchon fut lancé à 400 pieds (130 mètres). Il sortit du goulot un cylindre de glace de 8 pouces de long et, par une fente à peu près équatoriale, l'enveloppe de fer laissa exsuder une lame de glace de 13 pouces de largeur. Musschenbroek, qui vivait dans la première moitié du XVIIIe siècle, a évalué à plus de 12.000 kilogrammes par pouce carré, l'effort produit.

Dans la nature, les conditions de la gélivité sont nombreuses. Certains calcaires grossiers de Paris, se pulvérisent littéralement par le gel et l'on peut se demander s'ils ne remplissent pas par ce moyen une fonction essentielle dans la persistante fertilité de certains sols. De même, la congélation d'un sol argileux, convenablement imbibé d'eau, donne lieu à la production de prismes qui s'élèvent verticalement, de façon que les paysans du Plateau Central disent, depuis un temps immémorial, que ces sortes de terre sont *chandeleuses*, pour se pulvériser au dégel, contrairement à ce que font la plupart des argiles qui deviennent simplement boueuses.

Certaines pierres poreuses ou renfermant des portions qui ont pu s'imbiber, font véritablement explo-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sion, parfois sans bruit, et parfois avec éclat, comme il est habituel en Sibérie.

Au cours du voyage de la *Manche* (juillet, août 1892) Georges Pouchet a recueilli à Jan Mayen, pour la collection du Muséum, où il est déposé, un gros galet de basalte qui est débité perpendiculairement à son axe, en véritables tranches qui complètent sa ressemblance avec un pain. Toutes les tranches ont été maintenues par un lien dans leur position relative.

La gélivité intervient certainement, pour une part des plus notables, dans l'énorme accumulation d'éclats rocheux qui recouvrent les flancs des hautes montagnes et qui même, bien souvent, mettent un obstacle à la détermination des roches, qui en constituent la masse essentielle.

Par exemple, le sommet du Mont Perdu, dans les Pyrénées, est formé d'une calotte arrondie d'éclats de calcaire amoncelés et cachant entièrement la roche en place. Il en est de même du Pic de Néthou qui, vu du port de Vénasque, semble si net, et qui est en réalité une petite plate-forme composée et jonchée de blocs granitiques. Cette abondance de débris fragmentaires est telle qu'on pourrait légitimement être fort étonné de l'absence de toute mention d'éboulis fossiles, dans les traités de géologie.

D'une manière générale, un grand nombre des variétés de marbres de tous les âges auxquels on donne le nom de calcaires bréchoïdes, sont en réalité des éboulis dont on a méconnu le mode de formation.

Il est intéressant de constater que la gélivité, généralement considérée comme un phénomène très accessoire, entre, comme un détail normal, dans l'évolution naturelle de beaucoup de roches importantes. Un exemple nous sera fourni par le silex de la craie. Très fréquemment, dégagé de sa gangue par la pluie dans les régions à sol crayeux (la Champagne, la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Normandie, la Picardie), le rognon de silex est spécialement bien disposé pour se débiter en éclats sous l'influence du froid. Il contient, en effet, presque toujours dans sa substance, des petits lopins de craie qui, tout en gardant leur composition calcaire, ont été entièrement enveloppés par la concrétion siliceuse. Sous l'influence de la gelée, le petit lopin crayeux se dilate et se comporte comme une espèce de coin, qui fait éclater son enveloppe.

J'ai eu l'occasion d'étudier ce phénomène d'une façon précise. Ayant fait ouvrir au lieu dit Prépotin, à la porte de Mortagne, des puits au travers de l'argile à silex, très épaisse en cette région, j'ai constaté, après un hiver rigoureux, que de très gros nodules de silex, à forme tuberculeuse, s'étaient débités par le froid comme le galet de Jean Mayen. Les fragments, séparés par de très fines fissures, étaient restés dans leur position relative, si bien qu'à première vue, les nodules pierreux semblaient intacts. Mais au simple contact de la main, les morceaux se séparaient les uns des autres et on voyait toujours sur la surface de fracture, au moins un amas crayeux.

La facilité de cette fracture m'a porté à conclure que la multitude des éclats siliceux, contenus dans le diluvium de la Seine, et qui ressemblent souvent à s'y méprendre aux lames détachées des *nucléi*, par l'homme préhistorique, dérivent de ce mécanisme qui, comme on le voit, amène, dans la circulation de la silice, des matériaux qui auraient résisté beaucoup plus longtemps aux entreprises de l'*intempérisme*, et qui dès lors peuvent entrer en dissolution dans les eaux superficielles.

§ 2. — La Pente.

Un simple coup d'œil sur des photographies, nous frappe par la localisation du glacier, au moins dans

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ses parties moyennes, entre les flancs de vallées escarpées. Il résulte de ce détail que la glace rencontrée dans cette région moyenne, ne peut pas y être dans une position d'équilibre stable. Les roches marginales ne conservant pas, en été, de neige ou de glace de l'hiver précédent, quoiqu'elles soient plus hautes, parce que leur température, pendant le cours de l'année, est, au moins pendant un temps, supérieure à 0.

Déjà, de ce caractère, on pourrait conclure, si on l'ignorait, que la glace, dans les parties moyenne et inférieure du glacier, est sans cesse renouvelée aux dépens d'un réservoir placé plus haut ; si, dans le lit du glacier, la glace persiste à 1.500 mètres d'altitude, quand la neige ne persiste pas à 2.500, sur les escarpements qui l'encaissent, c'est évidemment, en conséquence d'un ravitaillement incessant. Cette notion, qui nous sera d'une grande fécondité, entraîne avec elle la nécessité de l'inclinaison du sol, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, à la Mer de Glace.

Il peut, de plus, arriver que la vallée par laquelle nous remontons le cours du glacier, disparaisse à une certaine altitude par l'ensevelissement de ses rives sous la neige ou sous la glace. Dans ce cas, le haut de la montagne est recouvert d'un champ de neige que rien ne surmonte, et c'est ce qui arrive au sommet du Mont Blanc, qui ne fait que répéter, à très petite échelle, ce qui arrive à l'immense Inlandsis du Groënland.

On voit, en conséquence, que la nécessité d'une vallée encaissant le glacier ne découle pas seulement de la distribution de la température atmosphérique en altitude, mais aussi de l'inévitable concours de la *pente du sol*, qui permettra l'alimentation en glace, des parties basses de l'appareil glaciaire.

Sur les flancs du Mont Blanc, on trouve de toutes parts, du côté français, comme du côté italien et du côté suisse, des vallées abruptes dans lesquelles s'en-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gagent des ramifications, dont chacune est considérée, désignée et dénommée, comme un glacier distinct.

Il est même indispensable que les vallées descendent du sommet de la montagne, car, si elles se bornent à entourer une protubérance même très haute, qui soit en forme horizontale ou de plateau, l'ensemble se présente comme une espèce de toundra à laquelle on ne peut parvenir que par l'ascension de glaciers, mais qui n'a aucun des caractères de ceux-ci.

Ainsi, Ch. Martins avait dit de Beeren-Eiland (île Cherry) que cette île ne renferme point de glaciers, parce qu'elle n'a pas de vallées : c'est une montagne entourée d'un plateau.

On voit, d'un autre côté, qu'il est vrai de constater que les grands glaciers des Alpes ne se forment que, lorsqu'à l'origine de la vallée, se trouve un cirque élargi, situé au-dessus de 2.600 mètres. Cette forme en amphithéâtre, permet aux neiges de s'y accumuler, de s'y emmagasiner en quantité, pour alimenter le glacier.

Les neiges y ont probablement une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Selon Ramond [1], il faut que la vallée où le glacier s'établit satisfasse à plusieurs conditions : « Si une montagne, dit-il, est trop escarpée pour que la neige puisse adhérer à ses flancs, elle ne produira pas de glacier, attendu qu'ils ne peuvent pas se former sans le concours de la neige. Une montagne isolée ne donnera pas facilement naissance à des glaciers, alors même qu'elle s'élève dans des régions dont la température moyenne est au-dessous de 0. Ainsi, le Siedelhorn, dont la hauteur est de 8.524 pieds, n'a point de glaciers, quoique son sommet soit couvert de neige toute l'année. Il s'en forme au contraire un grand nombre, sur les crêtes bien moins élevées, qui séparent le glacier inférieur de l'Aar, du glacier supérieur ».

Les glaciers n'atteignent jamais les plus hauts

1. Voyage au Mont Perdu. *Journal des Mines*, XIV, 332.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sommets qui souvent ont des pentes trop rapides pour que la neige puisse y séjourner. Celle qui tombe roule bientôt en avalanches et se disperse en poussière au gré des vents.

D'ailleurs, la température trop basse des sommets empêche la transformation de la neige en glace, qui suppose un commencement de fusion.

La règle subit cependant des exceptions et le Grand Cervin qu'on a appelé le *mangeur d'hommes*, à cause du péril de ses ascensions sur sa terrible pyramide, en est une des plus formelles puisqu'il donne naissance à 3.298 mètres à un glacier, de son nom, qui tombe en cascade solide sur le glacier de Z'mutt. Et l'on pourrait établir un contraste entre les deux cas extrêmes, l'île des Ours, et celle d'Amsterdam, qui se trouvent à peu près à la limite des neiges perpétuelles et qui, aussi neigeuses et aussi humides qu'aucun lieu du monde, sont dépourvues de glaciers, pendant que le Mont Blanc, surtout sur son versant sud, déverse le glacier de la Brenva et celui du Miage, sur des flancs dont la pente est inaccessible et qui s'épanchent dans l'Allée Blanche sur un sol peu incliné.

En résumé, le premier résultat que nous pouvons enregistrer, c'est l'indispensable nécessité pour la production des glaciers, de la pente accentuée du sol dans les vallées qui les enserrent.

Il est d'ailleurs bien utile à cet égard, de ne pas confondre la ligne de fond de la vallée avec la pente de la surface du glacier, celle-ci pouvant d'ailleurs être très variable d'un bout à l'autre du fleuve congelé. Ed. Colomb, sur le glacier de l'Aar, a mesuré des pentes qui vont assez régulièrement en augmentant depuis la région supérieure où elles présentent de 2°16′25″ jusqu'à 4°38′02″, pour passer, avec le talus terminal, à 8°18′47″ et même à 10°18′42″[1].

1. Mémoires sur les glaciers actuels. *Ann. des Mines*, XI, 177 1857).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il en est de même pour la plupart des glaciers alpins. Les glaciers suspendus ont des pentes plus fortes. Agassiz a trouvé dans les Alpes, pour le glacier de Trift, de 20 à 25° ; pour celui de Grunberg, 32° ; et pour celui de Zinkenstock, 41°. Nous avons vu que la pente du glacier de Gétroz atteint et parfois dépasse 60°.

Cette pente dépend d'ailleurs de la forme des roches sous-jacentes. Le glacier du Rhône est fort incliné au pied du Galenstock, presque horizontal dans sa partie moyenne, pour se terminer par une forte chute et s'étaler sur un fond, incliné de quelques degrés seulement.

Un étranglement horizontal du glacier entre les parois de sa vallée, qui se rapprochent l'une de l'autre, détermine très ordinairement une accentuation de la pente qui peut devenir à pic. C'est ce qu'on voit si bien à la partie inférieure du glacier des Bossons, où, au sommet de la falaise de glace, se profilent sur le ciel de grands séracs destinés à tomber, chacun à son tour, sur la dernière partie du glacier qui, au contraire, est à pente assez faible.

Cet excès de pente de la glace doit s'expliquer en grande partie, par son accumulation en amont du couloir. Le moulage de la vallée n'est pourtant pas exact, car à chaque instant, il y a séparation du glacier, de son support et de ses parois, témoin la voûte que nous avons vue à la tête de la Mer de Glace.

L'origine et le mode de formation des vallées qui contiennent des glaciers a constitué pour certains géologues un problème particulier, et ce n'est que d'aujourd'hui qu'on est arrivé à y reconnaître des vallées ordinaires, érodées par les agents extérieurs. Par exemple, John Tyndall, pose en fait qu'il existe un type spécial de vallées à glaciers, et il suppose, en calquant une opinion maintenant démontrée fausse,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

relative aux rivières, que ces vallées de montagne sont l'œuvre des glaciers [1].

On ne voit pas cependant ce que cela peut signifier, car il nous semble bien, que pour qu'il y ait glacier, il faut au préable qu'il y ait vallée. C'est, comme on voit, la répétition, mais plus nette encore, de la vieille idée que les vallées ordinaires ont été creusées par les rivières qui coulent sur leur fond. En tous cas, le glacier est incapable de creuser son cirque supérieur, sans lequel il ne saurait lui-même exister.

Quand au procédé mis en œuvre par la nature, pour donner naissance à ces vallées qui recevront un jour des glaciers, nous en avons comme l'intuitive notion par l'examen de l'Asie Centrale.

Tout le monde sait que c'est l'une des régions dont l'altitude est le plus considérable. Elle n'a cependant dans sa plus grande partie et dans la seule qui nous soit accessible directement, aucun caractère qui soit nettement orogénique. Les couches du sol qu'on rencontre au Pamir, « le Toit du Monde », sont sinon horizontales, au moins faiblement incurvées. D'après des échantillons déposés au Muséum, par M. Bonvalot et le prince Henri d'Orléans, qui les ont recueillis à l'est du lac Tengri Nor, à 5.800 mètres d'altitude et que j'ai étudiés personnellement, elles n'on rien de métamorphique. Ce sont des calcaires sableux et friables, dans lesquels se montrent des traces de fossiles que je priai le docteur Paul Fischer de vouloir bien déterminer. Il me répondit : « Les fossiles disséminés dans ces calcaires appartiennent à quatre espèces évidemment secondaires, sans que je puisse affirmer s'ils sont crétacés ou jurassiques ». Eclairé par un grand nombre d'observations antérieures, il me semble résulter, de la manière d'être de ces couches, qu'elles

1. *Archives des Sciences naturelles de Genève*, XVI, 142, (1863), d'après Philosophical Magazine, de septembre 1862.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

constituent le recouvrement d'un massif montagneux en préparation.

En effet, une chaîne de montagnes résulte, avant tout, de la contraction horizontale d'une partie de la croûte terrestre appelée à restreindre sa surface par le rapetissement du noyau interne. Il se produit alors une grande cassure peu inclinée sur l'horizon, ou *géoclase*, sur le toit de laquelle une lame de charriage, formée par des roches profondes, vient se superposer à des assises qui l'avaient recouvertes. Ce redoublement, réalisé d'ailleurs très progressivement, quoique ordinairement à coups de tremblements de terre, détermine le soulèvement progressif du terrain suprajacent, mais avec une énergie bien des fois inférieure à celle qui a intéressé les régions profondes. Dans cette zone supérieure, les cassures se sont épuisées; il n'y a plus de torsion des couches et elles ont même échappé aux réactions métamorphiques. Cette zone supérieure des régions en voie de surrection, constitue une espèce *d'étouffoir*, rendant compatible le déchaînement de ses contre-coups mécaniques, avec l'habitabilité de la surface du sol.

Ajoutons, en passant, que les montagnes du Vieux Monde sont réparties en quatre ridements approximativement parallèles et qui sont d'âge extrêmement différent : c'est d'abord le ridement Calédonien, remontant à l'époque silurienne et dont les vestiges consistent dans les monts Grampiams, en Ecosse et les Alpes scandinaves. Un autre, dit Armoricain et qui ne s'est soulevé qu'aux temps carbonifères nous est représenté par les collines d'Arrée, les Vosges, les Sudètes et l'Oural. C'est de l'époque tertiaire que date le ridement Alpin qui commence à l'ouest par les Pyrénées et se continue, après les Alpes, par les Carpathes, le Caucase et l'Himalaya. Enfin, à une époque très voisine de nous, au temps pliocène un dernier ridement, dit Apennin a donné lieu à l'Atlas

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

marocain, aux Apennins, aux sommets représentés par l'Archipel grec et aux reliefs de l'Asie Mineure.

Un ensemble tout à fait symétrique concerne le Nouveau Monde, avec les Montagnes Vertes, les Appalaches, les Montagnes Rocheuses, les Andes, qui sont des mêmes époques respectives.

Mais, la constitution du relief a pour conséquence inévitable l'augmentation de l'activité intempérique qui, chaque année, s'exerce sur le « Toit du Monde » avec une violence dont M. Bonvalot nous a donné le tableau : « Après que la neige sera tombée et que l'été sera venu, le soleil fondra ces conserves prodigieuses d'eau et ce sera aux alentours de la chaîne Dupleix une débâcle de fin du monde. Une inondation diluvienne déposera des lacs sur les hauts plateaux, les traversera de rivières, qui entraîneront des boues épaisses et laisseront aux flancs des collines et dans les anses, les débris des hauteurs. Ces dépôts resteront là jusqu'à l'été suivant, car l'hiver arrête le cours des fleuves ; puis la chaleur du soleil agit ; elle liquéfie les masses solidifiées. Celles-ci s'ébranlent, coulent, s'emportent, reprennent les dépôts où elles les ont laissés à l'entrée de l'hiver et les enlèvent. D'années en années, étapes par étapes, elles finissent par les charrier toujours plus bas, sans cesse obstruant les vallées, élargissant les gorges, déviant les fleuves, étalant les deltas, comme si une volonté supérieure avait ordonné : « vous, les eaux, de concert avec le vent et le froid, démolirez la montagne et nivellerez la terre [1]. »

Mais avant de démolir la montagne, — la montagne proprement dite, s'entend — les eaux la mettront en évidence. Dépouillées de leur manteau sédimentaire, les roches directement soumises naguère aux actions orogéniques, apparaîtront, avec la diversité de leur

1. *De Paris au Tonkin à travers le Tibet*, p. 215,. Un vol. in-8°, Paris, 1892.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisement, de leur résistance à la dénudation, de la variété infinie de leurs masses juxtaposées. Et alors, mais alors seulement, se produiront, par une vraie sculpture du sol, ces pics, ces cirques, ces gorges, où la neige trouvera toutes les conditions favorables à sa transformation en glace.

Selons nous, cette histoire constitue véritablement *l'embryogénie du glacier*, dont l'évolution nous présentera plus loin, la série de ses phases successives.

Les observateurs sont d'accord pour voir, avant tout, dans les grandes chaînes, Alpes, Pyrénées, Caucase, Himalaya, des résultats d'érosion intempérique, sur des massifs préalablement surélevés.

Les intempéries ne sont d'ailleurs pas toujours les seuls artisans des abrupts reliefs montagneux. Il s'y joint des convulsions ultérieures des régions profondes. A ce titre, il est intéressant pour nous, de citer le phénomène qui s'est produit, en plein Pamir, le 18 février 1911 et que le sismographe de Pulkowa enregistra. Il s'était en effet produit, aux environs de Sarez, c'est-à-dire à 3.800 kilomètres de l'appareil enregistreur, un gigantesque éboulement de montagne. On a évalué la valeur approchée de la masse écroulée entre 7 et 10 milliards de tonnes. L'abaissement du centre de gravité ayant été reconnu de 300 à 600 mètres en verticale, M. Galitzine a calculé que l'énergie totale dégagée par l'éboulement, est comprise entre 10^{23} ergs $\times$ par 2,1 au minimum et 10^{23} ergs $\times$ par 6 au maximum [1].

§ 3. — Géographie glaciaire.

D'après leurs aboutissants, on répartit les glaciers en deux groupes : les glaciers terrestres et les glaciers

1. C. R. *Acad. sc.*, 21 juil. 1815. On sait que l'erg (de εργον, travail) dans le système C. G. S. est fort petit, puisque le kilogramme équivaut à 980,900,000 ergs). Mais 10^{23} est colossal.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

maritimes, ceux-ci cantonnés dans les régions polaires.

Proportionnellement à sa surface, l'Europe est celle des parties du monde qui se trouve le mieux partagée en glaciers. Elle n'a pas les plus hautes cîmes, mais ses sommets sont innombrables, et son atmosphère est largement pourvue de l'humidité favorable à la production des neiges.

Les glaciers européens sont groupés dans les Pyrénées, les Alpes, les Monts Scandinaves, le Caucase.

Les *Pyrénées* sont moins hautes et plus méridionales que les Alpes. Elles n'ont que des glaciers incomplets dépourvus de la traîne. La seule exception est le glacier oriental du Vignemale, qui affecte la forme d'un fleuve, et encore s'arrête-t-il à 2.197 mètres d'altitude. Le versant espagnol ne possède pas de glaciers. En France, ils sont, au nombre d'une centaine, dans la partie centrale de la chaîne. La Maladetta, dont le Nethou est le point culminant (3.404 m.) possède les plus nombreux. Le Vignemale (3.298 m.) en a plusieurs, dont celui de Gavarnie. Il faut citer aussi les glaciers du Mont Perdu, du Marboré, de la Brèche de Roland, du Taillon, etc.

Les *Alpes*, situées à la partie centrale de l'Europe, sont le couronnement de son architecture, en même temps que la ligne de partage de ses grands fleuves. Leurs glaciers sont pour ainsi dire innombrables, car les spécialistes qui ont voulu en faire le recensement, ont commis des oublis. Onze cents pour le moins de ces glaciers ont été nommés ; leur superficie, avec les champs de neige qui les alimentent, a été évaluée à plus de 3.000 kilomètres carrés, et le volume de ceux du Mont Blanc à 14 milliards de mètres cubes, ce qui représenterait, comme le dit Elisée Reclus [1], une masse d'eau égale au débit de la Seine pendant

1. *La Terre*, II, p. 284, Paris (1868).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

neuf ans. Le glacier de l'Aar, aurait à lui seul 2.400.000.000 de mètres cubes.

La France possède le plus haut sommet de l'Europe, (4.810 m., celui du Mont Blanc), dont le versant méridional est en Italie.

La vallée de Chamonix a, dans le Brévent et la Flégère, des observatoires incomparables sur le Mont Blanc. La Flégère (1.910 m.), moins haute et d'accès plus facile que le Brévent, permet de voir aussi bien les énormes sommets et laisse jouir mieux de la vallée. Faisons donc cette jolie ascension. La Mer de Glace, bien en face de nous, semble délimiter deux régions.

Ce que nous voyons à notre gauche, à partir du col de Balme (2.205 m.) par lequel on arrive de Suisse, ce sont : les Aiguilles du Tour (3.350 m. et 3.500) qui dominent le glacier du même nom; l'Aiguille conique du Chardonnet (3.823 m.) et l'Aiguille d'Argentières, en forme de dôme (3.900 m.) qui commandent le glacier d'Argentières; plusieurs glaciers, celui de Lognan, qui s'étend jusqu'au sommet de l'Aiguille du Bochard (2.680 m.), ceux de la Pendant, du Nant Blanc et du Dru; l'Aiguille du Dru (3.185 m.), unie par sa base à l'Aiguille Verte (4.125 m.), la montagne la plus considérable de cette partie du massif; l'Aiguille du Moine (3.420 m.) à la base de laquelle commence le glacier de la Charpoua.

Au loin, bornant la Mer de Glace, s'élèvent l'arête de Talèfre, l'Aiguille de l'Eboulement (3.610 m.) et les Aiguilles de Leschaux (3.780 m.)

A droite de la Mer de Glace, l'Aiguille du Grèpon (2.870 m.), l'Aiguille de Charmoz (3.440 m.), qui domine le glacier des Nantillons; l'Aiguille de Blaitière (3.535 m.) et le glacier du même nom; l'Aiguille du Plan (3.670 m.) et le glacier du même nom, le glacier des Pèlerins, l'Aiguille du Midi (3.843 m.).

Si, sans faire une course d'alpiniste, on veut rece-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

voir une forte impression de ces magnifiques mon tagnes qui n'ont pas toutes, il s'en faut, la forme qu'implique le nom d'aiguille, il faut monter de Chamonix ou du Montanvers, le plan qui les longe à leur pied, bien au-dessus de la Mer de Glace et du glacier des Bossons, entre lesquels il s'étend.

Après l'Aiguille du Midi, est le Mont Blanc de Tacul (4.250 m.). Puis, ce sont les Monts Maudits, dont le plus élevé est à 4.770 m.) et le Mont Blanc (4.810 m.) au-dessous duquel s'étendent les Rochers Rouges (4.492 m.). La Bosse du Dromadaire (4.550 m.) sépare le Mont Blanc du Dôme du Groûter (4.325 m.) qui a, à sa droite, l'aiguille du même nom (3.870 m.).

Ces noms illustres dans les annales de l'alpinisme évoquent le souvenir des ascensionnistes qui abordèrent pour la première fois, après bien des tentatives, ces hauteurs majestueuses.

Pendant de longues années, Saussure entretint l'ambition d'escalader le Mont Blanc, tout en se demandant si l'entreprise était possible, et en proposant, à maintes reprises, des récompenses à qui pourrait parvenir au sommet de la « taupinière blanche » comme l'appelait le guide Jacques Balmat. Et ce Jacques Balmat cherchait le chemin avec ardeur. Il le trouva, alla d'abord jusqu'au-dessus des Rochers Rouges, aperçut le versant italien et Courmayeur, mais fut empêché par le brouillard de gagner la cime. Il redescendit, tint sa tentative secrète et le 7 août 1786, la recommença en s'associant un compagnon, le docteur Michel Paccard, qui mit une « bonne amie » dans la confidence.

Charles Durier[1] a raconté d'une façon charmante les impressions de Balmat, qui d'abord parvint seul au sommet, Paccard s'étant laissé tomber d'épuisement au point extrême atteint par Balmat, dans sa

1. *Le Mont Blanc*. Un vol. in-8°, Paris (1877).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

course précédente. « Il arrive enfin devant une sorte de dos d'âne, une crête étroite et allongée. Est-ce tout? cache-t-elle une autre pointe, un nouveau ressaut de la montagne? Il est dessus et de tout côtés, voit les pentes s'abaisser, plonger dans la profondeur. Il dominait tout. Son regard allait droit vers tous les points de l'horizon, frappant au bout la circonférence immense du ciel, prodigieux changement de scène, sensation extraordinaire pour lui qui, depuis son enfance, avait toujours vu quelque chose au-dessus de soi, l'horizon borné, anguleux, le ciel coupé d'escarpements et d'aiguilles !... » Il redescendit auprès de Paccard qu'il remit sur ses jambes et l'entraîna au sommet. Le docteur, en partant, avait conseillé à sa « bonne amie » de regarder si elle n'apercevrait pas le lendemain deux hommes au-dessus des Rochers Rouges. Elle les vit, courut de porte en porte annoncer la nouvelle. Au signal de Balmat qui, au sommet, fit un drapeau de son mouchoir, une immense acclamation s'éleva de la foule d'étrangers, de guides, d'aubergistes, de femmes, d'enfants rassemblés sur la place où ils se disputaient les télescopes.

Le roi de Sardaigne donna au vainqueur du Mont Blanc une gratification et le surnom de Balmat du Mont Blanc ; Saussure lui remit la gratification promise ; et, un an après, se fit conduire par lui sur la *taupinière*.

Il nous a naturellement conté l'événement : « La dernière partie de la montée, entre ces petits rocs et la cime fut, comme on doit le présumer, la plus fatigante pour la respiration ; mais j'atteignis enfin ce but si longtemps désiré. Comme, pendant les deux heures que me prit cette pénible ascension, j'avais eu toujours sous les yeux, à peu près tout ce que l'on voit de la cime, cette arrivée ne fut pas un coup de théâtre, elle ne me donna même pas d'abord tout le plaisir

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que l'on pourrait imaginer; mon sentiment le plus vif, le plus doux, fut de voir cesser les inquiétudes dont j'avais été l'objet ; car la longueur de cette lutte, le souvenir et la sensation même, encore poignante, des peines que m'avait coûtées cette victoire, me donnaient une espèce d'irritation. Au moment où j'eus atteint le point le plus élevé de la neige, je la foulai aux pieds avec une sorte de colère plutôt qu'avec un sentiment de plaisir. D'ailleurs, mon but n'était pas seulement d'atteindre le point le plus élevé, il fallait surtout y faire les observations et les expériences qui seules donnaient quelque prix à ce voyage ; et je craignais infiniment de ne pouvoir faire qu'une petite partie de ce que j'avais projeté ».

Il nous dit aussi : « Mes premiers regards furent pour Chamonix où je savais ma femme et ses deux sœurs, l'œil fixé au télescope, suivant tous mes pas avec une inquiétude, trop grande sans doute, mais qui n'en était pas moins cruelle; et j'éprouvai un sentiment bien doux et bien consolant, lorsque je vis flotter l'étendard qu'elles m'avaient promis d'arborer au moment où, me voyant parvenu à la cime, leurs craintes seraient au moins suspendues. Pendant ce temps-là, mes guides tendaient ma tente et y dressaient la petite table sur laquelle je devais faire l'ébullition de l'eau[1]. »

Depuis Saussure, le nombre des ascensions du Mont Blanc a été en augmentant graduellement, et c'est par centaines que se comptent les heureux touristes qui ont pu jouir, dans toute son ampleur, du merveilleux spectacle qu'offrent les blanches et majestueuses solitudes du massif.

Elles sont devenues moins fatigantes, à cause des modifications apportées aux itinéraires, et parce qu'on peut passer une bonne nuit à l'auberge des

1. *Voyage dans les Alpes*, t. IV, chap. II, Neuchâtel (1804).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Grands Mulets, rocher de 200 mètres de haut, situé dans les glaces à 3.050 mètres d'altitude.

Le sommet du Mont Blanc est en forme de dos d'âne, avec une longueur de 150 mètres et une largeur de 1 mètre à 1 m. 50.

Du Dôme du Goûter descend le glacier de Tacconnaz, séparé de celui des Bossons par la montagne de la Côte. Nous voyons ensuite le Glacier et l'Aiguille de Bionnassay (4.060 m.), les Rognes (2.700 m.); la Pierre Ronde (3.040 m.), le Mont Lacha (2.110 m.) et le col de Voza (1.675 m.), où se termine la vallée de Chamonix. Pour contempler le massif du côté sud, il faut passer à Courmayeur, à l'embouchure de ce val Ferret, où coule la Loire et qui fait, comme la vallée de Chamonix, une coupure profonde au pied des gigantesques montagnes.

Des glacialistes, ou tout au moins des touristes expérimentés, pour faire ce tour du Mont Blanc, passent volontiers par la Mer de Glace, le glacier du Géant, le col du Géant, à 3.262 mètres, mais les simples voyageurs feront mieux de prendre le chemin de mulets, d'ailleurs çà et là escarpé, qui passe par le col de Voza, le col du Bonhomme, le col des Fours (2.700 m.), le col de la Seigne (frontière de France et d'Italie) et l'Allée Blanche, — itinéraire qui offre, quand il fait beau, de magnifiques aspects, puisqu'il faut passer en vue des glaciers de la Gria, de Bionnassay, de Miage, de la Frasne, de Trélatête, de l'Aiguille (ou de Saussure) et de la vaste étendue glacée de l'Allée Blanche, la coulée courbe de l'autre partie du glacier du Miage, que le col du même nom (3.276 m.) sépare de celle qui s'écoule sur le versant nord et qui n'est que la réunion de trois autres, descendant de l'Aiguille de Bionnassay, du Dôme du Goûter et des Bosses du Dromadaire.

Le glacier du Miage est séparé de celui de la Brenva, qui s'alimente directement dans les neiges du

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mont Blanc, par un massif rocheux composé des Monts du Brouillard, qui se terminent par le Mont Blanc de Courmayeur (4.756 m.), de l'Aiguille du Châtelet (2.324 m.) des Monts Rouges et de l'Aiguille de Peuteret, dominée par l'Aiguille Blanche (4.780 m.). Entre ces montagnes, s'étendent les glaciers du Brouillard et du Fresnay, que ne sépare plus qu'une mince arête de rochers.

Il y a de ce côté du massif un observatoire analogue à la Flégère. C'est le Cramont (2.270 m.) dominé par le Mont Favre (3.320 m.). Saussure a écrit une jolie page sur le spectale dont on y jouit :

« Le Mont Blanc se présente ici de la manière la plus brillante et la plus commode pour l'observateur. On l'embrasse d'un seul coup d'œil, depuis sa base jusqu'à sa cime, et il semble avoir écarté et rejeté sur ses épaules son manteau de neige et de glace, pour laisser voir à découvert la structure de son corps. Taillé presque à pic dans une hauteur de 1.600 toises, les neiges et les glaces ne peuvent s'arrêter que dans un petit nombre d'échancrures et il montre partout à nu, le roc vif dont il est composé.

« Sa forme paraît être celle d'une pyramide qui présente au Sud-Est, du côté du Cramont, une de ses faces. L'arête droite de cette pyramide, du côté du Sud-Ouest, monte au sommet, en faisant avec l'horizon un angle de 23 à 24 degrés. L'arête gauche, du côté du Nord-Est, monte au même sommet, sous un angle de 23 à 24 degrés, en sorte que l'angle au sommet est d'environ 130 degrés.

« Cette pyramide elle-même paraît composée de grands feuillets triangulaires ou pyramidaux. Quant à la matière dont est composée cette grande et haute montagne, toute sa cime et toute sa base sont indubitablement de granit, excepté la base de l'arête extérieure du côté du Sud-Ouest.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

« Deux grands glaciers partent des flancs du Mont Blanc, l'un au Nord-Est, c'est le glacier de la Brenva; l'autre du Sud-Ouest, celui de Miage. On voit celui-ci embrasser, en quelque manière, le corps du Mont Blanc ; il semble même se recourber derrière lui du côté de la Savoie. Deux autres glaciers moins considérables sont comme nichés dans les cavités de la face que le Mont Blanc nous présente; l'un, au Nord-Est, est le glacier du Fresnay; l'autre, au Sud-Est, est celui de Broglia [1].

« Mais ces glaciers ne montent point jusqu'à la cime du Mont Blanc : depuis cette cime jusqu'à la cinquième partie, et même jusqu'au quart de sa hauteur, on ne voit que des neiges.

« Ces quatre glaciers du Mont Blanc ne sont pas les seuls qu'on découvre du haut du Cramont, on voit encore celui de l'Allée Blanche et cinq autres considérables du côté du col Ferret, sans parler d'un nombre de petits, jetés çà et là sur le penchant des rochers.

« Qu'on se figure donc le magnifique spectacle que doit former cette haute chaîne de montagnes escarpées, taillées de la manière la plus hardie et la plus variée, entrecoupée par dix grands glaciers et couronnés par des festons de neiges pures et brillantes [2]. »

Outre les montagnes que nous venons de nommer, on voit, à droite du Mont de la Brenva (3.520 m.) qui sépare le glacier de la Brenva de celui de la Troule, trois pointes appelées les Flambeaux, puis le Mont Fréty, dans l'une des gorges duquel passe le chemin du col du Géant; les Aiguilles Marbrées (3.515 m.); l'Aiguille ou la Dent du Géant (4.019 m.); le Mont de Rochefort (4.000 m.) qui sépare le glacier de Roche-

1. Brouillard, par corruption.
2. *Voyages dans les Alpes*, t. II, §. 281 à 285.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fort et celui des Grandes Jorasses, situé au-dessous du sommet principal ce ces grandes Jorasses (4.205 m.); les Petites Jorasses (3.680 m.), les Aiguilles de Leschaux (3.780 m.) qui dominent le glacier de Freboutzie, séparé du glacier de Triolet par le Mont Gruetta (3.685 m.) Les Aiguilles de Talèfre (3.745 m.) et de Triolet (3.880 m.) dominent le glacier de Triolet, séparé par le Mont Rouge, du glacier du Mont Dolent, au-dessus duquel s'élève ce Mont Dolent (3.830 m.), d'où se détache une arête calcaire, par laquelle les montagnes du Grand-Saint-Bernard sont rattachées à la chaîne du Mont Blanc. Cette crête, qui ferme le val Ferret, a trois portes, trois cols, dont le petit et le grand cols Ferret, qui conduisent dans des forêts appartenant à l'hospice du Grand-Saint-Bernard.

Les Alpes ont encore en Piémont, en Savoie et en Dauphiné, des massifs très importants, parmi lesquels il faut citer le groupe du Grand Paradis, avec l'Aiguille de la Grivola (4.010 m.), le Mont Cenis, la Vanoise, qui a un vaste glacier, le Pelvoux, avec la Barre des Erins (4.010 m.) et l'Aiguille de la Meige (3.987); enfin, le Viso (3.840 m.), qui fait la jonction entre les Alpes Cottiennes et les Alpes Maritimes. Ses glaciers, plus considérables du côté italien que du côté français, donnent naissance, là au Pô, ici au Guil, affluent de la Durance. Une longue crête rocheuse le prolonge jusqu'au Petit Viso (3.330 m.) qui domine le glacier d'Asti.

La Suisse, presque tout entière, est occupée par les Alpes et l'on y compte plus de mille glaciers. Si nous y pénétrons par Genève et le Léman, nous arrivons, après plusieurs heure d'une navigation délicieuse, dans la vallée du Rhône que semblent garder deux forteresses : la Dent du Midi (3.285 m.) sur la rive gauche, la Dent de Morcles (2.939 m.), sur la rive droite. La vallée du Rhône, c'est le Valais, que bor-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dent les plus puissants massifs, et d'où l'on peut gagner, d'abord par la rive droite, les Diablerets; par la rive gauche, le Mont Blanc, où l'on va par plusieurs chemins également faciles : la Tête-Noire ou le col de la Balme, en partant de Martigny ; Salvan, en partant de Vernayaz.

Mais nous irons plus loin, et de la vallée qui a longé les « Géants de l'Oberland Bernois », nous en laissera voir une autre, celle de la Viège (*Visp*), que nous prendrons pour visiter l'énorme massif qui comprend le Mont Rose et le Grand Cervin (*Matterhorn*).

Le Val Saint-Nicolas, prolongement de la vallée de la Viège, aboutit à Zermatt (1.620 m.), village d'ou l'on part pour les grandes ascensions, aussi bien que pour le merveilleux observatoire qui s'appelle le Görnergrat (3.136 m.) dont l'escarpement descend sur le glacier de Görner.

Le groupe du Mont Rose sépare le Valais du Piémont, entre lesquels plusieurs cols établissent un passage direct. Quatre grandes vallées en descendent : en Suisse, celle de Saint-Nicolas; en Italie, celles de Lyss (Gressoney), de Sesia et de Macugnaga. En regardant le panorama à partir du Mont Rose, nous voyons le Strahkorn (4.190 m.) et le Stockhorn (3.534 m.) et les deux cols du Weisstho (3.612 et 3.576 m.). Le Mont Rose a neuf cimes escarpées, dont les altitudes sont comprises entre 4.645 m. et 4.223 m., mais dont l'ensemble ne se voit que de très loin : deux seulement, dont la plus haute, apparaît au Görnergrat : le Nord End (4.612 m.) et la Pointe Dufour, le véritable sommet (4.636 m.). Entre le Jägerhorn (3.975 m.) et la Pointe Dufour, descend le glacier du Mont Rose qui se jette dans l'énorme glacier de Görner, où descend également le glacier de Grenz entre la Pointe Dufour et le Lyskamm (4.538 m.) qui, du côté de l'Italie, donne naissance au glacier de Lyss. Du côté suisse, le Mont Rose est couvert d'une neige

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

abondante, qui semble l'ouater et en rendre l'escalade facile. Du côté de l'Italie se dresse une gigantesque muraille rocheuse. Le col du Lys ou Silberpass (4.324 m.), entre le Lyskamm et le Parrot Spitze du Mont Rose, est le passage le plus élevé des Alpes ; il met en communication Zermatt et la vallée de Gressonney.

Au Mont Rose s'appuient deux chaînes, presque à angle droit, l'une qui vient du Grand Cervin; l'autre dont le plus haut sommet est la Cima di Jazzi (3.830 m.) se rattache aux Mischabelhörner. Les Zwilinge ou les Jumeaux (Castor et Pollux) (4.230 m. et 4.094 m.) sont réunis au Lyskamm par une crête neigeuse. Du Breithorn (4.170 m.) qui porte si justement ce nom de Mont Large, le glacier de Schwarz et le glacier du Breithorn descendent dans le glacier de Görner. L'escarpement rocheux du Triftje (2.680 m.) au centre de ces glaces, sépare le glacier du Breithorn, de celui du Petit Cervin (3.886 m.) où commence le glacier de Saint-Théodule, dont le col, à 3.322 mètres, établit un passage entre la Suisse et l'Italie. Et le regard se pose avec admiration sur la pyramide si caractéristique du Grand Cervin (4.482 m.) au pied duquel est le Hornli (2.893 m.) d'où l'on a une vue saisissante sur ce colossal monument de la nature. A droite du Grand Cervin, commence, à une hauteur de 3.298 mètres, le glacier qui porte son nom et dont la partie inférieure rejoint le glacier de Z'mutt encore neigeux, mais qui, plus bas, ne montre qu'une surface noire de pierrailles. Il donne lieu à un cours d'eau, dont le confluent avec le torrent que produit le glacier de Görner, forme la Viège, affluent du Rhône. Viennent ensuite, la Dent Blanche (4.364 m.), séparée de l'Ober Gabelhorn (4.073 m.) par le col Durand (3.474 m.), passage difficile entre Zermatt et Zinal, de même que le col de Zinal ou Triftjoch (3.540 m.), dominé par le Trifthorn (3.737 m.),

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

joint par une arête rocheuse au Rothorn (4.223 m.).

C'est ensuite le col de Morming (3.978 m.), le Schallhorn (3.978 m.) ; puis, l'énorme Weishorn (4. 512 m.) d'une ascension si difficile, d'où partent trois glaciers escarpés. Les eaux de toutes ces glaces alimentent la Viège (*Visp*). Sur la rive droite de ce cours d'eau s'élève la chaîne des Mischabelhörner, dont les sommets sont seuls visibles d'ici. Le plus élevé est le Dom (4.554 m.). L'Alphubel (4.207 m.) a un double sommet. Plus en avant, le Rothorn (3.418 m.) domine le glacier de Findelen.

Si nous continuons de remonter, après Viège, la vallée du Rhône, nous arrivons bientôt à Brigue, d'où part la route du Simplon, de laquelle on a de beaux points de vue sur l'Oberland Bernois. Mais pour en voir l'ensemble, il faut aller jusqu'à Viesch et faire l'ascension de l'Eggishorn, montagne isolée de 2.941 mètres d'altitude, d'où nous examinerons une partie des montagnes que nous avons vues du Görnergrat et celles de la rive droite du Rhône, qui retiendront surtout notre attention. La principale est l'Aletschhorn (4.167 m.) qui domine le glacier d'Aren, ou, glacier moyen d'Aletsch, dont l'autre rive est formée par les escarpements des Dreieckhörner, derrière lesquels s'élèvent la Jungfrau (4.167 m.) et le Mönch (4.096 m.) dont les névés alimentent le glacier d'Aletsch, un des plus grands des Alpes, qui finit dans le volumineux torrent de la Massa, affluent du Rhône. La crête des Walliser-Viescherhorner forme la rive nord du glacier d'Alestch ; on aperçoit, derrière, le Finsteraarhorn (4.275 m.) ; en avant, c'est le Stralhorner (3.080 m.) au pied duquel s'étend le lac toujours couvert de glaçons, de Maerjelen. De l'Oberaarhorn descend le glacier de Viesch ou de l'Oberaar, par lequel on peut, de Viesch, se rendre au Grimsel, ce qui est fort difficile. Le Vasenhorn (3.467 m.) est sur la rive orientale du glacier et quand

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

il fait très beau, on peut apercevoir, à sa droite, le Galenstock (3.597 m.).

De même que par le glacier de Viesch, le glacier d'Aletsch permet de passer du Valais dans l'Oberland. Mais nous prendrons un chemin plus facile, en continuant la vallée du Rhône, jusqu'au glacier magnifique qui s'épanche du Saint-Gothard.

Ce massif, d'où sortent en directions opposées, le Rhône et le Rhin et aussi le Tessin et la Reuss, est limité par quatre hautes montagnes : le Galenstock, qui domine le glacier du Rhône, et le Schneestock (3.547 m.) au N.-O. ; le Pointe Gallium (3.067 m.), au S.-O. ; le Campo Tencca (3.078 m.) au S.-E. ; le Crispalt (3.080 m.). La chaîne voisine de la Furka a son point culminant à 3.028 mètres.

Il n'est point de glacier plus imposant que celui du Rhône qui, après un parcours de 24 kilomètres, se précipite, en une cataracte figée, sur la vallée qui a là une altitude de 1.666 mètres. Une grotte de glace permet de pénétrer très loin sous le glacier, le plus considérable de la Suisse après celui d'Aletsch. Le Rhône en sort abondant, grisâtre, plein de neige.

Du glacier du Rhône, on se rend dans l'Oberland, par la Maïenwand, escarpement de 488 mètres, pourvu d'un bon sentier. On franchit le col du Grimsel et l'on arrive à l'hospice du même nom (1.881 m.) célèbre dans l'histoire des glaciers, parce que les « Neuchâtelois » en firent l'une de leurs stations et le point de départ de nombreuses explorations. C'est de là que l'on va visiter les deux glaciers de l'Aar, séparés l'un de l'autre par le Zinkenstock. Le glacier inférieur qui donne lieu à la source principale de l'Aar, est prolongé par les glaciers de Finsteraar et de Lauteraar, séparés par l'Abschwung (3.475 m.). Pour les voir dans leur ensemble, il faut gravir le petit Siedelhorn (2.766 m.) à deux heures de l'hospice. Le glacier inférieur, qui part du pied du Schreckhorn (4.080 m.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

a sa glace salie, par les éboulis des rives. On peut aller du glacier, inférieur de l'Aar à Grindelwald par les glaciers de la Strahlegg. Les plus belles montagnes achèvent l'intérêt du spectacle.

Reprenant notre tour du massif de l'Oberland, nous nous mettons en route pour Grindelwald, en suivant l'Aar, tantôt sur sa rive droite, tantôt sur sa rive gauche, et nous voyons en passant, la cascade de la Handeck où l'Aar et l'Elerbach confondent leurs eaux. Nous passons par Guttanen, Meiringen; puis, en suivant le cours du Reichenbach, nous arrivons devant le glacier de Rosenlaui, à la glace bleue et transparente, resserrée entre le Telhorn et l'Engelhorn, et nous gravissons la Grande Scheideck, dont la vue est saisissante sur la vallée de Grindelwald et les neiges des grands sommets.

Grindelwald, à 1.250 mètres d'altitude, est célèbre par ses deux glaciers qui s'étendent entre trois montagnes énormes : l'Eiger (3.975 m.), le Mettenberg ou Mittelberg (3.107 m.), qui est la base du Schreckhorn, et le Wetterhorn (3.708 m.). Les deux glaciers touchent pour ainsi dire à Grindelwald, même. Le supérieur que l'on voit très bien en descendant de la Grande Scheideck, descend à 1.174 mètres; l'autre, que l'on appelle aussi la Mer de Glace, du moins dans sa partie large, descend à 1.011 mètres, c'est-à-dire à 125 mètres au-dessous de l'église de Grindelwald. Il est, dans sa partie basse, resserré entre l'Eiger et le Mettenberg et sa glace est terreuse; mais dans sa partie haute, il y a de magnifiques aiguilles, très pures. Des grottes artificielles y sont pratiquées pour l'agrément des touristes; il est dominé par les sommets des Viescherhorner.

Pour voir l'ensemble du massif, on se rendra au Faulhorn (2.683 m.), (le Mont Pourri), parce qu'il est formé de schistes noirs très friables. Dans le panorama qui s'offrira à nous, nous verrons, en commen-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

çant, par le Nord-Est, le Wildgerst (2.892 m.) et le Schuanzhorn (2.930 m.) entre lesquels s'écoule le petit glacier de Blau, le Welhorn (3.196 m.) et le beau Wellerhorn (3.708 m.) entre lesquels se trouve le glacier de Schwarzwald, le Berglistock (3.657 m.) au-dessus du glacier supérieur de Grindelwald, de même que le Schreckhorn (4.088 m.) ; le Simelihorn (2.752 m.) qui masque le glacier inférieur de Grindelwald ; le Finsteraarhorn (4.275 m.) le sommet le plus haut de l'Oberland ; les Viescherhorner, dont le point le plus élevé est à 4.048 mètres.

Vient ensuite le groupe imposant de l'Eiger (3.975 m.) du Mönch (4.096 m.), de la Jungfrau (4.167 m.), le Silberhorn (3.690 m.). Enfin, à l'Ouest et au Sud-Ouest., le Breithorn (3.774 m.), le Tschingelhorn, le Gaspaltenhorn (3.432 m.), la Blümlis Alp, (3.670 m.), la Wildefrau (3.262 m.) achèvent le panorama.

Le plus à l'est des grands massifs de la Suisse, est le Bernina, qui sépare la Haute-Engadine, et le val Bregaglia, de la Valteline. Sa plus haute cime est le Piz Bernina (4.054 m.) dont l'ascension est longue et périlleuse. Le Piz Languard (3.266 m) que l'on gravit sans difficultés sérieuses, offre, de Pontrésina, la vue la plus étendue sur cet important massif. Nous ne nommerons que les montagnes principales : au Sud-Est l'Albris (3.166 m.), puis le Bernina dont les sommets principaux sont : la pointe Cambrena (3.607 m.), le piz du Palu (3.921 m.), d'où descend le glacier de Pers, le piz Zupo (3.999 m.) et le piz Bernina (4.052 m.) entre lesquels s'écoule le grand glacier de Morteratsch, avec une belle moraine médiane, et qui descend si bas dans la vallée, qu'on y va en omnibus de Pontrésina ; il a pour fond la Cresta Aguiza (3.872 m.) ; derrière le Morteratsch, la pointe Roseg (3.943 m.) qui donne son nom à une profonde vallée ; la Iscchierva (3.570 m.), le Corvatsch

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

(3.468 m.), etc., tous ces pizs ayant à leur pied de superbes glaciers et offrant au voyageur, parmi les plus beaux paysages neigeux, des passages carrossables, tels que le Julier et l'Albula.

La Haute Engadine, enserrée entre ces pizs et ses glaciers, a un climat des plus rigoureux, dont ses habitants disent qu'il se compose « de neuf mois d'hiver et de trois mois de froid ». C'est en somme celui de la Suède.

Les glaciers, dans les Alpes tyroliennes, sont nombreux, très élevés et dominés de peu par les sommets ; ils ne descendent guère au-dessous de la limite des neiges persistantes. Les principaux massifs sont : l'Orther, l'Œtzthal et le Gross Glockner, celui-ci, à la limite du Tyrol, du Salzbourg et de la Carinthie.

L'Orther, qui a une belle forme arrondie, atteint une hauteur de 3.905 mètres; son ascension est longue et pénible. Non loin se dressent : l'Eiskogel (3.570 m.), le Zebru (3.830 m.) qui domine des glaciers très escarpés, le Monte-Cristallo (3.420 m.) dont le glacier est au-dessus du col du Stelvio, par où passe la plus haute route carrossable de l'Europe (2.877 m.), le Cevedale Spitze (3.740 m.), le Zufall Spitze (3.767 m.), le Pic del Mare (3.600 m.) et le glacier de Forno, etc., toutes ces montagnes séparant le Tyrol de la Lombardie.

Le grand massif des Œtsthaler Ferner, au nord du Tyrol non loin de la Bavière, compte un grand nombre de pics et de glaciers. Le sommet le plus haut est le Wildspitze (3.752 m.). Viennent ensuite le Linker Ferner Kogel (3.480 m.), le Fluchtkogel (3.580 m.), le Blick Spitze (3360 m.). Il y a dans l'Œtzthal une véritable accumulation de glaciers.

Comme les précédentes, la chaîne de Gross Glockner comprend de nombreux pics et glaciers. Des deux sommets du Gross Glockner, le plus haut a une altitude de 3.765 m. et domine les grands glaciers de-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pasterze. L'Eishögele a 3.410 m. ; le Kasten Spitze 3.420 mètres ; le Gross Wiesbachhorn (3.555 mètres).

Les sommets des Monts Scandinaves, sont loin d'être aussi élevés que ceux des montagnes que nous venons de voir ; mais la haute latitude, l'humidité de l'air, établissent une compensation favorable à la production des glaciers, et la limite des neiges perpétuelles est de 1.200 à 1.400 mètres. Les gorges qui descendent aux fjords, sont remplies de coulées congelées qui parviennent à 500 mètres, ou plus bas, du niveau de la mer. La plus importante, le glacier de Lodal, alimentée par les névés du Justodelet longue de 8 kilomètres, ne s'arrête qu'à 400 mètres et le glacier de Bondusbraen, à 295 mètres.

Nous devons à M. Charles Rabot, des détails sur les glaciers de la *Laponie*, dont il a vu l'ensemble du haut du Sarjektjakko (2.135 mètres), le point le plus haut de la Scandinavie septentrionale. Outre les glaciers du Sarjektjakko, du Sulitjelma, du Svartisen, qu'il rattache au type alpin-norvégien, il en cite d'une autre catégorie, qui se rapprochent des glaciers polaires, et sur lesquels il donne d'intéressantes précisions : « Le Jökulfjeld, qui recouvre une presqu'île de l'Océan glacial (70° lat. N.) est un plateau, à pic de tous côtés, s'élevant perpendiculairement de 1.000 à 1.200 mètres au-dessus des fjords qui l'environnent et recouvert, dans sa partie supérieure, d'un névé presque plat, d'où descendent, dans de profondes vallées, des courants de glace hérissés de séracs.

« En naviguant sur les fjords qui entourent ce plateau, sur lesquels se reflète ce vaste glacier, le voyageur se croirait en présence des plages glacées du *Spitzberg*. Dans le Jökulfjord, de petits isbergs, flottant sur ce bras de mer complètent l'illusion. Les meilleurs ouvrages de géographie répètent que la branche du glacier descendant dans le Jökulfjord est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le seul courant de glace qui atteigne dans l'Europe continentale la surface de la mer. Cette expression n'est pas exacte. L'escarpement du plateau est, au fond de ce fjord, si abrupt, que le glacier ne peut descendre comme il le fait dans le Romsdal. Il forme alors, au-dessus du précipice, une couronne de séracs qui, s'effondrant de temps en temps, va constituer, à la base de la paroi, un puissant monticule de glace duquel les eaux du fjord détachent de petits glaçons. Le glacier du Suphel (Jostedal) présente un aspect analogue. L'escarpement de la pente par lequel il descend, le force à se séparer en deux; mais le nouveau glacier qui se reforme à la base de la paroi rocheuse est beaucoup plus considérable que celui du Jökulfjord. Sa largeur atteint même 1.000 mètres, d'après M. de Seue. On peut comparer à ces glaciers, celui de Gétroz, dans le Valais, à l'extrémité duquel roulent des blocs qui barrent le cours de la Dranse. Si ce versant du Jökulfjord ne possédait cette raideur de pente, certainement le glacier n'atteindrait pas le niveau de la mer. Tous les autres courants qui descendent du plateau restent, en effet, au-dessus des fjords, à une hauteur dépassant 100 mètres ». Dans une de ses ascensions, M. Rabot trouva, sur un glacier, de pente modérée, à une altitude de 1.150 mètres, « un petit jardin de *Ranunculus glacialis* [1].»

En *Islande*, terre de feu et de frimas, la limite des neiges persistantes est à 860 ou 870 mètres. Le plus important des glaciers est le Skrio-Jökul. (Le mot jökul en danois signifie glacier.) Le Vatna-Jökull est pourvu d'un névé très abondant, mais a une pente si faible qu'un glacier ne peut guère s'y former.

Le *Grand Caucase* qui, de la mer Noire à la mer Caspienne, sépare l'Europe de l'Asie, a pour cimes les plus hautes : l'Elbrouz (5.636 mètres), le Kochtan-

1. *La Nature*, 1882, 2e semestre, p. 139.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Taou (5.209 mètres), le Dygh-Taou (5.158 mètres), le Kasbek (5.043 mètres), l'Adaï-Goh (4.646 mètres).

Nous eûmes, au temps où la Russie était puissante et hospitalière, la bonne fortune de visiter cette chaîne spendide, avec le Congrès International de Géologie, sous la direction du professeur Lewinson-Lessing, qui avait admirablement préparé l'excursion et écrit pour elle une importante brochure [1]. Nous vîmes l'Elbrouz, un ancien volcan, cône andésitique, sur les flancs duquel s'épanchent de nombreux glaciers de premier ordre et dont les plus importants descendent dans la vallée de la Baksan. Ayant pris la route militaire de la Géorgie, nous nous arrêtâmes à 1.700 mètres d'altitude, dans le village de Kasbek, directement au pied du volcan du même nom. Nous eûmes un prodigieux lever de soleil dans les lueurs roses duquel émergeait le cône blanc, le principal de la cime des deux sommets. L'étendue des glaces et des neiges persistantes du Kasbek, nous dit M. Lewinson-Lessing, est évaluée à peu près à 71 kilomètres carrés. Le Kasbek donne naissance à huit glaciers de premier ordre, dont le plus considérable est celui de Devdorok, célèbre par ses avalanches, qui détruisent périodiquement une partie plus ou moins considérable de la chaussée. Il descend du flanc septentrional du Kasbek, alimenté par un vaste plateau de névés situé à 3.600 et 3.900 mètres d'altitude. Le glacier descend à peu près à 2.300 mètres et, non loin de son extrémité, un promontoire rocheux vient barrer la vallée et la transformer en une gorge étroite. La largeur maxima du glacier est de 2.500 mètres. Son front est tronqué à pic et présente, dans sa coupe, une multitude de couches de boue. La boue couvre aussi une grande partie de la surface.

1 *Guide des Excursions du VIIe Congrès géologique International* (XXII). De Vladi-Kavskaz à Tiflis, par la route militaire de la Géorgie. — St-Pétersbourg (1897).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il y a aux environs de Kasbek plusieurs ruines sacrées, et une très ancienne église se trouve en face du glacier Orotsvéri. Entre ce glacier et celui d'Abanot, il y a des restes de monastère. La montagne est creusée de cavernes ayant servi, dit-on, d'abri à de nombreux anachorères.

M. Lewinson-Lessing nous mena aussi à l'Ararat, volcan composé de deux sommets, dont l'un, le Petit Ararat semble la reproduction très réduite de l'autre, le Grand Ararat. Ils sont séparés par le col de Sardar-Boulagh. Le Grand Ararat, qui a une hauteur de 5.211 mètres est sans précipices ni escarpements; mais la nature de son sol où la lave (de l'andésite augitique), est amoncelée en énormes blocs, s'éboule en pierres coupantes, en rend l'ascension très pénible. On ne trouve la neige qu'à une hauteur de 4.000 mètres; il n'y a qu'un glacier, celui d'Argouri, divisé en deux branches et formant une moraine de seize kilomètres de longueur[1].

Au nord de l'*Asie Centrale*, l'Altaï a de nombreux glaciers, dont celui de Katounia; mais ils sont peu étendus.

L'Himalaya et le Karakoroum, dont le soulèvement est postérieur à celui des Alpes et dont la puissance est considérable, puisque l'Everest ou Caurisambar, dans l'Himalaya Central atteint 8.840 mètres, ont des glaciers plus vastes encore que ceux de l'Europe. Ils sont loin d'avoir tous été reconnus, quoiqu'ils aient été l'objet de bien des études, principalement de la part de Vigne, du colonel Strachey, de Robert de Schlaginweit, du capitaine Montgomerie, etc. Un travail important sur la géologie de l'Himalaya Central par C. E. Griesbach[2] en cite et décrit un grand nom-

1. *De Saint-Pétersbourg à l'Ararat*, par Mme Stanislas Meunier (couronné par l'Académie française). 1 vol. in-18. Paris, 1899.

2. *Mémoirs of the Geological Survey of India*. Vol. XXIII, Calcutta, 1891.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

bre : le Kedarnath, le Gangotri, le Bhagata-Kharak, le Mana, le Tara, le Kosa, le Juma, le Bagina, le Gunna-Khui, le Milan, le Kala-Baland, etc., etc. Ils occupent presque toutes les vallées situées près de la limite des neiges perpétuelles, qui est dans cette région à 4.500 mètres et ils ne descendent pas plus bas que 3.000 mètres. Le Nanda Devi, dont le sommet s'élève à 7.500 mètres, est entouré de coulées de glace, parmi lesquelles le glacier de Couphinié.

Les plus vastes glaciers sont peut-être dans le Karakoroum. Robert de Schlaginweit cite le groupe du Sassar, au-dessus de la grande route commerciale de Leh ou Ledak à Yarkand; et dans le district de Balti, les glaciers de Chorkonda et de Pourkousti, profondément bouleversés, avec de nombreuses crevasses.

M. W. Conway a exploré le Karakoroum dans sa partie occidentale, à laquelle on donne le nom de Mousstagh (montagne de glace). Le pic Katipouchi s'y élève à 7.787 mètres, le Goucherbroum à 7.840 mètres, le pic Mousstagh ou pic Godwin Austeen à 8.660 mètres, d'où descend le glacier Mousshagh de 58 kilomètres de long. M. Conway a fait sur le Golden Throne peut-être la plus haute ascension pédestre, à 7.012 mètres. Le sommet, à 400 mètres plus haut, ne put être atteint, la raréfaction de l'air ayant mis les explorateurs à bout de forces. Durant ce voyage, le glacier déjà connu de Baltoro, dans la vallée de Brahaldo et qui a 60 kilomètres de longueur, avec une largeur atteignant en certains points 20 kilomètres, fut très étudié. Il est formé par deux affluents, dont l'un descend du Watch-Tower India et n'a pas moins de sept tributaires. Le glacier de Biafo (vallée de Chiggar) est une coulée presque en droite ligne, de 103 kilomètres parce qu'il communique avec un autre glacier sur le versant opposé : c'est la plus longue passe glaciaire que l'on connaisse sur un continent. Cette région a été explorée aussi par M. et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mme Workman qui l'ont décrite dans un volume du plus haut intérêt[1].

Le haut plateau du Tibet, d'une altitude de 6.000 mètres, est entouré immédiatement de montagnes dont certaines s'élèvent, d'après Bonvalot, à une hauteur d'au moins 8.000 mètres. D'accord avec son compagnon, le prince Henri d'Orléans, l'explorateur en a baptisé une partie du nom de chaîne Dupleix. Des fleuves de glace, en descendent et s'arrêtent à la plate-forme immense, dans les bas-fonds de laquelle ils forment d'intarissables réserves d'eau, dont les voyageurs qui les ont vues, se demandent si ce ne sont pas là les sources du Yan-tsé-Tiang [2].

L'*Afrique équatoriale* a des glaciers. On s'en doutait depuis longtemps, mais le docteur Hans Meyer a précisé le fait, en escaladant avec M. Purtscheller, le Kilimand'jaro, qui surgit vers 6° latitude sud et en a publié la monographie [3]. Ce massif volcanique a deux sommets : le Kibo et le Mawenzi, dont le plus haut, le Kibo, a une altitude de 6.010 mètres. Le cratère est remplit de névés, qui en débordent et forment plusieurs petits glaciers ne dépassant point 4.900 mètres d'altitude. Un autre cône, le Kenya, à 20° au sud de l'Equateur, aurait aussi des glaciers.

Malgré les longues chaînes qui la parcourent du nord au sud, l'*Amérique* n'est pas aussi riche en glaciers terrestres que l'Ancien monde. Les circonstances locales, et surtout l'humidité de l'air, comme nous l'avons vu, influent beaucoup sur la formation des glaciers. Il faut citer tout d'abord, dans les montagnes de l'Amérique du Nord qui bordent le Pacifique, le Saint-Elie, un volcan, l'une des plus hautes montagnes

1. *In the ice world of Himalaya.* 1 vol. in-8° avec 3 cartes et soixante-sept illustrations. Londres, 1900.

2. *Loc. cit.*

3. *Der Kilimand'jaro. Reis und Studien*, XVI, p. 436, Berlin, 1900.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de l'Amérique, qui dépasse 6.000 mètres. De la base du massif, se détachent de petits glaciers descendant très près de la mer, qui reçoit souvent de leurs blocs de glace. Les monts Baker, Rainier, Saint-Helens, Adams, Hood, offrent des champs de glace plus ou moins importants et dont le plus méridional est par 41°21' de latitude nord.

L'Amérique tropicale, bien que riche en chaînes puissantes et neigeuses, n'a, en fait de véritables glaciers que celui qu'a signalé le colonel Acosta[1] dans la Sierra Nevada de Sainte-Marthe (Nouvelle Grenade), où la limite de la neige permanente est à 4.687 mètres et le sommet le plus élevé à 5.500 mètres. Leur basse latitude (11° N.) mérite qu'on dise un mot de ces formations, dont la plus étendue a reçu de l'explorateur le nom de glacier Beudant. Ce glacier a des crevasses et porte sur son dos des blocs erratiques; mais il ne descend plus dans la vallée. A en juger par les moraines et par les roches burinées et polies, il parvint autrefois à 2.000 mètres plus bas. La chaleur du soleil fond une partie de la glace; il en tombe des blocs dont on entend le bruit et le roulement de dix heures du matin à deux heures de l'après-midi.

Ailleurs, des volcans, qui dépassent 5.000 et 6.000 mètres, comme le Chimborazo, l'Orizaba, l'Altar de l'Equateur, le Popocatepetl ont dans leurs cratères et leurs hautes dépressions de petits amas de glace qui ne présentent en aucune façon les caractères des glaciers. Il faut pour retrouver ceux-ci se rendre dans le centre du Chili, par 33°45' de latitude Sud. Il y en a toute une série à moins de 4.000 mètres d'altitude. Un des plus beaux est le glacier de Cerro da Tolosaïls, occupant de larges ravins qui découpent les sommets des Cordillères. Il faut citer aussi le Descabezado de Maule, à 35° de latitude Sud et

1. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1852, IX, p. 396.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des glaciers qui, sous le 46e degré de latitude sud, descendent très près du niveau de la mer, dans laquelle ils laissent tomber leurs blocs de glace. La chaîne se continue en Patagonie et jusque dans les terres australes, où les glaciers aboutissent à la mer.

La *Nouvelle Zélande* consiste en deux îles comprises entre le 34° et le 47° de latitude Sud. La plus méridionale présente une véritable singularité climatérique.

Elle a, sur sa côte occidentale, une chaîne montagneuse dont les sommets, dits mont Cook, mont Tyndall, mont Arrewsmith, atteignent de 3.000 à 4.400 mètres et sont couverts de neiges persistantes et de glaciers semblables à ceux des Alpes; ils descendent en moyenne jusqu'à 1.240 mètres au-dessus de la mer. A leurs extrémités, ils sont entourés de hêtres, de différentes conifères, d'aralia qui croissent au contact de la glace. Mais il y a bien mieux : le grand glacier de Tasman descend à l'est de la chaîne à 835 mètres de hauteur, et celui de Waiau, à l'ouest, jusqu'à 212 mètres. Il est sous une latitude symétrique de celle de Cannes et d'Antibes et laisse tomber ses blocs de glace, dans une forêt à physionomie tropicale, composée de palmiers, de fougères arborescentes, de dracénas, de métrosidores, myrtacée voisine de l'Eucalyptus.

Les voyages d'Amundsen et de Shackleton au *Pôle Sud*, nous ont appris l'existence d'un vaste continent antarctique. Nous savons maintenant que la « grande barrière de Ross », située entre les terres Victoria et du roi Edouard VII, repose sur la terre ferme et non sur l'océan, comme on l'avait cru. Au delà de cette région très crevassée, en commence une essentiellement montagneuse, où tout d'abord apparaît la chaîne du prince Olaf, haute de 3.000 à 4.500 mètres. Amundsen et ses compagnons eurent à gravir le glacier du Diable, dont la base est à 2.400 mètres et que l'on mit trois jours à escalader, sur un parcours de 31 kilomètres et une hauteur de 1.680 mètres. Après

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

une série de montées et de descentes, l'expédition parvint au point culminant de son trajet, à 3.277 mètres. Le pôle est à 3.070 mètres, au grand plateau du roi Haakon VII ; il y a aussi une chaîne de la reine Maud, également très élevée. Le soubassement de ces montagnes serait archéen.

En 1908, l'expédition de Shackleton reconnut le glacier Ferrar, entouré d'une chaîne qui, au mont Lister, atteint 3.960 mètres. On fit au cours de cette expédition l'ascension de l'Erebus, dont le sommet est à plus de 4.000 mètres et où l'on vit des fumerolles congelées [1].

Si les régions antarctiques sont continentales, les régions boréales sont occupées par l'océan qui recouvre le *pôle Nord*. Les glaciers des îles immenses qui, dans ces contrées désolées, ne sont pourtant point dépourvues des vies terrestres, aboutissent tous à la mer. Ils ont été très étudiés et décrits dans des livres d'un haut intérêt par Nordenskjold, Greelly, Nansen, Peary, Sverdrup. Nous allons leur emprunter quelques détails.

La Nouvelle Zemble est, dans sa partie nord, entièrement couverte de glaciers. « A mesure qu'on s'avance dans cette direction, dit Nordenskjold [2], ils grandissent et se multiplient, nivelant comme au Groënland et au Spitzberg, monts et vallées et transformant l'intérieur des terres en un désert de glaces ». La mer de Kara, déversoir de ces glaces, qui pourtant ne forment pas de grands isbergs, a été traitée de *glacière* par un explorateur russe. Sa faible salure, la rigueur de la température, permettent, en effet, à une épaisse couche de glace de se former pendant l'hiver ; elle se brise durant l'été, mais pour aller s'accumuler sur la côte orientale de la Nouvelle-

1. *Au Cœur de l'Antarctique*, Paris.
2. *Voyage de la Véga*, t. I, p. 157, Paris 1883.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Zemble, où elle obstrue tous les détroits entre cette mer et l'Atlantique.

Au Spitzberg, la limite des neiges persistantes est à 300 mètres, même au Nord de l'île principale par 80° de latitude Nord. Les rivages, et spécialement les *Baked montains* (ou monts aigus) consistent en élévations coniques s'élevant à pic au-dessus de la mer, à une hauteur de 500 à 1.200 mètres et séparés les uns des autres par d'étroites vallées ouvertes sur l'océan et renfermant chacune un glacier.

Les glaciers du Spitzberg ont été aussi visités et décrits par Nordenskjold. Mais nous trouvons une intéressante description de leur ensemble, par M. Bienaimé, alors capitaine de vaisseau, dans le Voyage de « La Manche » à Jan Mayen et au Spitzberg (juillet-août 1892) [1]. Et voici, pour le bateau avançant dans l'océan Glacial, le premier aspect de la terre depuis l'île du Prince-Charles jusqu'au cap Sud, c'est-à-dire sur un espace de plus de 120 milles, entre les parallèles de 76°,30 et de 78°,30 : « Accumulation bizarre de montagnes et surtout de pics noirs zébrés et coiffés de neige, séparés par des vallées d'où l'on voit sortir des glaciers qui viennent se jeter dans la mer. Ce n'est pas gai... et l'on comprend, à cette vue, le sentiment des « condamnés à mort » dont parle Scoresby, envoyés il y a cent cinquante ans par le gouvernement anglais, pour tenter l'hivernage dans ce lieu de désolation. Leur frayeur fut telle, qu'ils supplièrent de les ramener en Ecosse, préférant tous les supplices à celui d'être abandonnés là ».

« La Manche » s'installa au voisinage des glaciers entre lesquels s'ouvre la baie de *La Recherche*, ainsi appelée du nom d'une expédition antérieure, et voici comment furent résumées les observations : Les glaciers descendent presque tous à la mer; les uns

1. Un vol. in-8° Paris (1894) pp. 16, 117 et 118.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

proviennent des sommets peu élevés qui bordent la côte : leur pente est faible et leur mouvement de progression très lent ; les autres communiquent avec l'inlandsis, calotte de glace continentale qui recouvre en partie l'intérieur des terres ; ils arrivent à la mer, comme les autres par leur front et y perdent une quantité considérable de glaçons. Leur longueur peut varier beaucoup. « Tel paraît être le cas du grand glacier de l'Est de la baie de *La Recherche*. De 1838 à 1892, c'est-à-dire en cinquante-quatre ans, sa tranche a reculé de 2 kilomètres vers l'intérieur, laissant à découvert, une surface de mer de plus de 7 kilomètres carrés, où la sonde révèle actuellement des fonds de 35 à 70 mètres formés de vase noire. »

Une ancienne carte, celle de Van Keulen, montre que le glacier, avant les observations de *La Recherche*, a envahi, puis découvert de nouveau la baie qu'il occupe et ces mouvements considérables ne peuvent s'expliquer que si on le suppose alimenté par un réservoir d'une énorme capacité, c'est-à-dire relié à la mer de glace intérieure.

Les explorateurs de *La Recherche* l'ont vu, en effet, du sommet du Mont de l'Observatoire, se perdre à l'horizon vers l'intérieur. Le glacier de l'Est peut être comparé à un immense thermomètre dont la hauteur dans le fjord est proportionnelle à la quantité de neige tombée sur l'*Inlandsis* et par suite, dans une certaine mesure, aux variations climatériques du Spitzberg.

« Lors du voyage de *La Recherche*, ce glacier n'avait pas de moraines visibles, et c'était là une des particularités qui avaient le plus frappé les explorateurs. Actuellement, on trouve de chaque côté du fjord, sur une longueur de plus de 1.500 mètres, une falaise de glace ancienne, recouverte de débris, et la pointe, en forme de presqu'île, qui termine cette falaise au sud, est le reste d'une vieille moraine que le glacier a découverte. »

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Durant l'expédition polaire suédoise de 1872-1873, Nordenskjold et le lieutenant Palander, traversèrent l'inlandsis de la Terre du Nord-Est et évaluèrent sa hauteur moyenne à 500 ou 600 mètres.

Le but de l'expédition était d'atteindre une haute latitude, — le pôle peut-être, — en avançant sur la glace le plus loin possible. Les voyageurs atteignirent presque le 81e degré, ce qui n'avait pas encore été fait sur une inlandsis. Et voici l'une des descriptions que Nordenskjold nous donne du désert de glace : « Aucune chaîne de montagne ne s'élevait au milieu du glacier; l'inlandsis se développait en une immense plaine, s'élevant vers le sud et vers l'ouest par une pente continue, mais trop peu sensible pour être perceptible à l'œil. Dans ces directions, elle atteignait, semble-t-il, à une certaine distance, l'altitude de 600 à 900 mètres. Sur cette steppe glacée, le moindre souffle de vent soulevait un nuage de fines particules neigeuses. Cette poussière pénétrante, était pour nous, aussi désagréable que les tourbillons de sable, pour ceux qui traversent le Sahara. Le frottement continuel de ces particules neigeuses sur la surface de l'inlandsis avait poli la couche superficielle, constituée par une neige fortement tassée, et lui avait donné l'aspect d'un dallage de marbre ou plutôt d'un tapis de velours blanc... A une profondeur d'un mètre à un mètre et demi, la neige se changeait en glace. On trouvait d'abord une couche de grands cristaux de glace, qui auraient fait l'admiration d'un cristallographe, plus bas, une couche de névé, enfin de la glace dure et compacte. Cette glace était remplie de bulles d'air comprimé par la pression susjacente ».

Suit une comparaison de l'inlandsis du Groënland avec celui de la Terre du Nord-Est. « A quelque distance de la côte, l'inlandsis du Groënland forme de larges cuvettes remplies de petits lacs sans émissaires apparents, alimentés par de nombreux ruisseaux.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'inlandsis de la Terre du Nord-Est, ne renferme au contraire aucune nappe d'eau; mais, près du cap Mohn, il est sillonné de canaux, la plupart parallèles entre eux et distants les uns des autres, en certains endroits, de 100 mètres environ. La largeur de ces canaux varie de 10 à 32 mètres, et leur profondeur maxima atteint 13 mètres. Nos traîneaux n'auraient pu descendre l'escarpement vertical de ces fossés sans être déchargés; la traversée de cette région aurait été par suite impossible, si, en certains endroits, le canal n'eût été entièrement comblé par des amoncellements de neige. Ces « ponts » étaient toujours aux points où les canaux formaient un zigzag. L'existence de crevasses, parfois très larges et remplies de neige à la base des berges du canal rendait ces passages dangereux. »

Les voyageurs quittèrent l'inlandsis à l'Ouest de la Terre du Nord-Est, dans la baie de Wahkenberg. « La descente du glacier au milieu de la mer, une descente de 600 mètres, fut très facile; ce fut seulement en goûtant l'eau, que nous nous aperçumes que nous avions quitté le glacier pour la banquise [1]. »

Le lieutenant Peary s'est avancé, en 1892, jusqu'aux confins Nord du Groënland, qui se trouvent sous le 82e parallèle. Au delà, c'est la mer polaire.

Avant de se diriger vers l'extrême nord, Peary, accompagné de sa femme et des autres membres de l'expédition, avait reconnu et baptisé douze énormes glaciers. Puis, avec un seul compagnon, il partit du grand glacier de Humboldt, découvert par Kane et marcha suivant la direction du pic Petermann et des glaciers Sherard, Osborne et Edouard. Le sol s'élevait graduellement, en pente douce. Enfin les voyageurs virent la côte se terminer soudain, au nord et

1. *La seconde expédition suédoise au Groënland*, trad. de Charles Rabot, p. 144. Un vol. in-8° Paris (1888).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

s'infléchir vers le sud-est. Ces Américains lui donnèrent le nom de Baie de l'Indépendance, en l'honneur du jour (4 juillet) où ils la découvrirent.

En forme de losange irrégulier, le Groënland mesure 1.400 milles de longueur sur un peu plus de 900 milles de largeur. Plus des trois quarts de sa surface sont couverts par l'inlandsis, qui a pour émissaires, quinze grands glaciers, situés sur la côte, le long de la mer de Baffin.

Il fut exploré deux fois par Nordenskjold, puis, entre ces deux expéditions, par Jensen, enfin, par Nansen, qui le traversa.

En juillet 1870, Nordenskjold aborda l'inlandsis à peu peu par 67°, dans l'Aulaitsivikfjorf. L'escarpement terminal du glacier, était de quelques centaines de mètres et il fallut l'escalader, en profitant d'une crevasse et en se hissant à l'aide d'une corde de 100 brasses. « Dans les régions qui n'étaient pas crevassées, l'inlandsis ressemblait à une mer fouettée par la tempête. »

Après six jours de voyage, les explorateurs se trouvaient par 68°,22 à 51 kilomètres du fjord et à une altitude de 551 mètres. Du haut d'un monticule de glace, ils examinèrent le *paysage* : « A perte de vue s'étendait le glacier, s'élevant, par une pente continue, vers l'intérieur du pays ; aucun pointement rocheux n'était visible ; vers le nord, vers l'est et vers le sud, l'horizon était limité par une ligne de glace aussi nette que celle de la mer ». Ils firent encore un bout de chemin et revinrent sur leurs pas, à 56 kilomètres de leur point de départ et à 638 mètres d'altitude. Il n'y avait aucune pierre sur cette partie de l'inlandsis, mais elle était criblée de ces trous cylindriques, dont nous avons parlé, ainsi que de la cryokonite qui en tapissait le fond.

Jensen fit son exploration à une latitude moindre (63°) que celle choisie par Nordenskjold dans son

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

premier voyage. Son but était de reconnaître les *nunataks*, pics isolés au milieu de l'inlandsis. Ce mot désigne aussi les masses rocheuses qui, à la lisière du glacier, ne sont que partiellement entourées par la glace. Mais ceux que Jensen avait en vue, étaient des « montagnes noires » que le voyageur Dalager avait aperçues. Il y arriva, en effet, à une altitude de 1.537 mètres. « Le coup d'œil était grandiose sur le groupe de ces nunataks noirs se dressant, au beau milieu du glacier éblouissant. A l'est, la surface du glacier était, en plusieurs endroits, très tourmentée, vraisemblablement par suite des inégalités du sous-sol. Arrêtée par les nunataks, comme par une digue, dans son mouvement d'écoulement vers l'ouest, l'inlandsis présentait de ce côté une surface très tourmentée. La mer de glace venait se briser, comme un énorme flot solidifié, contre cette rangée de pics, et atteignait presque leur sommet, puis elle passait entre les rochers, ainsi qu'une énorme cascade subitement congelée et s'abaissait ensuite vers l'ouest. Au pied de cette chute de séracs, s'étendait un grand lac en partie remplie d'isbergs[1]. »

Sur ces rochers, qui semblent le domaine du froid stérile, à 40 kilomètres dans l'intérieur du Groënland, il y a un peu de vie. Près des flaques d'eau, dans les fentes des pierres, dans les graviers humides, s'abritent sous des mousses, de petites plantes comme la *Luzula hyperborea* et le *Carex nardina*. L'*Oxyria digyna* poussait en si grande abondance sur le bord des ruisseaux, que les voyageurs purent s'en servir comme d'un excellent aliment, efficace contre le scorbut et contre la soif. Il y avait des fleurs, des saxifrages, une campanule, une potentille, une renoncule et bien d'autres. Aucune plante annuelle : mais ce petit eden était habité par un oiseau, *saxicula*, très

1. Nordenskjold. *Loc. cit.*, pp. 159 et 163.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

farouche, sans doute entraîné là par la tempête. Il y avait aussi une larve de papillon et deux araignées, très alertes, bien chez elles.

Pour sa seconde expédition, en 1883, Nordenskjol partit également de l'Aulaitsivikfjord. Il parcourut un espace compris entre le 53° et le 45° de longitude et deux des membres de l'expédition, des Lapons, parvinrent à une altitude de 1.900 mètres : « L'inlandsis présente plusieurs aspects très différents. Devant le glacier se trouve une moraine, d'un relief très faible, constituée par de l'argile mêlée de quelques blocs. Lorsque le glacier se retire, cette argile est délayée et entraînée par la pluie et les torrents glaciaires. Seuls, les grands blocs restent en place, épars sur le terrain que la glace a laissés à découvert. Au delà de la moraine, l'inlandsis s'élève par une pente crevassée couverte d'une mince couche de particules argileuses. Le glacier ne présente cet aspect que dans le voisinage immédiat des rives ; à quelques centaines de mètres de sa lisière, on ne trouverait pas un caillou de la grosseur d'une tête d'épingle.

Plus loin, l'inlandsis est accidentée par des bombements hérissés de pyramides et de crêtes de glace (*toppis*) qui atteignent une hauteur de 6 mètres. Au milieu de ces séracs, très rapprochés les uns des autres, que découpent de profondes crevasses, les traîneaux ne passaient que très difficilement. Ces bombements du glacier, étaient encore accidentés par des monticules de glace (*tufis*) hauts de 60 centimètres à 2 mètres. Sur un côté, ces monticules présentaient une paroi arrondie de glace pure ; sur un autre, un escarpement souillé de cryokonite... Aux régions accidentées faisaient suite des dépressions, en forme de cuvettes, dont quelques-unes étaient occupées par un lac. Ces cuvettes étaient également accidentées par des monticules en forme de *d*, séparés les uns des autres, par des espaces plans et sillonnées de nom-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

breux cours d'eau. A l'altitude de 1.600 mètres, commençait une zone de neige sèche. Cette région présente, semble-t-il, le même aspect que l'inlandsis de la Terre du Nord-Est au Spitzberg. Ce fut le manque d'eau dans ce désert de neige, qui fit le plus souffrir les Lapons durant leur *raid* en patins.

Tous ces détails établissent, que la constitution et l'allure des glaciers polaires sont (cryokonite à part) les mêmes que celles des glaciers terrestres.

L'inlandsis fut traversée par Nansen en 1888 (du 20 août au 24 septembre). Il partit des environs d'Umivik, sur la côte orientale, et descendit sur l'Ameralikfjord. Son itinéraire fut presque en droite ligne, entre le 64e et le 65e degré. Il parvint à une altitude de 2.400 mètres et constata que le glacier continuait de s'élever vers le nord en pente douce [1].

Avant de s'engager sur l'inlandsis, Nansen passa devant le glacier de Puisortok, situé sur une montagne, séparée de l'inlandsis par une vallée couverte de neige. Les Eskimos redoutent de passer devant son front. « On ne doit ni parler, ni crier, ni manger, ni fumer, ni priser quand on double le glacier; on ne doit pas non plus le regarder ni le nommer; sinon, il se met en colère et mort d'homme s'ensuit... » Cependant ce glacier vêle rarement, car son mouvement est très lent; il y a devant lui de grands isbergs; le front est trop peu puissant pour descendre sur tout son périmètre à la mer, et en plusieurs endroits, le sous-sol sur lequel il repose est visible.

La terre de Grinnell, situé au N.-O du Groënland, et dépassant un peu le 83°, a une ceinture de glaciers, une zone fertile et des mers de glace, s'écoulant en glaciers immenses, toutes ces glaces couvrant des

1. *A travers le Groënland.* In-8° Paris 1893, p. 180, trad. Charles Rabot.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

milliers de milles carrés, tandis que la région fertile, longue de 150 milles, large de 40, s'étend des détroits de Robeson et de Kennedy jusqu'au fjord Greely et l'océan polaire occidental. « C'est, nous dit l'Américain Greely, son explorateur[1], que le terrain montagneux et abrupt, ne permet pas aux neiges de l'hiver de se maintenir longtemps. De nombreuses vallées, longues et étroites, sont hérissées d'une quantité énorme de roches nues, dont les divers angles aident à concentrer les rayons du soleil permanent de l'été ; ces vallées servent d'émissaires aux neiges fondues, qui s'écoulent sur leurs falaises. Les rivières de la saison chaude les drainent rapidement... Les longues pointes des fjords, pénétrant profondément dans les terres, recueillent toutes les eaux ; leur surface gelée émet des efflorescences salines qui, se mélangeant à la neige de terre, aideront à la dissoudre au printemps... » Et, plus haut (page 185), Greely nous décrit son agréable surprise, à la vue d'« un lac immense, serti dans le cristal ; sous le soleil de minuit, sa surface neigeuse s'irisait de poudre de diamant, à nos pieds dormait le vaste réservoir d'eau bleue qui alimente la rivière ». Et dans ce paysage une foule d'animaux : loups, renards, lemmings, bœufs-musqués, lagopèdes, dont la chasse sera une précieuse ressource pour les voyageurs.

La flore, naturellement, est à l'avenant de la faune.

Signalons enfin, parmi les glaciers aboutissant à la mer, ceux de la côte de l'Alaska et en particulier celui de Muir qui, avec d'autres, aboutit dans le *Glacier Bay*, avec un front de plus de 3 kilomètres de largeur, merveilleusement coloré. Sa surface est de 350 milles carrés ; il reçoit la contribution de plusieurs glaciers formés eux-mêmes par la réunion d'innom-

1. *Dans les glaces arctiques*, trad. française. Un vol. in-8°, Paris 1889, p. 270.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

brables petits glaciers. Les montagnes d'où ils descendent ne dépassent point 2.000 mètres d'altitude. Le glacier de Muir est remarquable par le nombre, la largeur et la profondeur de ses crevasses et par ses gigantesques séracs; il a à sa surface des moraines importantes et très caractéristiques. Il est actuellement en voie de diminution, comme le prouvent les blocs erratiques, les roches moutonnées situées bien au-dessus de son niveau et les vestiges d'une forêt qui, après avoir été engloutie par la glace, reparaît au jour sous forme de lamentables tronçons d'arbres.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE III

L'activité dynamique des glaciers.

SOMMAIRE. — Opinion des montagnards sur les mouvements des glaciers. — Constatations scientifiques. — Progressions et reculs. — Observations des Neuchâtelois et autres glacialistes. — Les crevasses ; leur classification. — Quelques exemples montrant l'anatomie du glacier. — Etude expérimentale des crevasses. — Phénomènes de traction et de compression. — Théories de la progression des glaciers. — Le regel de Faraday et de Tyndall. — Rôle de l'eau liquide dans le glacier. — Le lac de Marjelen. — Torrents des glaciers. — Comparaison de la pâte glaciaire avec la pâte granitique. — La *cataclase* des glaciers.

Les montagnards des Alpes sont pénétrés, depuis un temps immémorial, de l'inconstance des traits morphologiques de leurs glaciers, au point qu'ils ne faisaient pas de difficulté pour y voir des choses vivantes. Tout d'abord, ils n'hésitaient pas à affirmer, malgré les risées des gens de science, que la longueur d'un glacier n'a rien de fixe, qu'elle change d'année en année et même que des habitations qu'ils nommaient, avaient été inopinément renversées par la tête du fleuve glacé, qui, ensuite, s'était retiré. Ils disaient même que le glacier a une voix, qui gémit avec une telle intensité qu'on l'entend de fort loin. Il fallait se garer de cet être auquel ils attribuaient une malfaisance presque animale, et ils voyaient très justement des alliés dans les arbres : de là des pénalités sévères, — et jusqu'à la peine de mort, — contre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

quiconque portait sur eux une main impie, un coup de hache faisaient saigner le tronc ou les branches. Ce fut aussi par les arbres, que Brémontier protégea contre les sables, les campagnes côtières de l'Océan, menacées de stérilité et d'ensevelissement.

§ 1 — Constatation du mouvement des glaciers.

Les montagnards étaient dans le vrai, quant au mouvement des glaciers, mais ce furent les savants, d'abord incrédules, qui le démontrèrent.

Quelques faits accidentels préparaient à l'observation et par exemple, la découverte que l'on fit à diverses reprises, dans les parties basses des glaciers, d'objets provenant d'expéditions à grande hauteur et qui semblaient avoir spontanément descendu. Durant ses tentatives d'ascension au Mont Blanc, Saussure avait abandonné en 1788 une échelle, au pied de l'Aiguille Noire : elle fut retrouvée, en 1832, à 4 kilomètres en aval de son point de départ.

Le 18 août 1820, le docteur Hamel et deux Anglais partirent de Chamonix pour le sommet du Mont Blanc. Le temps était si mauvais, qu'il imposa vingt-quatre heures d'attente aux Grands Mulets. Malgré l'avis des guides, le docteur ordonne l'ascension. On arrive au Grand Plateau. Un craquement se fait entendre : une avalanche entraîne cinq guides dont trois disparaissent dans la neige. Quarante ans plus tard, le 15 août 1881, on retrouva au pied du glacier, c'est-à-dire 3.500 mètres plus bas que le lieu de l'accident, quelques ossements, une lanterne écrasée, un chapeau de feutre, auquel des cheveux étaient restés attachés. La couleur de ces cheveux réveillèrent les souvenirs d'octogénaires, qui reconnurent l'une des victimes à ces frêles vestiges. Le musée d'Annecy conserve ces reliques et d'autres, dans un coffret en bois d'ébène.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nul n'ignore aujourd'hui le pouvoir conservateur du froid. Les restes rendus par le glacier en auraient fourni à eux seuls la preuve. Au contact de l'air, ils se corrompaient rapidement; mais au moment où elles émergeaient de la glace, les chairs étaient fermes et souples, la peau quelquefois un peu plombée, mais souvent à peine livide. Le sac d'un guide, contenait un gigot de mouton parfaitement reconnaissable, un bouchon de liège avait gardé la teinte rose et l'odeur du vin [1].

Un grand nombre d'observateurs se sont attachés à relever les variations des glaciers. C'est, en effet, une notion aujourd'hui bien acquise que la tête d'un glacier avance et recule successivement, à ce point qu'une moraine fixe semble ne pas exister.

Charles Martins, en 1842, a étudié, à ce point de vue, un très petit glacier descendant du Faulhorn. Lors de sa première visite, ce glacier était plus large que long. A la manière de beaucoup de glaciers des Pyrénées, il ne possédait guère que son cirque supérieur de 72 mètres de large, avec une longueur, suivant la pente, de 36 mètres seulement. En 1842, il mesurait 148 mètres de large et 60 de longueur. En 1844, sa largeur était de 177 mètres, mais en 1846, il n'avait plus que 154 mètres de large, avec une longueur de 91 mètres. Cette allure n'a d'ailleurs pas été expliquée, mais elle nous invite à faire entrer en ligne de compte, cette variabilité de volume, pour en distinguer le phénomène général qu'elle peut dissimuler.

Le même observateur s'occupa spécialement de toute la famille de glaciers de la vallée de Chamonix [2]. De 1846 à 1854, ces glaciers avançaient dans la vallée d'une manière très inquiétante. Mais à partir de 1854,

1. Ch. Durier. *Le Mont Blanc*. In-8°. Paris 1877.

2. *Archives des sciences naturelles et physiques de Genève*, XXVI, 299 (1866).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ils se mirent à décroître. Les Bossons, qui menaçaient sérieusement le village du même nom, s'en étaient éloignés de plus de 500 mètres en 1865, et en 1879, ils commencèrent à regagner de leur volume. Les autres glaciers présentèrent des circonstances analogues, de façon à faire supposer que des conditions climatériques intervenaient, mais sans qu'on puisse leur attribuer tous les faits observés, chaque point semblant influencé par des circonstances particulières.

Dans un grand nombre de cas, en effet, on a vu de véritables contradictions dans des localités très voisines, et le prince Roland Bonaparte a relevé, dans les Pyrénées et dans les Alpes du Dauphiné, des documents très précieux sur l'indépendance relative de glaciers voisins.

Pour la période de 1892 à 1895, on constate que les glaciers du Vignemale, de la Brèche de Roland, de Pailhaz, de Néouvelle, de Marboré ont été stationnaires, pendant que ceux du Taillon, du Mont Perdu et des Postes ont avancé.

Mais, par contre, ceux de la Maladetta, du Néthou, des Gourgs Blancs, du Postillon d'Oo ont reculé.

Pour les Alpes du Dauphiné et de la Savoie, l'auteur constate de même que le glacier de la Source de l'Arc étant resté stationnaire, ceux de la Meige, des Evettes, de la source de l'Isère avancent, tandis que ceux de la Pilatte, du Chardon, des Fours, de Rosalin, de Vallombrun reculent [1].

On pourrait croire que les variations de dimension des glaciers tiennent simplement à des additions ou à des soustractions de matière, intéressant exclusivement leur surface : après les fortes chutes de neige, il y aurait augmentation ; après les longues périodes de fusion il y aurait diminution.

1. C. R. Acad., CXIV, 860. *Les Variations périodiques des Glaciers français.* Extrait de l'*Annuaire du Club alpin français*, XVIIe vol.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Or, on constate que tout aussi activement que la surface et peut-être même davantage, la totalité de la masse glacée prend part, dans toutes ses molécules, à cette dynamique qui, par conséquent, est vraiment interne.

Nous devons nous arrêter un moment aux procédés mis en œuvre dans cette recherche, évidemment intéressante, et qui l'est encore plus qu'on ne se l'imagine, à cause des ressemblances imprévues et des liens qu'elle établit entre des chapitres de la géologie, qu'on pourrait tenir pour opposées.

Tout d'abord, pour montrer la réalité et l'amplitude des mouvements glaciaires, on a planté sur un point quelconque de la région médiane du glacier un piquet qu'on a repéré entre deux points fixes des berges opposées. Par exemple, entre une tache caractéristique de la rive droite et une lunette placée sur la rive gauche. En renouvelant la visée, au bout d'un certain nombre d'heures, on trouve que l'alignement n'existe plus et que le piquet s'est déplacé vers l'aval. Il y a donc un écoulement du glacier, selon la pente du terrain et, tout de suite, on est frappé de la lumière qui résulte de cette découverte, en ce qui concerne la persistance de la glace à des altitudes très inférieures à la limite des neiges.

Allant plus loin, on a recommencé l'expérience sur une file de piquets plantés en ligne parfaitement droite entre les deux moraines latérales, et l'on a constaté que tous ces piquets, tout en participant au mouvement de descente, se déplacent de quantités inégales et systématiquement rattachées les unes aux autres. Si on a choisi une partie sensiblement rectiligne du glacier, le piquet médian est nettement en avance sur tous les autres et la ligne qui relie les différents piquets est un croissant dont la convexité est tournée vers l'aval. Et, encore ici, une remarque s'impose, c'est que les mesures prises dans les rivières montrent aussi, dans les parties rectilignes, le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filet liquide médian plus rapide que les autres.

Un complément de ce résultat est fourni par la répétition de l'expérience aux courbures du glacier. Ici, la file des piquets aura une allure tout autre. Le plus empressé à descendre sera celui qui avoisine le plus le rivage convexe de la glace, et celui qui est voisin de la limite concave ne se sera presque pas déplacé. C'est quelque chose d'analogue au *mouvement de conversion* que fait un peloton de militaires pour maintenir l'alignement : c'est encore la reproduction de l'allure d'un cours d'eau dans ses tournants.

Mais ce n'est pas fini. Agassiz et ses Neuchâtelois, ont eu l'idée de planter sur une longueur de 8 kilomètres une file de piquets, selon la pente du glacier de l'Aar, au-dessus du thalweg de la vallée, et ils virent que les éléments de cette file de repère avaient, chacun pour son compte, une vitesse spéciale. La moyenne des observations pendant quatre années consécutives fut pour le piquet le plus à l'amont et que nous appellerons le n° 1 une avance de 38 m. 16 par an; le n° 2 de 74,36; le n° 3 de 77,01; le n° 4 de 67,53; le n° 5 de 70,69; le n° 6 de 56,47; le n° 7 de 38,66; le n° 8 de 29,51, etc.

Il est bien clair que cette différence de vitesse résulte de résistances, comme en provoqueraient des inégalités du fond. En tout cas, c'est encore ce qui se passe dans les rivières, où un canot qui se maintiendrait dans la ligne médiane serait emporté tantôt rapidement et tantôt avec une extrême lenteur.

Une dernière forme d'expérience concerne la distribution des vitesses en profondeur. Les crevasses, qui nous ont frappés à la Mer de Glace, ont été d'un secours décisif dans cette étude. Sur la paroi verticale d'une crevasse parallèle au glacier, on a établi une file de piquets alignés au fil à plomb. Après le délai nécessaire, il fut manifeste que le piquet placé vers la surface du glacier avait marché bien plus vite

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que tous les autres et que ceux-ci avaient subi un déplacement vers l'aval, en relation retournée avec leur profondeur de plus en plus grande. Il y a longtemps que, pour les cours d'eau, la même notion est définitivement acquise.

Les crevasses, d'ailleurs, auraient pu dispenser de recourir à l'installation des piquets. En choisissant une crevasse récente, on a bien des chances de voir glisser sur sa paroi l'eau d'infiltration déterminée par la fonte superficielle, ou abrasion. Si on vient l'observer quelques jours de suite, on verra que peu à peu ce ruissellement est remplacé par une chute tout à fait séparée de la muraille glacée, à cause de l'avance du haut de la cassure. Il peut même arriver que cette eau vienne frapper la paroi opposée, révélant ainsi l'obliquité acquise par la crevasse, d'abord verticale.

Desor a observé que les glaciers ont, non seulement un mouvement longitudinal d'amont en aval, mais qu'ils sont animés en outre d'un mouvement transversal qui tend à déverser les glaces de l'*imum vallis* sur les deux rives et même un troisième mouvement, qui détermine un exhaussement lent des mêmes parties latérales. D'après ses mesures, le mouvement vers l'aval étant chiffré par 18, le transversal l'est par 10 et le marginal de bas en haut, par 6.

En somme, les glaciers sont avant tout des *rivières lentes*, mais où les vitesses sont distribuées exactement comme dans les rivières liquides. La ressemblance est si grande qu'il ne faut certainement avoir aucun scrupule pour demander au glacier des renseignements et des éclaircissements quant aux détails de la dynamique fluviaire. Les crevasses en particulier seront désormais pour nous des stéréogrammes de l'état dynamique glaciaire et les analogies signalées nous autoriseront à en appliquer les enseignements à l'état dynamique fluviaire, impossible à observer directement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ed. Colomb se trompe certainement, quand il regarde les crevasses comme étant un phénomène simplement superficiel et qu'il va jusqu'à affirmer qu'elles ne paraissent pas avoir de l'influence sur le mouvement ou l'économie générale des fleuves glacés. Nous verrons bientôt qu'il renverse le problème, les crevasses nous apparaissant non comme des causes, mais comme des conséquences du mouvement des glaciers : elles sont simplement les parties les plus larges du craquellement qui intéresse toute l'épaisseur du fleuve congelé.

Les crevasses sont extrêmement variées, quant à leur dimension et quant à leur situation relative. Elles constituent une des grandes difficultés d'une excursion en montagne. Souvent même, elles rendent impossibles les itinéraires projetés. Mais il y en a de toutes les tailles et nous verrons plus loin qu'on est contraint de leur rattacher, d'une façon intime, des ruptures presque, ou même tout à fait, microscopiques.

En nous bornant pour le moment à celles qui sont bien nettement visibles, notons qu'elles sont particulièrement nombreuses, dans les points où le glacier a des irrégularités de forme, c'est-à-dire des rétrécissements, des élargissements, des variations brusques dans la pente de sa surface. Pour l'Aar, les Neuchâtelois signalent le pied du Rothorn comme exceptionnellement crevassé.

Agassiz et Desor ont cherché à imposer aux crevasses une classification. Ils en distinguent sept types :

1° Les crevasses marginales sur les côtés des grands glaciers ;

2° Les crevasses en zig-zag également des régions riveraines ;

3° Les crevasses médianes ;

4° Les crevasses d'escarpement, qui correspondent aux endroits les plus inclinés et donnent naissance aux aiguilles et aux séracs ;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

5° Les crevasses longitudinales, propres à l'extrémité des glaciers peu encaissés;

6° Les « grands caveaux » des champs de neige des hautes régions, où les pentes sont raides;

7° Les rimayes (*bergschrung*) à l'origine des pentes de neige.

Dans un grand nombre de cas, des crevasses, même larges, disparaissent sous la chute de la neige, qui y constitue des « ponts » spécialement dangereux pour les voyageurs.

Au Spitzberg, il y en a beaucoup qui ont 5 à 10 mètres d'entrebaillement; leur fond est jonché de glace et de neige durcie, leurs parois sont toutes recouvertes de longues stalactites de glace. A la Nouvelle-Zemble, des crevasses sillonnent la glace en tous sens et il s'établit entre elles et sous les ponts de neige, des circulations liquides parfois très compliquées.

Sur l'Inlandsis du Groënland, les crevasses, partout très nombreuses, le sont surtout dans les parties tombées du glacier. « Dans ces régions, nous dit Nordenskjold[1], elles s'ouvraient à quelques mètres les unes des autres. La plupart étaient orientées suivant des directions parallèles; en différents endroits, cependant, nous trouvâmes des systèmes de crevasses dont les lignes de fracture étaient perpendiculaires l'une à l'autre. La plupart des crevasses formaient un gouffre béant; d'autres étaient au contraire remplies d'eau jusqu'à leur orifice. Plusieurs fois nous vîmes deux crevasses, l'une vide, l'autre pleine d'eau se touchant à la même hauteur. »

Des rivières s'engloutissent dans les crevasses, « avec un bruit de tonnerre. La rivière coulait entre deux berges escarpées, taillées dans une belle glace azurée, et serpentait, en courbes élégantes, à travers

1. *La seconde expédition au Groënland*, p. 186.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des parois polies et façonnées comme si elles avaient été travaillées par quelque habile praticien ».

Les Alpes ne le cèdent pas aux régions polaires, et les crevasses y ont été souvent funestes aux voyageurs. Il en est cependant qui reviennent de loin : un aubergiste de Grindelwald, tombé dans une crevasse de 118 mètres de profondeur, sans se faire grand mal, put suivre l'excavation sur un long parcours et remonter au jour.

Dollfus-Ausset nous raconte qu'au cours d'une ascension de l'un des pics du Mont Rose, la caravane trouva, la nuit, un abri dans une « immense crevasse » de 20 pieds de profondeur. Aux premiers rayons du soleil, les voyageurs eurent un spectacle merveilleux : « L'extrémité sud-est de la crevasse était formée par une voûte de la glace la plus pure et du plus bel azur, où mille cristaux étincelaient comme des diamants aux feux du jour. A la voûte, dans l'intérieur de la caverne, étaient suspendus des blocs de glace en cubes, en cylindres, en pyramides, qui menaçaient de s'écrouler et dont les débris jonchaient ce qu'on doit appeler le sol de cet antre. Le reflet de la lumière sur les surfaces azurées, donnait aux visages une teinte livide et effrayante, qui ajoutait encore à l'étrangeté de la scène. La paroi orientale descendait à une profondeur insondable, toute rayée de bandes de différentes nuances de 3 à 4 pouces (0 m. 08 à 0 m. 10 de large et dirigées du nord au sud. Ces bandes qui indiquaient les couches de neige successivement entassées, pouvaient se compter jusqu'à une centaine, avant de se perdre dans l'abîme. Un frisson glacial, qui parcourait leurs corps, empêcha les spectateurs de rester dans cette caverne aussi longtemps qu'ils l'auraient voulu. Ils allèrent cependant aussi loin que le permettait la prudence, et pénétrèrent jusqu'à 200 pas de l'entrée. D'après l'élévation de la voûte au-dessus de leurs têtes, on évalua à une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

centaine de pieds l'épaisseur de la couche supérieure de glace, au point le plus bas où ils parvinrent ».

Les mêmes effets de lumière azurée sont notés par Desor, dans une crevasse de plus de 30 mètres de large, avec une profondeur d'au moins 100 mètres. C'était en réalité un caveau, aux murs de cristal, avec seulement une ouverture pareille à une lucarne.

Les ponts de neige jetés sur les crevasses sont de véritables pièges dans lesquels on ne donne que trop souvent. Ils offrent cependant, à un œil exercé, des signes avertisseurs. Souvent aussi, ils sont de force à supporter le poids d'un homme et même d'une file de voyageurs.

Aux crevasses classées par Agassiz et Desor, Dollfus-Ausset ajoute la mention de toute une série d'accidents de surface, tels que : les *cavernes* sous-glaciaires, à la pente terminale des glaciers à faible pente ; les *ravines*, coupures presque verticales semblables à des falaises, dont la hauteur est assez considérable ; les *baignoires*, trous de force irrégulière et remplis d'eau ; les *trous méridiens*, cavités demi-circulaires remplies d'eau ayant leur arc tourné au nord ; les *lacs*, ordinairement sur les rives du glacier, accidentellement sur le glacier ; les *trous d'orgues*, cylindriques, de petit diamètre et de peu de profondeur, vides ou emplis d'eau ; les *moulins*, ruisseaux qui dans le parcours à la surface du glacier, rencontrent des crevasses et les creusent en forme tortueuse ; les *puits*, trous circulaires ou elliptiques d'une grande profondeur et à parois généralement verticales auxquels viennent aboutir des filets d'eau ; les *caveaux*, propres aux hautes régions, grandes et larges cavernes évasées dans le bas ; les *tombeaux* des glaciers, caveaux couverts de neige, de névé ou de glace.

Parmi ces détails du glacier, les puits et les moulins, dont nons avons eu un exemple à la Mer de Glace,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sont particulièrement intéressants. L'eau tombant dans une fracture du glacier en corrode les bords et arrondit les parois sur lesquelles elle coule. Lorsque plus tard cette fracture se referme, le sillon demi-circulaire fermé d'un côté se conserve, et en même temps, si l'ouverture est insuffisante pour débiter la totalité de l'eau, la paroi opposée se corrode à son tour, et la cavité dans laquelle les eaux continuent à s'engouffrer devient un trou, cylindrique ou applati, c'est-à-dire à section circulaire ou elliptique.

Le diamètre des moulins est sensiblement uniforme mais, dans certains cas, il offre des variations produites par les érosions de l'eau renvoyée d'une paroi contre l'autre et de matériaux qu'elle charrie et entraîne dans ces gouffres. Quand une nouvelle crevasse vient à s'ouvrir à l'avant d'un pareil puits, le ruisseau trouvant une nouvelle voie d'écoulement, le puits se trouve à sec et persiste jusqu'à ce que ses parois se soient rapprochées par le mouvement continuel de dilatation, qui cesse d'être neutralisé par le passage et l'action érosive de l'eau. Souvent aussi, des pierres d'un trop fort calibre, tombent dans ces trous, s'arrêtent à une certaine profondeur, retiennent les menus graviers et forment des barrages qui s'opposent à l'écoulement. Aussi voit-on des puits, soit en activité, soit sans eau et entièrement vides, soit remplis jusqu'à leurs bords.

Un fait à noter à l'égard des moulins, c'est qu'ils ne restent pas immobiles ; on n'en saurait douter depuis 1840, époque à laquelle Agassiz en fit comprendre deux, dans le réseau trigonométrique établi sur le glacier de l'Aar. Au bout de quatre ans, ils avaient parcouru 300 mètres en aval de leur emplacement primitif, c'est-à-dire qu'ils avaient cheminé avec la même vitesse que les blocs de la moraine médiane près de laquelle ils existaient.

Il y des moulins qui fonctionnent pendant plusieurs

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

années, mais le grand nombre se ferme en hiver; l'eau qui s'y jette en petite quantité pendant l'arrière-saison, se gèle aux parois, obstrue le passage. Le puits se remplit et toute la masse gèle.

On peut dire que, sauf exception, un puits est en activité une année; un nouveau puits s'ouvre l'année suivante, à la même place où à peu près, que celui qui l'a précédé.

On nous saura gré de reproduire ici le récit de l'excursion faite par Agassiz dans la profondeur d'un moulin du glacier de l'Aar. Le nom de l'illustre auteur et la témérité de l'entreprise justifieront amplement cette citation : « Les guides, dit-il, fixèrent au bout de la corde, une planche qui devait me servir de siège, puis ils m'attachèrent au bout de cette même corde au moyen d'une courroie qu'ils me passèrent sous les bras, de manière à me laisser les mains libres. Pour me garantir de l'eau, qui n'avait pu être détournée complètement, ils me couvrirent les épaules d'une peau de chèvre, et me mirent une casquette de peau de marmotte sur la tête. Ainsi, accoutré, je descendis muni d'un marteau et d'un bâton. Mon ami, Escher de la Linth, devait diriger la descente. Il se coucha à cette fin, l'oreille penchée au-dessus du précipice, pour mieux entendre mes ordres. Il fut convenu que si je ne demandais pas à remonter, on me laisserait descendre aussi longtemps que M. Escher entendrait le bruit de ma voix. J'arrivai sans obstacle jusqu'à une profondeur de 25 mètres, observant avec intérêt la structure lamellaire du glacier et les petits glaçons qui étaient suspendus de tous côtés aux parois du puits. Ces glaçons avaient de 3 à 15 centimètres de longueur, et quelques millimètres seulement de diamètre ; ils étaient arqués comme des agrafes implantées dans la paroi, et résultaient bien évidemment d'un suintement de l'eau à travers la glace, car s'ils eussent été le résul-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tat de l'eau à la surface du glacier, ils n'auraient été ni aussi uniformes ni aussi également répartis sur toutes les parois. Ceux qui provenaient réellement de la cascade supérieure, étaient beaucoup plus grands, accolés contre le mur de la glace, et de plus, limités à l'une des faces du couloir. Il me sembla que les bandes de *glace bleue* devenaient insensiblement plus larges à mesure que je descendais ; elles étaient en même temps moins tranchées et contrastaient aussi moins nettement avec les glaçons ou bandes de *glace blanche*. Je rencontrai, à environ 25 mètres, une cloison de glace qui divisait le puits en deux compartiments ; j'essayai d'entrer dans le plus large, mais je ne pus pénétrer à plus de 1 m. 50 à 2 mètres, parce que le couloir se divisait en plusieurs canaux étroits. Je me fis remonter, et, manœuvrant de manière à faire dévier la corde de la ligne verticale, je m'engageai dans l'autre compartiment. Il m'était aperçu, en descendant, qu'il y avait de l'eau au fond du trou, mais je la croyais à une bien plus grande profondeur, et comme mon attention était surtout fixée sur les *bandes verticales*, que je suivais toujours des yeux, grâce à la lumière que réfléchissaient les parois brillantes de la glace, je fus très surpris, lorsque tout à coup, je me sentis les pieds dans l'eau. J'ordonnai qu'on me remontât, mais l'ordre fut mal compris et au lieu de me remonter, on me laissait toujours lentement descendre. Je poussai alors un cri de détresse qui fut entendu, et l'on me retira avant que je fusse dans le cas de nager. Il me semblait que, de ma vie, je n'avais rencontré d'eau aussi froide ; à sa surface, flottaient des fragments de glace, sans doute des débris de glaçons. Les parois du puits étaient âpres au toucher, ce qui provenait sans doute des *fissures capillaires*. Lorsque j'arrivai à la surface, mes amis m'avouèrent qu'ils avaient eu un moment de rude angoisse en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

m'entendant crier au fond du puits. Ils avaient eu toutes les peines du monde à me retirer, bien qu'ils fussent au nombre de huit. »

On ne peut étudier les moulins et autres cavités de glaciers sans être frappé de leur analogie avec les cavernes qui perforent en tous sens la masse des roches proprement dites. La glace renferme un grand nombres de ces antres, qui, dans les calcaires, ont été si souvent habités par les hommes et les animaux quaternaire.

C'est ainsi, entre beaucoup d'exemples, qu'un jour, des ouvriers occupés à pratiquer un trou dans le glacier de l'Aar virent le perçoir s'échapper tout à coup de leurs mains : ils étaient alors à la profondeur de 30 mètres. En même temps, on vit arriver à la surface une grande quantité de bulles d'air. L'eau cependant, ne s'écoula pas du trou, d'où il faut conclure que la cavité rencontrée par le perçoir était une cavité fermée.

Les faits de ce genre conduisent à considérer l'eau sous toutes ses formes comme une roche véritable tout à fait comparable aux autres.

La méthode expérimentale, souvent si décisive en géologie, a été mise à contribution dans l'étude de l'origine des crevasses. On a d'ailleurs remplacé la glace par des matières plus maniables, c'est-à-dire non fusibles et aptes à conserver indéfiniment les fractures qu'on y aura ouvertes.

Deux méthodes se présentent, dont l'une consiste à agir par extension et l'autre par compression.

Pour ce qui concerne l'extension, on fait usage d'un petit appareil très simple. C'est un support, à l'une des extrémités duquel on fixe une bande rectangulaire de caoutchouc relativement épais (1 centimètre) et dont l'autre bout est attaché à un axe horizontal muni d'une manivelle qui permet de le faire tourner sur lui-même. Le caoutchouc étant

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

modérément tendu entre ces lignes d'appui, on dépose à sa surface une couche mince de stéarine fondue. Après solidification de celle-ci, on tend progressivement le caoutchouc et on voit apparaître et s'élargir les fissures transversales presque exactement parallèles les unes aux autres. C'est la reproduction des crevasses que l'on voit dans les parties planes des glaciers dont la pente dépasse un certain degré.

Comme dans l'expérience, ces crevasses, perpendiculaires à la marche du glacier, ont leur maximum de largeur dans la région médiane et vont en se rétrécissant, pour se terminer en pointe à l'approche des deux rivages. Nous en conclurons que ces crevasses naturelles, doivent être le résultat de la traction exercée, par certaines régions relativement rapides, sur les portions situées en amont. Souvent, on peut conclure de semblables crevasses, qui se remplacent d'ailleurs de jour en jour à la même place, la forme accidentée du sol rocheux au-dessous de la glace.

Une variante intéressante de cette expérience, consiste à remplacer le rouleau cylindrique sur lequel s'enroulait le caoutchouc qu'on étire, par un cône d'angle faible; ce qui revient à faire marcher le bord de la bande qui avoisine la base du cône, plus vite que le bord qui est du côté du sommet. C'est, si l'on peut dire, l'imitation rectiligne des tournants du glaciers. On voit alors se dessiner un éventail de fissures, dont le centre est du côté de moindre déplacement, c'est-à-dire de la pointe du cône.

Cette disposition est identique à celles des crevasses naturelles dans les courbures du glacier, où, comme on l'a vu tout à l'heure, la vitesse maxima est sur la rive convexe. C'est donc encore, sous un effet de traction que ces crevasses prennent naissance et l'on voit que dans le même temps elles s'élargissent d'autant plus, que l'énergie à laquelle elles

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

obéissent est plus considérable. Sans insister davantage sur les variantes qu'on peut faire subir à cette expérience, nous en conclurons que la traction qui, dans la nature est un effet de la pesanteur, intervient d'une manière très efficace, pour déterminer des systèmes de crevasses.

On arrive très aisément à reconnaître que, dans ce mode de fendillement sous l'influence de la traction, la glace se comporte exactement comme les roches pierreuses sédimentaires, qu'elle qu'en soit la nature minéralogique : calcaire compacte, schiste, grès, gneiss, granit, etc. On sait avec quelle fréquence se montrent dans les bancs et dans les strates de ces roches entrant dans la constitution des chaînes de montagnes, les plis, c'est-à-dire les contournements consécutifs aux phénomènes souterrains.

La première impression qu'elles donnent, c'est qu'elles jouissent d'une certaine plasticité et j'ai entendu, sur le bord du lac des Quatre-Cantons où se trouve une immense falaise verticale, en plein gneiss, au pied de laquelle est la chapelle de Guillaume Tell, comparer l'allure des éléments lamellaires de la roche, au froissement d'un mouchoir serré dans la main. Mais en y regardant d'un peu près, on voit que la différence est profonde. Les fils du mouchoir se sont tordus en conséquence de leur flexibilité ; dans la roche, il est loin d'en être de même et l'examen des feuillets montre qu'ils sont traversés par des fissures, dont les situations relatives rappellent tout à fait celle de la glace. En choisissant un cas plus simple, par exemple celui d'un *crochon* de roche, selon l'expression des mineurs, sa tranche nous montre la superposition de feuillets qui ont été tordus en demi-cercle. Mais loin de témoigner la moindre platicité, ils sont réduits en fragments que sont venues raccommoder des concrétions produites par les eaux souterraines. Cette remarque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et les expériences auxquelles elle a donné lieu, fourniront des documents de la plus haute valeur, pour reconstituer l'économie dynamique des glaciers.

Ajoutons que les phénomènes de traction n'interviennent pas seuls dans l'ouverture des crevasses. La compression y joue aussi un rôle important, et l'expérience est intervenue dans ce chapitre, comme dans le précédent.

Le même appareil nous suffira. Seulement, au lieu d'y disposer la matière à craqueler sur le caoutchouc simplement étalé, nous commencerons par lui donner une très notable extension. Cela fait, on y versera une couche de plâtre, gâché et amené à la consistance du « fromage blanc » de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. En relâchant alors le support élastique, on provoquera l'apparition d'un réseau de cassures disposées en deux groupes principaux sensiblement rectangulaires l'un sur l'autre et symétriquement placés par rapport à la direction du refoulement. Il est facile, en étudiant le produit obtenu, d'y retrouver beaucoup de détails, qui conduisent à cette conviction que, suivant les points, la compression est intervenue aussi bien que la traction dans la structure des glaciers.

Les théories proposées pour expliquer *la progression des glaciers* sont trop nombreuses pour que nous tentions de les mentionner toutes : beaucoup sont ingénieuses et toutes invoquent l'appui d'observations bien faites. Nous énumérerons surtout celles que recommande la valeur scientifique de leurs auteurs, mais qui le plus souvent ont été contredites par des savants tout aussi autorisés.

Il y a eu la théorie dite de l'*infiltration*, défendue par Scheuchzer, De Charpentier, Agassiz ; la théorie du *mouvement granulaire* par Hugi, Grad, Forel, oubliée maintenant ; celle de la *dilatation et de la contraction alternatives*, proposée par Moseley et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

critiquée par Croll, Blacke, Forbes, Matthews, Ball; celle de la *fluidité* due à la pression, par Suteliffe et J. Tomson, contredite par Brown et Tyndall; la *théorie moléculaire* de James Hall[1], battue en brèche par Burns, Blacke, Heim; la théorie du *glissement*, qui a séduit Grüner, Deluc, Saussure, Hopkins, Mallet, Charles Martins, contestée par Forbes et par Matthews; la théorie de la *viscosité*, par Bordier, Basil Hall, Rendu, Forbes, à laquelle Agassiz, Moseley, Tyndall ont fait une énergique opposition; la théorie de l'*écrasement et du regel* de Tyndall et de Christie, attaquée par Bonney, Huxley, Ball, etc.[2].

La coexistence qui persiste encore, de beaucoup de ces théories, semble indiquer que leurs principales différences tiennent, pour une part, à l'inégalité de proportion donnée par les auteurs aux facteurs du problème. Chacun a, très probablement, exagéré un côté de la question aux dépens des autres et ne s'est pas élevé assez au-dessus des cas particuliers qu'il avait observés, pour faire entrer en ligne de compte des influences plus ou moins dissimulées.

A priori, on peut supposer qu'il y a un côté légitime dans chacune des ces suppositions et que la bonne méthode, pour se rapprocher de l'explication complète, serait de procéder à une judicieuse synthèse.

Tout d'abord, on s'est, plus d'une fois, comporté comme si la progression des glaciers était un fait sans analogue en géologie. Cependant, nous avons vu précédemment les intimes rapports du méca-

1. *Climate and time, in their geological relations* (Londres 1875)

2. V. pour les détails : notre *Evolution des Théories géologiques*. Un vol. in-18, Paris 1911. Citons aussi au point de vue historique: *The glacial Nightmare and the Flood, a second appeal to common sense, from the extravagance of some recent geology*, par H. H. Howorth. 2 vol. in-8° (1893).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nisme de la descente des glaciers sur le flanc des montagnes, avec l'écoulement des rivières, et, sans déflorer notre sujet, nous pouvons bien ajouter ici que nous allons nous trouver conduits par le développement de notre travail, à voir, dans l'allure de la glace, des séries de traits de structure retrouvées dans des assises rocheuses qui, dans les profondeurs terrestres, subissent le pétrissage orogénique, métamorphique et volcanique.

En somme, on peut rattacher ces théories à deux sources principales, d'après l'origine de la puissance dynamique agissante dans le fait de la progression.

Pour les unes, c'est la *pesanteur*; pour les autres, c'est la *chaleur*. Il est indiqué de voir si l'association de ces deux points de vue ne serait pas capable de quelque application profitable.

Pour les partisans de l'intervention exclusive de la pesanteur, comme Saussure, Deluc, Escher von der Linth, le glacier avance, comme glisse la neige en hiver sur un toit d'ardoise ou de zinc. La principale objection sur laquelle Ch. Martins a insisté est que le fond de la vallée glaciaire n'est jamais comparable à un toit : il n'est pas lisse ; la valeur de sa pente varie avec les points et le matelas de pierrailles interposé entre la glace et la roche encaissante, introduit une circonstance décisive contre l'adoption de cette thèse.

L'observation montre, d'après Ch. Martins, que la valeur angulaire de la pente moyenne n'est pas liée à la vitesse, plus ou moins rapide, des glaciers.

Le glacier de Grünberg, qui est un affluent du grand glacier de l'Aar, parcourt 22 mètres par an, avec une pente de 40°, tandis que le glacier de l'Aar lui-même, parcourt 77 mètres annuels, c'est-à-dire trois fois et demie plus de chemin, avec une pente de 4°, c'est-à-dire 10 fois moindre.

C'est le même auteur qui a opposé au fait du glissement pur et simple, ces deux remarques : 1° que la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

constitution intime de la glace n'est pas homogène comme celle, dit-il, du goudron ou de la mélasse; et 2° que la densité de la glace n'est pas uniforme dans ses différentes parties.

Aussi ne paraît-il pas y avoir lieu de nous arrêter, malgré l'illustration de son auteur, au Mémoire d'Agassiz, intitulé : *Expériences sur la manière dont progressent les blocs de glace, placés sur des plans inclinés divers*[1].

Il n'y a rien de plus défavorable à la découverte d'une vérité scientifique que la méthode expérimentale appliquée dans des conditions incomplètes.

Il est pourtant incontestable que le glissement intervient, dans la masse du glacier, pour une certaine part, mais il reste incompréhensible, si on ne fait pas intervenir les propriétés physiques particulières à l'eau et, avant tout, la manière dont elle se comporte aux environs thermométriques de zéro.

Relativement à l'intervention presque exclusive de la chaleur, nous trouvons de Charpentier, Gilbert et Agassiz encore, d'après lesquels le fait de l'épanouissement en éventail d'un glacier qui, comme celui du Rhône, débouche d'une vallée étroite sur une surface bien plus large, résulterait avant tout de sa dilatation par la chaleur.

De même, d'après Charles Martins[2], les crevasses seraient en effet des différences de température et de l'inégale dilatation des couches du glacier. Cette opinion qui nous paraît tout à fait inexacte, a cependant été adoptée par Elie de Beaumont.

De même encore, pour W. Browne[3], la seule cause à laquelle on puisse raisonnablement attribuer le mouvement des glaciers est la chaleur.

1. *Bull. de la Soc. de Neuchâtel*, année 1843 et *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1844, p. 620.
2. *Bul. Soc. Geol. Fr.*, séance du 25 janvier 1841.
3. C. R. Acad. XCVII (920).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Moseley[1] dit que le phénomène serait dû à ce que le coefficient de dilatation de la glace est très grand, 1/26,700, entre 0 et —6° ; Brunner de son côté conclut que la contraction de la glace par le froid est plus prononcée que celle des autres corps solides[2].

Cependant deux objections subsistent : d'un côté, les crevasses qui interrompent la continuité du glacier, rendent le résultat supposé tout à fait illusoire ; et d'un autre côté on devrait constater, dans le phénomène de compression, des alternatives de vitesse correspondant aux saisons.

Mais la température des glaciers a été étudiée et son allure est loin de se prêter à cette interprétation. Agassiz et Desor ont introduit des thermomètres dans la glace du glacier de l'Aar. Jusqu'à 30 mètres de profondeur, ils ont trouvé 0°. A 40 mètres —0°,1 ; à 50, —0°,2. Les variations de température avec les saisons sont limitées à la zone tout à fait superficielles. Forel a étudié la même question[3] : sa conclusion est que le glacier, dans chaque point de sa masse profonde, doit être à température constante, de plus en plus basse, à mesure que croît l'altitude. En outre, l'épaisseur de cette masse, à température invariable, est d'autant plus forte que le glacier est plus crevassé. Forel suppose que la nappe à température variable est seule mobile et glisse sur l'autre. Mais ceci est formellement contraire au fait de la stratification et de la masse de boue rejetée par le glacier.

D'après M. Vallot, la progression ne dépend aucunement des changements de la température, soit interne, soit externe. Aucune variation thermométrique ne peut pénétrer dans le glacier. Il est assimilable à un fleuve qui s'écoule dans son lit, sous la seule

1. Moseley. *On the descent of glaciers* ; Royal Institution of great Britain meeteng du 13 mai 1870.
2. D'après Daguin. *Traité de Physique*, t. I, p. 785, Paris 1855.
3. *La Nature*, Ier vol. de 1884, p. 303.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

influence de la pesanteur, avec une vitesse qui n'est pas sensiblement différente en hiver et en été.

En résumé, le froid des hivers ne pénètre pas dans la glace des glaciers. Dès octobre, la neige couvre tout, bouche les crevasses et fait l'office d'un manteau très mauvais conducteur de la chaleur. La température extérieure de — 20° à — 24°, fréquente, par exemple au Grand Saint-Bernard, qui à 2.491 mètres de hauteur, n'influence pas le glacier.

Un glacier étant un mélange d'eau et de glace, sa température ne peut jamais s'élever au-dessus de zéro. Les températures extérieures au-dessus de zéro ne peuvent y pénétrer, car la chaleur est employée à fondre la substance de la glace et passe à l'état latent.

Mais les choses de la nature étant d'ordinaire plus complexes que les conditions des laboratoires, la chaleur agit autrement qu'en modifiant la température de certaines masses plus ou moins inertes. Martins et Agassiz, chacun pour son compte, arrivent à la conclusion que la marche des glaciers n'est pas due à leur affaissement, par suite de la fusion des parties reposant sur le sol ; ils préfèrent l'attribuer à la dilatation de l'eau infiltrée par les fissures et les crevasses au moment où elle passe à l'état solide. A cet égard, l'argument décisif à leurs yeux, est fourni par les glaciers du Spitzberg qui sont en contact avec un sol fortement gelé et cependant avancent comme les autres.

Nordenskjold nous dit[1] que la glace des glaciers a, sans cause apparente, une grande tendance à se débiter en petits fragments. Elle est pleine de bulles d'air comprimé. Au moment de la fonte, cet air fait éclater les cavités dans lesquelles il est renfermé, avec un bruissement analogue à celui qui accompagne l'étincelle électrique. Ce phénomène peut se

1. *Voyage de la Véga*, t. I, p. 378.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comparer à celui que produit une certaine espèce de sel gemme (sel gemme pétillant), qui se dissout dans l'eau en produisant de petites explosions.

Barents rapporte que le 20/10 août 1596, il était mouillé sur un bloc de glace échoué à la côte septentrionale de la Nouvelle-Zemble ; soudain ce glaçon se rompit en des milliers de morceaux, avec un fracas de tonnerre, au grand effroi de l'équipage.

Nordenskjold assure qu'il a été témoin de phénomènes analogues, mais moins importants. Dans le glacier, le bloc de glace a été soumis à une pression considérable qui a cessé aussitôt qu'il est tombé dans la mer. Le plus souvent cette pression se répartit sans rupture, mais parfois aussi l'intérieur du glaçon, fortement comprimé, bien que la pression extérieure ait cessé de s'exercer, ne peut librement se dilater par suite de la glace compacte qui l'environne. Il en résulte une tension intérieure considérable de toute la masse, qui, finalement, se brise en mille morceaux. On a ainsi une sorte de *larme batavique*, mais dont la section peut atteindre 50 mètres, et formée non de verre, mais de glace. Telle est l'explication que l'on peut donner de ces phénomènes.

A Forbes, qui disait que la glace n'est point une matière dure, rigide, incompressible, que c'est un corps plastique, comparable à du miel, de la mélasse, du goudron semiliquide — et bien que l'auteur invoque, comme preuve, les bandes de boue des grands glaciers des Alpes qu'il comparait aux plis de la poix liquide, lorsqu'elle s'écoule lentement et même à ceux de l'extrémité des coulées des laves volcaniques; à Forbes, les faits sont venus donner une réponse imprévue.

Faraday a converti le jeu enfantin des « balles de neige », dans l'expérience scientifique, qui révèle la conversion en chaleur de l'effort mécanique de la compression (3/400 de degré ou 0°,0075 pour l'abais-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sement du point de congélation par atmosphère).

Il comprime l'un contre l'autre deux fragments de glace, au sein de l'eau au-dessus de zéro, même dans de l'eau presque bouillante, et il les soude l'un à l'autre par la congélation de l'eau de fusion.

Il a employé l'expression de *regélation* que nous avons francisée en *regel*, pour désigner ce phénomène, à l'aspect paradoxal. Ainsi s'est introduite dans la science, la notion féconde de la *pseudo-plasticité* de la glace, que Tyndall a rendue populaire en moulant à la presse hydraulique des statuettes et des vases en glace comprimée.

Le célèbre physicien conclut de l'aspect limpide et cristallin de ses produits que « la glace est compressible, ductile, malléable et se transforme par la pression en un solide homogène ».

Mais cette dernière assertion est inexacte ; la glace produite est *cataclastique*, malgré son apparence et l'erreur est d'autant plus étrange, sous la plume de Tyndall, que c'est lui qui a signalé l'homogénéité de la glace produite sur un lac, et qui est plus parfaite encore, si elle est produite sur une cuvette parfaitement immobile.

Déjà nous avons vu qu'il en est tout autrement de la glace de glacier, formée de granulations rassemblées en un conglomérat. Si, en hiver, la glace de glacier semble tout à fait homogène, il suffit d'en exposer un fragment aux rayons du soleil, pour que les éléments constitutifs deviennent visibles, même à l'œil nu, étant séparés les uns des autres par de minces filets d'eau. Quoique la structure optique de *chaque grain* soit reconnue sous le polariscope comme parfaitement uniforme, les surfaces de contact sont irrégulières et généralement courbes. Les axes optiques de deux grains voisins semblent disposés au hasard[1].

1. Mac Connel et Kidd. *Proceedings of the Royal Society*, XLIV, 333.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il n'est pas inutile de faire remarquer latéralement, que le regel de Faraday et de Tyndall, intervient de la façon la plus manifeste dans la manière d'être d'un glacier pris à part et considéré dans sa totalité. C'est quelque chose comme une machine analogue à la presse hydraulique de tout à l'heure et qui, en somme, fait des balles de neige en les poussant jusqu'à la réalisation, interdite généralement aux enfants, de la transformation de la neige en glace. Quand, par un jour ensoleillé d'été, on descend du cirque supérieur d'un glacier où l'on ne foule aux pieds que de la neige, on remarque que cette neige, à peine tombée depuis quelques heures, se recouvre d'une pellicule de glace assez dure pour qu'il soit malaisé d'en prendre avec les doigts. C'est un mode d'apparition du regel. L'eau de fusion, produite par le contact de l'atmosphère, s'est infiltrée entre les particules de la neige qui s'y est *regelée* et *granulée*, de façon à passer insensiblement aux névés, qui gisent plus bas.

Or, si l'on examine l'état de la glace, depuis ce point de départ jusqu'à la moraine frontale, on reconnaît que les divers états successifs de la glace, résultent d'une prolongation de plus en plus grande du régime imposé par l'alternance des craquellements et de leur raccommodage par l'eau de regel. La presse hydraulique de Tyndall est donc la reproduction rigoureuse du glacier lui-même et comme lui, elle transforme par la double action indiquée, la neige, le névé ou la glace broyée, en glace limpide et continue.

Mais dans toutes ces théories, se rencontre sans exception une lacune, qui provient encore de ce point de vue simpliste auquel on est si enclin à se placer et à se maintenir et contre lequel nous avons déjà protesté.

Tout ce qui précède découle en somme du sentiment que, malgré les blocs rocheux, les pierrailles,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les poussières, le glacier est purement et simplement un amas de glace. Cependant, nous avons déjà fait allusion à l'eau liquide qui imprègne le glacier, de toutes parts et dans toutes les saisons.

Cette eau, malgré des divagations infiniment variées, n'échappe jamais à l'obligation de suivre les déclivités et d'entraîner, vers les parties basses, tout ce qu'elle rencontre de transportable. De proche en proche, on arrive à reconnaître bien vite qu'elle contribue efficacement à l'entraînement de tout le glacier vers l'aval.

A la surface du glacier, et durant la saison clémente, les filets superficiels ruissellent de toutes parts. Tant que le soleil brille, ils circulent bruyamment, en suivant les pentes naturelles et finissent par s'engouffrer dans quelque cavité. La nuit, ils se taisent, par congélation, au moins partielle. Ils sont toujours très près de la température de zéro.

Nordenskjold[1] constate qu'en Nouvelle-Zemble, la rencontre de filets de ce genre amène parfois la constitution de véritables torrents, compliqués de cascades souvent élevées et se creusent souvent de véritables canaux en gouttières, de formes régulières et à surfaces polies.

Au Spitzberg, Ch. Martins a vu le glacier de Magdalena Bay, arriver au tarissement complet et laisser, comme trace de sa présence passée, de larges conduits.

La complication des crevasses entrecroisées amène parfois dans ces réseaux de circulation, des phénomènes de remonte qui ont une allure artésienne. Des jets d'eau volumineux, mélangés de bulles d'air sont lancés à de notables hauteurs.

En bien des circonstances, les ruissellements superficiels alimentent de véritables lacs, à fond de glace,

1. Nordenskjold. *Voyage de la Véga*, t. I, pp. 159 et 160.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et qui sont souvent remarquables par l'intermittence de leur régime, qui peut amener dans certains cas, des périodes de remplissage et des périodes d'assé-chement.

C'est, pour citer un exemple tout proche, ce qui se présente dans les Alpes pour le lac de Märjelen, sur la rive gauche du glacier d'Aletsch, à 2.350 mètres d'altitude. Il mesure 1.500 mètres de longueur, 330 mètres de largeur et 7 à 8 mètres de profondeur moyenne. Son volume varie autour de 3.700.000 mètres cubes. Ed. Colomb en parle d'une manière intéressante [1] : « le glacier d'Aletsch, dit-il, qui borde la rive occidentale du lac de Märjelen, la barre par une falaise verticale de glace d'environ 10 mètres de hauteur. De temps en temps, de grands blocs s'en détachent ; ils viennent flotter à la surface du lac et présentent la forme caractéristique, analogue à un champignon, des glaces flottantes de la baie de Bell Sund, au Spitzberg. Quand la pression de l'eau l'emporte sur la résistance des parois de glace, le lac se vide tout à coup ; il se fraie un passage dans le glacier et il en résulte une inondation désastreuse dans la vallée du Rhône, particulièrement dans les environs de Viège. Trois millions de mètres cubes, ajoutés subitement aux eaux du Rhône, rendent alors son voisinage dangereux. Quand j'explorai le lac, le 24 août 1848, il était complètement couvert de glaces flottantes : l'année suivante, le 18 août, il venait de se vider, les blocs de glace gisant sur le sol n'étaient pas encore complètement fondus.

Dans l'épaisseur du glacier, la circulation aqueuse se poursuit, depuis les crevasses proprement dites jusqu'aux fissures de toutes les tailles, même capillaires, qui traversent la glace en tous sens et qui changent sans cesse de forme, de dimension et de

1. *Ann. des Mines*, XI, 177 (1851).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

situation relative. Toute la masse du glacier est, de ce fait seul, en état de mobilité et d'activité sans arrêt.

Agassiz a comparé le glacier à une éponge qui alternativement se sature et s'égoutte. Il ne s'égoutte d'ailleurs jamais complètement : il retient de l'eau dans ses pores et en règle le débit, comme le robinet d'un réservoir. Toutes ces alternatives sont fort atténuées en hiver, où l'eau liquide devient très rare à la surface et dans l'intérieur du glacier.

Pour résumer cet état de circulation, Agassiz[1] considère le glacier comme formé d'un assemblage de fragments angulaires de glace, entre lesquels circule de l'eau dans laquelle on voit nager des animalcules vivants. La quantité d'eau qui gorge le glacier, paraît être la cause de son mouvement, en raison de la pression hydrostatique[2] qu'elle exerce sur la masse. En effet, ce mouvement devient plus rapide, lorsque l'eau abonde et il se ralentit, lorsqu'elle vient à diminuer, par une cause quelconque, par exemple, une chute de neige, pendant trois ou quatre jours de gelée, ce qui s'oppose à ce que l'eau arrive à la surface du glacier. »

Nous avons vu, à la tête de la Mer de Glace, la caverne considérable d'où sort l'Arveyron. Déjà, en 1775, le chantre de la cathédrale de Genève, Théodore Bourrit, décrit ce torrent à sa source : « L'eau de l'Arveyron, dit-il, qui sort de cet amas, est excellente, quoique froide comme la glace ; l'on ne doit pas craindre d'en boire, lors même que l'on aurait fort chaud, et c'est la propriété de toutes les glaces quand on les boit à leur source même. »

Une des propriétés de ces sortes de sources, c'est

1. *Bibliothèque Universelle de Genève*, X^e^ année, octobre 1845, p. 371.

2. Ou plutôt hydrodynamique (S. M.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'être extrêmement variables comme débit, selon les circonstances atmosphériques. D'après Dollfus Ausset, le glacier de l'Aar a fourni, en juillet et en août, un débit quotidien très inégal : par le beau temps, 2 millions de mètres cubes d'eau ; par la pluie, 1.500.000 ! puis, successivement, 680.000 et 328.000, terme de l'observation [1].

Saussure cite comme « singulièrement froide » la source qui jaillit au village de Macugnana, au pied du Mont Rose. La température en plein été, est de 3°,75 ; elle vient directement du glacier ; et « sa blancheur atteste son origine ». Cette blancheur est produite par un sable granitique, prodigieusement fin, qui caractérise toutes les eaux de glaciers situés dans le même massif montagneux. A ce propos, on peut citer, toujours d'après Saussure, la remarque relative à la source qui sort du Rhône et qu'on ne qualifie point de source du Rhône. Celle-ci est une petite fontaine qui surgit d'un pré voisin. « Plusieurs voyageurs se sont moqués de cette préférence : le bon Scheuchzer la tourne en ridicule. Elle est à 18°,1 d'après la mesure de Saussure. Il paraît qu'elle ne gèle jamais ; elle dépose un limon rouge et c'est de là que procède son nom local de « der Rothe », d'où vient visiblement celui de Rhône. »

Quand les glaciers aboutissent à la mer ou à un lac, leur torrent sous-jacent déverse de l'eau plus froide que celle du bassin de réception. Greely cite, d'après Frobischer (1576-1578) les courants d'eau douce qui circulent au fond de l'Océan, à environ 180 kilomètres de toute terre sur la côte O. du Groënland. Cette eau douce est maintenue au fond par sa densité qui résulte de sa basse température [2].

1. *Description des Glaciéres, glaciers et amas de glace du duché de Savoye*, Genève 1773.

2. *Dans les glaces arctiques, relation de l'expédition américaine à la baie de lady Franklyn* (1881-1884) in-8° Paris (1889)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Comme dernière remarque, il y a lieu de noter la production, au-dessous du glacier et dans la masse sous-jacente des roches, la rigole d'érosion du torrent aqueux, comme addition au travail direct du glacier lui-même.

La matière si complexe dont est formé un glacier et qui se déplace sans relâche, est donc le siège de circulations incessantes, ayant nécessairement pour résultat de renouveler toute sa substance dans un temps relativement très court.

Malgré le moulage qu'elle subit, au contact du fond et des flancs de la vallée qui l'enserre, la glace est néanmoins, comme on l'a vu, essentiellement fragile, au point que c'est par une série de broyages et de raccommodages alternatifs, qu'elle peut, avec des apparences auxquelles on s'est trompé, passer d'une forme à une autre. Le moment est venu pour nous, d'insister sur ce fait qu'à cet égard, la glace par ce procédé de locomotion, ne jouit pas d'un caractère exceptionnel, comme on l'a cru quelquefois. En effet, elle reproduit ainsi et très exactement, d'ailleurs dans des conditions tout autres de température, l'histoire des roches les plus caractérisées, comme primitives ou comme très anciennes, des profondeurs de la croûte terrestre.

On ne peut en effet rêver des conditions plus antagonistes que celles de la glace, qui descend lentement la pente de sa vallée comparées à celles de la pâte granitique, qui subit les charriages générateurs de chaînes de montagnes, dont la cause est le rapetissement du noyau igné de notre planète.

Mais les lithologistes, jusqu'à ces dernières années, se sont complètement mépris sur les phases de la production des roches cristallines ; et les distinctions qu'ils ont si tyranniquement imposées aux naturalistes, sous les noms de minérax de première consolidation, de seconde consolidation, etc., ne consacrent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que la confusion qu'ils ont faite, entre des degrés divers de pulvérisation, infligés à des minéraux d'origines très diverses, qui subissaient, en même temps, la chimie de l'eau suréchauffée et la dynamique corticale.

Il ne s'agit d'ailleurs ici que d'un complément de réparation aux conclusions qu'on avait acceptées bien légèrement, quant aux réactions purement ignées, auxquelles il a fallu substituer les réactions pneumatolytiques.

Ces roches, pierreuses, comme la glace elle-même, il n'est pas superflu de le répéter, sont absolument dépourvues de plasticité, et si des surfaces planes passent à l'état d'enveloppes cylindriques, c'est à la suite d'un concassement lent, opéré dans des étaux, où tout mouvement relatif est impossible, et dans lesquels la circulation de dissolutions variées procède à la cimentation des fragments séparés.

Il est évident que, dans un mètre cube de granit, il doit exister, au voisinage les uns des autres, des fragments cristallins, dont l'historique est extraordinairement différent. On est amené très progressivement à la compréhension bien complète de ces travaux, par l'observation d'étapes successives, fournies par des roches qui ont éprouvé seulement le commencement des phénomènes, par exemple, de couches nettement stratifiées et qui, possédant encore leur disposition sédimentaire, sont débitées en polyèdres pseudo-réguliers, comme on dit, qui les ont fait anciennement confondre avec des produits cristallisés : des achistes de maintes variétés, des quartzites, même des houilles révèlent par cette discipline géométrique les directions prépondérantes des efforts dynamiques qu'ils ont subis, et petit à petit, vous amènent à l'état ultime auquel convient le nom de *cataclase*, qui désigne en définitive le *régime normal* des profondeurs.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Aussi, ne sera-t-on pas étonné d'apprendre que le régime de la cataclase est si étendu qu'après l'avoir définitivement reconnue, comme un détail indispensable de la genèse des glaciers, et, par une extension imprévue, à titre égal, de la genèse des roches éruptives et des laves de volcan, elle se retrouve dans la matière des roches cosmiques, des météorites, ou pierres tombées du ciel.

Nous conclurons donc, de l'examen des diverses théories, et de nos propres études, que le glacier est le siège d'un nombre infini de tassements, de désagrégations, de triages entre des particules de toutes les dimensions, de fusions partielles avec suintements de plus en plus abondants. Toutes ces réactions, et bien d'autres, ont pour conséquence des déplacements relatifs.

Le mouvement de progression de la masse est l'intégration de toutes ces influences différentielles et pratiquement occultes ; la circulation capillaire des eaux, la chaleur développée par le craquellement et l'ouverture des crevasses, la force vive détruite, comportant une vitesse très petite, mais une masse très grande, constituent les principaux facteurs de la vie intense du glacier. Et leur résultante, — étant donnée l'intervention de la pesanteur, — apparaît comme un déplacement continu vers l'aval, c'est-à-dire la progression.

Et il nous convient de résumer cette discussion, en constatant que les difficultés auxquelles on s'est heurté si longtemps, s'amoindrissent et disparaissent par la considération de l'activité incessante de chacun des éléments des massifs étudiés, c'est-à-dire à mesure qu'on adopte, de plus en plus franchement, le point de vue général auquel convient le nom d'activisme.

A cet égard, Agassiz a formulé une réflexion qui est bien faite pour laisser dans l'esprit du lecteur une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

trace durable : « Etant donnée, dit-il en 1843[1], la marche des glaciers (77 mètres par an pour le glacier inférieur de l'Aar), l'*hôtel de Neuchatellois* ira rouler dans l'Aar, à l'issue du glacier dans 150 ans, soit en 1993. En moins de deux siècles, toute la masse de neige et de glace, dont se compose le glacier, aura été intégralement remplacée par les neiges qui tomberont d'ici là, dans la haute vallée du Hasli. Pour un glacier de 100 kilomètres il faudrait 1.700 ans. Il ne peut donc pas y avoir des restes datant du quaternaire dans les glaciers. Et voilà ce qu'on appelle des neiges éternelles ! ».

1. Sur l'âge des plus grands glaciers de la Suisse. C. R. *Acad. sc.*, XVI, 678 (1843).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE IV

Travaux géologiques des glaciers.

SOMMAIRE. — Erosion glaciaire. — Les roches moutonnées. — Les glaciers qui ont diminué de volume. — Comment le glacier agit sur les roches. — Comparaison avec le travail du lapidaire. — Faux matériaux glaciaires. — Comparaison du travail des glaciers avec celui des cours d'eau. — Le travail du glacier est considérable. — La sédimentation des glaciers. — Les moraines. — Trois formes de dépôts glaciaires : accumulés, éparpillés, stratifiés. — Les avalanches : le glacier de Gétroz, le glacier de Tête-Rousse, le glacier de Devdorok. — Définition du glacier. — Le loess glaciaire. — Matériaux déposés par les glaces flottantes.

Chacune des fonctions géologiques est composée de deux genres d'actions, sinon antagonistes, du moins complémentaires, qui se rattachent nécessairement, l'une au phénomène de l'érosion, c'est-à-dire de l'attaque et de la dispersion des éléments composant des formations rocheuses; l'autre, à l'accumulation de matériaux d'origine diverse et à l'édification de massifs remplaçant les précédents.

Le mécanisme glaciaire n'échappe pas à cette règle et nous devons répartir les questions qui composent le présent chapitre en deux paragraphes : l'érosion glaciaire, la sédimentation glaciaire.

§ I. — Érosion glaciaire.

La première impression que nous a procurée la vue de la Mer de Glace, nous est venue du contraste offert

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

par les roches encaissantes, au voisinage du glacier, avec celles des roches situées plus haut sur chacune de ses rives. Nous avons noté l'expression que l'on doit à Saussure, de roches moutonnées, pour exprimer l'apparence des premières.

Tandis que les parties hautes des flancs de la vallée sont constituées par des roches abruptes, déchiquetées, à pic, en aiguilles, pour tout dire par le mot consacré, les *roches moutonnées* sont à contours doux et arrondis, et très souvent même pourvues d'un poli qui fait penser au travail du lapidaire. Comme on retrouve la même disposition à la surface des roches sous-jacentes à la glace, ainsi qu'on peut le faire dans la caverne terminale d'où sort le torrent, ou dans certains points des berges pourvues de crevasses accessibles, on a été bien vite d'accord pour attribuer au séjour de la glace, l'état de ces roches émoussées. Et la question a été de savoir comment la glace a pu réaliser l'effet observé.

Sous le glacier, on a toutes les raisons de penser que c'est par la friction de la glace, animée du mouvement de progression et entraînant sous sa masse le matelas de matériaux pierreux qui le supporte, que le polissage a été réalisé. Mais, pour la région plus élevée, et qui fréquemment s'étend sur plus de 1.000 mètres d'altitude, on s'est divisé, et l'histoire des discussions poursuivies à cet égard est digne d'intérêt.

La manière de voir qui parut d'abord résulter des observations, est que les glaciers ont diminué de volume et que, pour les reconstituer dans leur état initial, il faut superposer par la pensée, à leur masse actuelle, une épaisseur assez grande de glace pour atteindre la limite des roches moutonnées.

Sans nous occuper maintenant de la question de savoir comment a pu avoir lieu ce changement de volume, il importe de nous faire une idée du procédé

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mis en œuvre par le glacier, pour attaquer les masses rocheuses.

Ce sera avant tout, une application des notions fournies par le précédent chapitre, quant à la complication du glacier formé de glaces et de pierrailles et aussi, quant au mouvement de progression dont il est animé.

Il est manifeste que le poids formidable du fleuve de glace semble très favorable à une pression communiquant aux galets sous-jacents, des propriétés analogues à celles d'autant de burins. Sous le glacier, en effet, on constate que la roche en place n'est pas seulement polie et arrondie, c'est-à-dire moutonnée, mais qu'elle présente aussi des stries de longueur inégale et de largeur variée, dont la direction moyenne est, sans aucun doute possible, en rapport avec celle de la progression du glacier. En maints endroits, ces cannelures prennent l'ampleur de véritables sillons, qui ont depuis longtemps été désignés sous le nom de *coups de gouge*.

Toutefois, et malgré la première apparence, ce ne sont évidemment pas les roches enchâssées dans la glace qui ont travaillé, car si on suppose que dans un point, d'ailleurs bien exceptionnel, la glace dépourvue de son matelas pierreux sous-jacent, renferme des galets isolés faisant saillie sur sa propre surface, la moindre réflexion conduit à reconnaître que le premier effet de la pression, serait de faire remonter le galet dans la glace, vu la fragilité de celle-ci et le peu de résistance qu'elle opposerait à la poussée. Le seul outil vraisemblable, c'est évidemment la nappe entière des galets interposés entre la glace et la roche.

Cette nappe entraînée par le véhicule gelé, affecte une allure éminemment changeante, mais qui ne permet pas en général la rentrée dans la masse, de galets qui sont surmontés d'autres galets de même

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dureté. L'opinion que c'est, non pas des galets isolés qui font le gros du travail, mais la nappe tout entière, est confirmée par le diamètre de certains coups de gouge, comme on en voit par exemple au lac Cornu, dans le massif du Brévent, au pied de l'Aiguille Pourrie. En ce point, la montagne est cannelée horizontalement, de façon à rappeler la manière d'être d'un colossal piédestal qui attendrait sa statue. Sur la surface de ces dépressions longitudinales, se signalent de tous côtés de fines stries, évidemment produites par des aspérités de la nappe caillouteuse, constituée par des substances spécialement dures, telles que le quartz.

En conséquence, il faut reconnaitre qu'une partie de la boue charriée par le glacier, et qui envase son torrent, représente non seulement un produit de transport de poussières amenées, sur et dans le glacier, mais un résultat de trituration réalisée par le glacier lui-même. Le mécanisme du polissage des roches par le glacier, est exactement celui que le lapidaire a imaginé, de son côté, pour polir les pierres : la boue et les pierrailles interposées jouent le rôle de l'émeri ou de la potée d'étain, mis en mouvement par la molette, à la surface du bloc à travailler.

Dans ces conditions, il est légitime de s'étonner des résistances opposées à l'admission d'une érosion glaciaire. Divers auteurs sont allés, non seulement jusqu'à nier que le glacier puisse attaquer les roches mais à déclarer que son action se traduit par une véritable protection de la roche contre les intempéries [1]. Oldham ayant défendu l'opinion que les parties inférieures du glacier ne se meuvent pas, a conclu qu'il n'est pour rien dans le moutonnement, sans remarquer toutefois que, dans beaucoup de cas, les entours de certaines moraines frontales, présentent

1. Par exemple Bleicher (*Les Vosges*, p. 83). Un vol. in-18, Paris (1870) et Ch. Grad. *Les glaciers et l'origine des vallées*, (Ann. Club Alpin (1876).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des polis et des cannelures dans des points qu'une fusion momentanée à débarrassés de la glace. Alphonse Favre a prétendu apporter un criterium expérimental contre l'érosion glaciaire. Il cite la route de Chamonix, qui en 1818, a été traversée par le front du glacier des Bossons, qui s'est retiré ensuite et dont le sol n'a été aucunement bouleversé. C'est à lui que Tyndall [1] a répondu : « Ceux qui ont soutenu que les glaciers creusent les vallées, n'ont jamais dit ni voulu dire que ce fût le bec du glacier qui agit dans ce cas. Pour le glacier de Morteratsch, dans l'Engadine, le travail de creusement doit être bien plus considérable au haut qu'au bas du glacier ». On a vu, en effet, que ce bec, en forme de voûte, ne touche pas au sol. M. Vallot, directeur de l'Observatoire du Mont Blanc est contraire à l'idée du sciage des montagnes par les glaciers [2].

A l'opposé des auteurs précédents, on peut citer des observateurs qui semblent bien avoir exagéré le pouvoir érosif des fleuves de glace. Tyndall va jusqu'à admettre que les glaciers ont creusé les vallées qui les enserrent. Cette opinion, dont nous avons constaté l'inexactitude, mérite d'autant plus d'arrêter notre attention, qu'elle cadre avec celle des diluvianistes, au sujet des vallées de rivière et qu'elle part de la même origine.

On rencontre de tous côtés, dans les chaînes de montagnes, des traces de glissements superficiels qu'on peut, à la rigueur, confondre avec le travail des glaciers. Les torrents ont charrié des convois de matériaux qui ont laissé des traces manifestes de leur passage sur les pentes. Presque tous les sommets de nos Alpes, sont sillonnés sur leurs versants de couloirs d'avalanches de pierres.

1. *Les Glaciers*, p. 95.
2. *Annales de l'Observatoire météorologique du Mont Blanc*, t. III, p. 181, Paris.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Même aux environs de Paris, en pays faiblement accidenté, on rencontre des accidents que des ultra-glaciéristes ont quelquefois voulu porter à l'actif des fleuves congelés. L'un des plus récents exemples nous a été procuré, à la porte de Paris, au lieudit le Kremlin, à Bicêtre, au contact d'un vaste dépôt de diluvium, remontant à l'époque quaternaire et directement en rapport avec les couches horizontales du calcaire grossier[1]. Sous l'influence de la dénudation pluviaire, de véritables trains de ces matériaux incohérents, sont descendus lentement sur les flancs du coteau et ils y ont imprimé, suivant la ligne de plus grande pente, des sillons, dont la forme générale rappelle des coups de gouge, mais qui sont notablement plus inclinés sur l'horizon. On y a même observé des particularités que les graviers glaciaires ne présentent pas : la trace sur des blocs rocheux suffisamment gros et lourds, de burinage réalisé par des pierrailles sur lesquelles ces blocs reposaient. Nous conservons, sous le péristyle de la galerie de Géologie du Muséum, un échantillon tout à fait remarquable et que des géologues de profession, tels que Daubrée, ont continué à considérer comme des matériaux glaciaires.

Cette persistance, dans une opinion certainement insoutenable, était d'ailleurs d'autant plus singulière, qu'une autre localité avait été interprétée d'une manière analogue et d'une façon moins judicieuse encore. Il s'agit de La Padole, en Seine-et-Marne, que Collomb et Belgrand[2] ont décrite comme procurant des vestiges d'un grand glacier quaternaire et qui consistaient en des stries sensiblement parallèles les unes aux autres à la surface de rochers de grès quartzeux à ciment calcaire, appartenant au niveau oligocène,

1. Stanislas Meunier. *La Nature*, 2e vol. de 1904, p. 7 (avec fig.).
2. Belgrand. Note sur la présence de stries à la surface d'une table de grès de Fontainebleau, dans la localité dite La Padole. *Bull. soc. géol. de France.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dit *sables de Fontainebleau*. Cette fois, loin d'avoir affaire à un travail mécanique, il s'agissait simplement d'une dissection de roches composées, en somme, de petits niveaux résistants, alternant avec d'étroites zones calcaires et par conséquent solubles dans la pluie[1].

Nous n'avons pas à revenir sur la phase initiale de la production des glaciers, qui suppose avant tout le soulèvement d'un massif rocheux à une altitude suffisante pour atteindre les zones atmosphériques à température de persistance continue de la neige et, avec une nécessité aussi grande, le ravinement ultérieur du sol par des eaux sauvages, aussi abondantes que celles que nous avons vues à l'œuvre, sur le Plateau du Tibet.

D'ailleurs, il nous sera facile d'observer l'allure prudente qui convient, entre les deux opinions précédentes, car il suffira de rappeler la profonde ressemblance que nous avons constatée entre la manière d'être des glaciers et le *modus faciendi* des cours d'eau.

En supposant que ceux-ci se meuvent sur une pente convenablement accentuée, nous les mettons en possession d'un détail de la mécanique glaciaire : la faculté de charrier des matériaux pierreux d'un volume qui peut être considérable; et la plus grande vitesse dont ils sont doués, les rend spécialement propres à éclairer la question, restée si longtemps nébuleuse, quand il s'agit des paresseux écoulements glaciaires. Les Alpes mettent à notre disposition des séries de torrents éminemment instructifs.

Jetons tout d'abord un coup d'œil sur le célèbre Staubach, qui précipite dans la vallée de la Lutschine des eaux récoltées dans le massif rocheux, qui domine Lauterbrunnen. Il nous offre un lit peu profond, mais dont la matière a été burinée de manière d'autant plus évidente que l'escarpement vertical de 300 mètres,

1. XXVIII, 649 (1870).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

si connu des touristes, vient l'interrompre tout à coup par la chute de la *poussière d'eau*, qui lui a valu son nom. Au pied de cet escarpement, on rencontre un cône de matériaux sur lequel s'acharne sans relâche la pluie perpétuelle. Cette accumulation, à laquelle les géologues donnent le nom peu élégant de « cône de déjection », est la collection de tous les matériaux de charriage. Il est impossible de ne pas voir, dans cette association du rocher, du cours d'eau et des corps durs entraînés, un ensemble que rappelle trait pour trait l'atelier d'un coupeur de pierres : la pierre en voie de division correspond au rocher, le fil sans fin qui frotte sur elle est le correspondant du filet d'eau qui passe sur le sol, et l'émeri dont on l'enduit, est l'homologue du gravier torrentiel.

Cette assimilation, que beaucoup d'auteurs ont refusé d'accepter, nous paraît surabondamment démontrée par l'existence de certains torrents qui, au lieu de se déverser à fleur de sol, comme fait le Staubach en haut de sa falaise, circulent dans une fente du sol, dans une gorge. Le Muhlbach est dans ce cas. Il vient se précipiter dans le lac de Brienz, par une dépression située à peu près à moitié de la falaise. Tous ses caractères coïncident, sauf cette particularité, avec ceux du Staubach, et à première vue, toutes les personnes indépendantes, c'est-à-dire non paralysées par les enseignements de quelque école, se diront : « Mais c'est le fil émerisé qui a pénétré dans la pierre qu'il doit couper en deux. » Or, les spécialistes y ont vu tout autre chose. Pour eux, le Muhlbach est tout simplement un Staubach qui s'est partiellement tari, dont le lit a été aussi profond que la gorge où il circule, mais qui n'atteint plus ses bords, parce que ses sources ne lui fournissent plus l'eau nécessaire.

De façon que l'histoire de ces torrents est, pour eux, calquée sur l'histoire qu'ils acceptent, encore très

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

souvent, pour les rivières ordinaires, dont ils disent que ce ne sont que d'infimes résidus des cours d'eau quaternaires.

Sans nous troubler, nous ne tardons pas à trouver des points où le laborieux fil recouvert de poussière dure, a terminé sa tâche et a amené le fond de la gorge au niveau de la vallée dans laquelle il se déverse.

A Vernayaz, par exemple, les gorges du Trient nous offrent le travail complètement terminé.

Des aménagements spéciaux permettent de pénétrer dans la gorge et d'en examiner les détails. Après avoir gravi un escalier, on trouve un véritable balcon, qui suit toutes les inflexions du sillon dans lequel coule le torrent et qui permet d'examiner, en beaucoup de points, l'état de ses parois. Depuis le niveau de l'eau jusqu'aux points les plus élevés, on constate une uniformité évidente : la roche est émoussée et polie, avec, de temps en temps, des sortes de petites consoles. Le bas est nettement plus fraîchement poli, que les parties supérieures. Quant aux consoles, on y remarque fréquemment un détail tout à fait imprévu : c'est qu'aux niveaux les plus différents, elles peuvent supporter des blocs de pierre, polis eux-mêmes à la façon de galets. Parfois même, ces galets sont déposés dans des cupules, dont la console est agrémentée, et il n'y a pas à insister sur l'impossibilité de supposer que ces galets ont pu être charriés à beaucoup de mètres au-dessus du fond de la gorge actuelle.

Préparés comme nous le sommes par la comparaison du Muhlbach avec le Staubach, nous arrivons, pour ainsi dire fatalement, à concevoir que chacune des consoles a été à son tour une portion du fond de la gorge qui, par suite du creusement inégal en différents points, a échappé à la corrosion pendant le laps de temps que le torrent a mis à descendre verticalement. En d'autres termes, les trois exemples que

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous avons choisis représentent évidemment trois états d'un même phénomène qui a pour résultat, de débiter les montagnes en massifs séparés par de véritables traits de scie.

Nous y avons insisté parce que la considération des torrents s'applique exactement à l'histoire des glaciers. En effet, il est aussi déraisonnable et malavisé de supposer que les roches moutonnées qui encadrent un glacier, représentent une diminution dans l'épaisseur de celui-ci, qu'il était manifestement contraire aux faits d'observation, d'attribuer les falaises qui dominent le niveau d'un torrent, à la dessiccation de toute une partie du cours d'eau.

Dans les deux cas, il y a pénétration verticale de l'outil diviseur, au travers de la masse divisée, c'est-à-dire la réunion des conditions mises au service du scieur de pierres. A la rigueur, et laissant la question pour un peu plus loin, on pourrait supposer que le glacier a été immuable dans ses dimensions et comprendre ainsi l'abandon qu'il a fait, des zones latérales des roches moutonnées.

Si l'on avait besoin d'une preuve supplémentaire, elle nous serait fournie à l'instant par la Mer de Glace et par tous les glaciers bâtis sur le même modèle. Recommençons l'ascension de sa vallée à partir du Montanvers, mais cette fois, en longeant l'escarpement de la rive gauche. Nous arrivons bientôt aux Ponts.

Tout en progressant et à cause du souci de placer son pied sûrement, on ne peut manquer de remarquer que le poli des roches est bien loin d'avoir la perfection qu'il présente plus bas. Même, la disposition en escalier de ces Ponts, se révèle comme étant un effet, sur la roche feuilletée, d'une dégradation intempérique : on marche sur une zone de transition entre les moutonnements et les escarpements anguleux qui vous surmontent, et c'est bien le pendant de ce que

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous offrait tout à l'heure la paroi du Trient. Si les polis d'en haut sont moins parfaits que ceux d'en bas, c'est qu'il y a plus longtemps qu'ils subissent une altération intempérique, qui descend peu à peu comme le glacier lui-même, mais avec moins de rapidité. Et cette remarque que je crois avoir été le premier à faire, me paraît répondre de la manière la plus satisfaisante à cette question de Dollfus-Ausset. « Pourquoi, au-dessus de 3.000 mètres d'altitude, ne trouve-t-on plus de roches en places, moutonnés, ni polies[1] ? »

En résumé, ce qui précède nous suffit pour admettre la réalité du phénomène d'érosion glaciaire.

Il peut prendre diverses autres formes.

Thoulet nous en donne un exemple remarquable[2], emprunté à l'histoire d'une petite île de la baie de Blackcliff par 80°, 30" de latitude N. Les glaces côtières, poussées par les courants, soulevées et abaissées par les marées, remuées par les tempêtes, contribuent puissamment à l'érosion des roches. A mesure que la marée se retire, les glaçons glissent sur la pente et font entendre un bruit particulier résultant du grincement des cailloux enchâssés dans leur pied, sur la roche du sol ou sur les galets qui la recouvrent. Ce que ce pseudo-glacier, animé d'une grande vitesse, réalise, la masse d'un vrai glacier l'accomplit plus en grand.

Une autre forme de la même activité érosive se rattache au rôle du torrent sous-glaciaire, dont les flots peuvent en certains cas tourbillonner sur place. Il en résulte un accident très éloquent et sur lequel nous aurons à revenir. On lui donne le nom de *Marmite des Géants*. Grâce aux reculs locaux de certains glaciers sous l'influence d'une météorologie particu-

1. Phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes. *Bull. de la Soc. Géol. de France* (2e série), IV, 182.

2. *L'Océan, ses lois et ses problèmes*. Un vol. in-8°, Paris, 1904.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lièrement clémente, on pénètre de temps en temps dans les régions ordinairement couvertes par la glace, et on y observe l'état de la surface précédemment couverte par le fleuve solide. On y remarque presque toujours un gradin abrupt et un palier relativement plat dont M. de Martonne[1] a cherché à préciser les caractères particuliers. Les stries et les cannelures sont relativement rares sur le gradin, où l'on rencontre des gorges torrentielles que l'auteur regarde comme s'étant formées sous le fond du glacier actuel. En échange, ces gorges manquent sur le palier, tandis que les surfaces cannelées y sont fréquentes. Exemples : glaciers de Rosenlaui, de Grindelwald, de Viesch, de Mège.

L'érosion glaciaire est donc incontestable, mais paraît limitée au palier et aux abords du gradin; l'érosion torrentielle est aussi évidente, mais limitée au gradin.

La part de l'érosion glaciaire ne peut qu'augmenter vers l'amont, avec l'épaisseur de la masse du glacier; celle de l'érosion torrentielle doit diminuer au contraire jusqu'au névé, où les eaux de fusion ne peuvent plus jouer aucun rôle. Comme conclusion, on peut admettre que le gradin poli et scié, de plusieurs gorges est une forme de fond glaciaire.

Le travail réalisé par le glacier est fort inégal d'un point à l'autre, car la glace est loin de porter partout sur son lit. Le contact devient plus intime à chaque atténuation de pente; il tend à se relâcher, au contraire, à chaque augmentation.

Le travail fourni par un glacier est considérable et l'on a cherché à déterminer ce qui revient au frottement. M. de Martonne, partant de l'analogie de la glace, d'ailleurs plus que douteuse, avec un fluide visqueux, met en fait que nier le frottement serait un paradoxe

1. C. R. *Acad.* CXLIX, 1413, *et Ibid.*, 135.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de mécanique. Cependant, nous avons vu, qu'étant donnés les phénomènes de pseudo-plasticité et de regel, il doit être extraordinairement difficile, sinon impossible, de faire la part du glissement de la glace, dans le total du glissement de l'appareil glaciaire tout entier.

Craignons d'accepter un raisonnement mathématique, qui partirait de la définition inexacte du glacier, considéré comme étant entièrement formé de glace. C'est comme si on attribuait un pouvoir de frottement à l'eau elle-même dans le creusement des gorges de torrent. En d'autres termes, c'est comme si, dans notre comparaison avec le lapidaire, on négligeait l'influence de l'émeri pour ne voir que celle du fil.

Sans entrer dans ces subtilités, on peut obtenir un résultat approximatif, en cubant la quantité de troubles que charrient les torrents jaillissant des fonds de glaciers. D'après les observations de Dollfus-Ausset, le glacier de l'Aar qui, avec ses affluents, n'a qu'une surface de 60 kilomètres carrés, fournit par jour 100 mètres cubes de sable qui sont emportés par le torrent. L'ablation des vallées glaciaires paraît donc, dit-il, bien supérieure à celle que produisent la plupart des cours d'eau à égale superficie de bassin[1].

On n'aurait pas une idée complète de l'influenee érosive des glaciers, si on ne faisait entrer dans le tableau que nous cherchons à en tracer, le résultat de causes latérales, mais qui n'existeraient pas si le glacier manquait. Ce résultat dérive de la gélivité des roches, considérablement accrue par la présence des glaciers, qui accentuent l'intensité de l'effritement des roches placées au voisinage; du volume de la pluie annuelle accrue dans d'énormes proportions

1. V. aussi Ed. Collomb. *Mémoire sur les glaciers actuels*. Ann. des Mines, V, XI (198) et Ch. Grad. *Sur le frottement des glaces et l'érosion des vallées*. C. R. Acad. LXXVIII, 759.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et, par conséquent, du ruissellement de l'eau sauvage, qui détermine à côté des avalanches d'éboulis, des avalanches de blocs entiers en même temps que le déchaînement de torrents boueux dont la masse tend à élever le fond des vallées par l'extension de leurs deltas; des vents, si fréquemment tempétueux et qui enlèvent des monceaux de poussière minérale emportées au loin; des orages dont les traces sont si fréquentes sous la forme de fulgurites dans les hautes régions et qui par l'ébranlement de l'air déterminent des écroulements dans des quartiers de montagnes déjà ébranlées.

Les glaciers sont donc des outils, particulièrement efficaces, de modifications de la surface du sol.

§ 2. — La sédimentation glaciaire.

L'érosion glaciaire a pour premier résultat de fournir de grandes quantités de matériaux mobiles, aux diverses formes de la sédimentation fluviaire, lacustre, maritime. Mais elle a pour résultat complémentaire, une véritable sédimentation glaciaire : le glacier édifie des accumulations ou des extensions de matériaux pierreux présentant des caractères spéciaux et dont la considération pourra avoir une grande importance dans la recherche de l'existence, que l'on peut supposer *a priori*, de glaciers au cours des époques qui nous ont précédés.

Il est presque inutile d'ajouter, à cause de la banalité de cette remarque, qu'il n'y a pas à faire des séparations entre de prétendues *époques d'érosion* et de non moins indéfinies *époques* d'*alluvionnement*[1].

Ces deux phénomènes beaucoup plus complémentaires que contradictoires, marchent indissolublement d'accord.

1. Haug. *Traité de Géologie*, p. 1769.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Déjà nous avons constaté, lors de notre excursion à la Mer de Glace, que les abords du front actuel ont un aspect particulier. Les roches moutonnées s'y rencontrent comme dans les zones marginales, seulement un peu moins visibles, car elles sont plus ou moins recouvertes par une végétation, d'ailleurs peu exubérante, mais qui manque tout à fait sur les flancs très inclinés de la vallée.

On y remarque aussi des blocs rocheux disséminés sans ordre, affectant souvent des dispositions pareilles à celles des blocs qui gisent sur la glace. Même, en avant de la moraine frontale, nous avons remarqué comme les ruines d'une autre moraine parallèle, de manière que l'on comprend l'expression proposée par Desor, de *paysage morainique*, pour des régions très nombreuses et plus ou moins étendues où, malgré l'absence de glaces, on retrouve la plupart des caractères des glaciers. Il n'y a pas de doute que le glacier ne soit l'artisan d'une semblable disposition.

La sédimentation glaciaire se présente sous différentes formes bien nettement caractérisées et avant tout, nous distinguerons celle qui porte le nom de moraines.

La Mer de Glace nous a fourni cette forme qui est celle d'une colline en forme de croissant, barrant la vallée en présentant sa convexité vers l'aval, s'interrompant sur l'*imum vallis*, pour laisser passer le torrent.

Avant d'examiner sa structure qui est des plus caractéristiques, il importe de noter qu'elle est en continuité absolue avec une moraine marginale, ce qui sous-entend que l'origine et le mode de formation seront les mêmes pour tous les points de cette fortification naturelle du glacier. Nous avons dit que les moraines latérales se continuent sur les bords des glaciers de hauteurs, qui produisent le glacier d'en bas par leur confluence et que, de ce point

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de jonction de deux courants, partent des bourrelets pierreux se prolongeant sur toute la vallée inférieure, et constituant des moraines médianes. Le Dr Eugène Robert[1] signale en Islande des moraines marginales qu'il appelle *moraines coulantes*, après les avoir comparées à des torrents de boue, et dont il dit qu'elles progressent plus vite que le glacier.

D'autres types d'accumulations pierreuses peuvent êtres rattachés à ces formes, et, pour éviter les redites, il nous sera utile d'avoir fait allusion à la classification qu'on a tenté de faire à leur égard.

Dollfus-Ausset[2] laissant de côté les fortifications sur lesquelles nous allons revenir, distingue tout d'abord les moraines médianes, en leur donnant pour définition qu'on les rencontre exclusivement sur les glaciers qui n'on pas d'affluents. La moraine médiane du glacier inférieur de l'Aar, a 50 mètres de hauteur et 250 mètres de largeur : c'est un des blocs qui la composaient qui a constitué l'*Hôtel des Neuchâtelois*. Un autre, tout au voisinage, était désigné comme bloc Hugi, ayant servi auparavant au célèbre glaciériste. La Pierre Bleue (*Blaustein*) de la vallée de Saas, qui mesure plus de 8.360 mètres cubes. Plusieurs autres ont été remarqués à cause de leur volume ou de leur forme. Les moraines médianes, que nous avons décrites à propos de la Mer de Glace, ont paru difficiles à expliquer à Saussure, qui n'a pas reconnu l'influence, à leur égard, des confluences glaciaires.

A la suite des moraines médianes, Dollfus-Ausset cite divers types dont plusieurs paraîtront peut-être à première vue, difficiles à comparer entre eux, mais dont la mention a l'avantage de faire sentir la com-

1. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XI, 298, (1840).

2. *Matériaux pour l'étude des Glaciers. Glaciers en activité.* t. I, p. 394.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

plexité des réactions à l'œuvre, sur les fleuves solides.

Ce sont :

1° Les *bandes*, traînées plus ou moins espacées, véritables diminutifs des moraines médianes, souvent réduites en tronçons placés à la suite les uns des autres;

2° Les *moraines éparpillées sur le glacier*, donnant l'idée d'une moraine qui aurait été déformée par des influences perpendiculaires ou obliques au courant;

3° Les *matériaux éparpillés sur roches*, qui ont la structure des précédentes moraines, mais qui se sont déposés, non pas sur la glace, mais sur la berge rocheuse du glacier et qui pourraient, à la rigueur, provenir d'une fonte partielle de la marge glacée;

4° Les *nappes de blocs*, matériaux qui couvrent toute la surface d'un glacier composé de plusieurs affluents : c'est un résultat de la diffusion de certaines moraines médianes ; le glacier de Z'mutt est remarquable par les nappes de blocs qui arrivent à y cacher complètement la glace ; on peut le traverser sur 700 mètres, sans poser le pied sur la glace ; ce manteau de pierre s'oppose à l'abrasion du glacier et lui permet d'envahir les bois qui sont à son front ; il arrache et brise des mélèzes de 300 ans : la moraine frontale se compose d'une masse énorme, faite d'autant de bois que de pierre ; recevant beaucoup d'affluents, il est remarquable par la complexité de roches mélangées à sa surface. Dans l'Oisans, le glacier Noir, tire son nom de la charge de détritus rocheux qui lui donnent l'aspect d'une coulée de boue : on ne voit la glace que par les crevasses, d'ailleurs de toute beauté, qui le traversent et où s'engouffrent, avec un bruit sourd, des blocs de pierre et des traînées de cailloux. Il contraste, de la manière la plus pittoresque, avec le glacier Blanc, qui est dans son voisinage et qui est presque dépourvu de pierres.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Reprenant la suite de notre énumération, nous citerons :

5° Les *blocs accumulés*, cônes isolés de pierres, pouvant atteindre une assez grande hauteur, comme au glacier inférieur de l'Aar ; Dollfus-Ausset les rattache au comblement, par des pierres qui y sont tombées successivement, des trous cylindriques causés par la circulation des eaux. Il se fait ainsi des colonnes de blocs que le phénomène de l'abrasion dégage de leur entourage gelé et qui s'érigent au-dessus du niveau de la glace ;

6° Les *cônes graveleux*, formés par des graviers blancs ou de couleur claire, c'est-à-dire ne possédant qu'un très faible pouvoir absorbant pour la chaleur. Leur réunion en nappes les constitue à l'état de parasols et par l'effet de l'abrasion qui n'agit qu'autour d'elle, la nappe s'infléchit et prend la forme d'un dôme. Dollfus-Ausset en cite qui avaient jusqu'à 10 mètres de hauteur ; ils sont d'ailleurs temporaires et leur durée ne dépasse guère une année ;

7° Les *tables de glacier*, que nous avons déjà mentionnées ;

8° Les *blocs sporadiques* : ce sont les dalles de pierre qui, conformément à ce que nous avons vu relativement aux champignons de glaciers, sont tombés par suite de la fusion du pied qui les soutenait sous l'influence du soleil. Cette chute ayant toujours lieu vers le sud, le déplacement de ces rochers est parfois très différent de celui du glacier, dont ils peuvent même remonter le cours. « La distance que les blocs *qui tablent* peuvent parcourir dit Dollfus-Ausset, — avec son humour un peu grosse — est souvent très grande. Dans certaines régions, ils peuvent, par ces escapades, s'éloigner beaucoup de leur emplacement normal et même revenir sur leurs pas. » Souvent une large crevasse béante les engloutit ; mais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

si elle n'est pas profonde et éloignée des rives, ils seront de nouveau mis à flot, par suite d'ablation de la surface ambiante et continueront à faire des zigzags ;

9° Les *moraines latérales*, matériaux sur le dos du glacier rapprochés des rives d'encaissement, qui peuvent se conjuguer avec les moraines confluentes, de façon à entrer avec elles dans la constitution des moraines médianes de glaciers résultants ;

10° Les *moraines riveraines*, matériaux déposés sur les rives rocheuses, par suite du mouvement transversal et de l'ablation du glacier ;

11° Les *moraines terminales*, débris sur la surface de glace à sa pente terminale ;

12° Les *moraines frontales*, blocs et fragments de roches, en aval, sur le sol de la pente terminale ;

13° Les *moraines profondes*, matériaux ensevelis sous le glacier.

« Les matériaux qui composent la moraine frontale et qui tombent de la surface du glacier sont généralement anguleux, à arêtes vives, à très peu d'exceptions près. Ceux qui sortent par la voûte du glacier et qui sont entraînés par les eaux sont plus ou moins émoussés et ronds. La moraine profonde sera par conséquent composée de matériaux anguleux et ronds, mêlés les uns aux autres » ;

14° Les *moraines intérieures*, matériaux qui tombent accidentellement dans l'épaisseur des glaciers et s'y maintiennent ;

15° *Boue de glacier* « roches réduites à l'état de poudre fine par le frottement des surfaces de glace contre les parois et le fond ». Il ne faut pas oublier qu'il y a beaucoup de poussière apportée par le vent ;

16° *Moraines en activité remaniées* par les eaux sur le glacier au moment de fusions.

En se souvenant des variations des glaciers, et en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

s'attachant surtout à celles qui concernent les diminutions de volume, on arrive à considérer les dépôts, séparés de leur cause originelle qui est le glacier lui-même et entrant comme types particuliers dans la séries des formations sédimentaires. A cet égard on peut lire une note de Ch. Grad intitulée; *présence de dépôts stratifiés dans les moraines et oscillation séculaire des glaces du Grindelwald*[1].

D'ailleurs, il est tout à fait indispensable que nous les définissions à part, afin de pouvoir nous en servir, si, par suite de circonstances qui nous restent à étudier, de pareilles formations résultaient de glaciers qui auraient complètement disparu.

Dans cette direction, trois types s'imposent à nous, qu'on a généralement qualifiés : 1° de *formations glaciaires accumulées*, dont le type est la colline en forme de croissant, ou moraine frontale, et qu'on rencontre quelquefois à plusieurs centaines de mètres en avant du front d'un glacier : — 2° *de terrain glaciaire éparpillé*, résultant évidemment des travaux réalisés pendant le recul d'un glacier qui diminue, et dont la même Mer de Glace nous fournit l'exemple par les pierrailles qui recouvrent en désordre la zone comprise entre la vieille moraine abandonnée et la moraine actuelle; — 3° enfin, *de terrains glaciaires stratifiés*, dont, sans sortir des Alpes, nous fournirait un exemple le lac de Marjelen, sur lequel flottent des glaçons chargés des matériaux pierreux que nous venons d'énumérer et qui subissent les remaniements caractéristiques, que le milieux aqueux imprime aux formations qu'il engendre. Aux époques de vidange du lac, on est en présence de nappes de ces matériaux charriés et il est presque inutile de dire que ceux-ci ne sont qu'une miniature des dépôts qui prennent naissance, du fait des glaces flottantes, au front des grands glaciers polaires aboutissant à la mer.

1. C. R. *Ac.* LXIX, 1315.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces différents types de formations glaciaires sont, comme les autres points de la superficie de la terre, exposés à des causes très actives de désorganisation. D'un côté, la pluie et les eaux sauvages les attaquent, et estompent leurs contours caractéristiques, jusqu'à les effacer, et d'un autre côté, la végétation étend sur elles un voile qui les dissimule, en même temps que le travail des racines les désagrège et les transforme.

Déjà, nous avons dit que la présence seule des glaciers dans une région, suffit à communiquer aux agents atmosphériques une intensité fortement accrue et, dans les pays accidentés, pour provoquer des glissements de roches et des avalanches. Le cas est très fréquent, d'écroulements de pierrailles associées ordinairement, soit à de la boue ou argile délayée, soit à de la neige. Sur les flancs des vallées glaciaires, ces écroulements sont en général déterminés par la succession de deux réactions : la réduction par la gelée de certaines parois rocheuses en fragments provisoirement réunis par la glace qui s'est formée entre eux et qui, par parenthèse, les a notablement écartés les uns aux autres; puis, la liquéfaction, par fusion, de cette glace conjonctive, qui livre à la pesanteur, grâce à la pente du sol, les fragments précédemment séparés. Dans les régions où le sol est constitué par des roches suffisamment gélives, les avalanches deviennent un détail normal de la saison redevenue chaude.

Les avalanches sont un des plus grands dangers de la montagne. Une notable partie des catastrophes dont des ascensionistes furent victimes, leur sont imputables. Les premiers morts du Mont Blanc, — deux guides du docteur Hamel, — furent entraînés dans le terrible phénomène. Charles Durier a raconté l'événement, d'une façon saisissante, d'après les documents originaux qu'il acompulsés :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

« On entendit un bruissement sourd, quelque chose d'analogue au bouillonnement d'un torrent caché. La couche de neige, foulée jusqu'au vif de la pente de glace qui la supportait, venait de s'en détacher sous les pieds des premiers guides et commençait à descendre. En un clin d'œil, la fente se prolongea jusqu'au bout de la file (des voyageurs). Le sol fuyait, tous furent renversés sans s'en rendre compte et, comme dans des surprises de cette sorte, on n'a l'œil que sur soi, plusieurs crurent seulement avoir glissé et cherchaient à se relever, quand le champ de neige supérieur manquant d'appui, s'ébranla à son tour. Il y eut alors des cris... mon Dieu! l'avalanche!... nous sommes perdus!... puis l'énorme masse s'abattit et, se disloquant dans sa chute, submergea toute la troupe. L'inclinaison qui ne dépassait pas 30° à la queue de la caravane, était beaucoup plus forte en tête ou, pour cette raison, la neige avait d'abord cédé. Les premiers guides furent emportés du coup. Mathieu Balmat, quoique renversé et porté déjà à une certaine distance, eut assez de force et de présence d'esprit pour enrayer sa chute en fichant son bâton ferré dans la glace sous-jacente. Quant aux voyageurs et aux deux guides qui les accompagnaient, ils ne se trouvèrent pris que sur le bord de l'avalanche et furent moins rapidement entraînés. A force de se débattre, de nager, pour ainsi dire, au sein de ces flots de neige, Hamel réussit à ramener sa figure à la surface. La neige était encore en mouvement, mais au même instant, elle s'arrêta; elle avait parcouru trois à quatre cents pieds dans l'espace d'environ deux minutes... « Et les autres? » cria-t-il. « Les autres sont dans la crevasse! dit Mathieu Balmat, en se tordant les mains » [1].

Desor [2] eut aussi l'effrayant spectacle de l'avalanche

1. *Le Mont Blanc*, p. 404.
2. *Matériaux pour l'Etude des glaciers*. Ascensions.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

toute proche ; mais elle n'eut pas une conséquence aussi épouvantable que celle du Mont Blanc. Il vit, dit-il, une fissure se former et se propager avec la rapidité de l'éclair. « La fente qui m'avait rasé le pied gauche avait passé entre les jambes du guide qui me précédait. Soit instinct, soit hasard, il s'était jeté du côté de la montagne. Pas un cri, par un murmure ne s'était échappé d'aucune bouche pendant cette scène. Mais quand je me retournai pour interroger mes compagnons, ils n'étaient plus en nombre... A deux pas derrière moi, un bâton penchait sur l'abîme ; celui qui le portait avait disparu, emporté avec la partie de la montagne qui venait de s'écrouler... Avant que nous eûmes le temps de nous reconnaître, nous nous trouvâmes enveloppés d'un épais nuage de neige : c'était la poussière de la masse éboulée que le vent nous amenait en tourbillons... La masse éboulée se précipitait sous forme d'avalanche dans la vallée de Gorschen, au-dessus de Réalp... Je crus à travers le brouillard et à peu près perpendiculairement au-dessous de moi, au milieu de la traînée de l'avalanche, apercevoir un objet sombre... » Le disparu put être sauvé, quitte pour une jambe et un bras cassés.

Il y a en outre, pour les vallées un danger très grand du fait des éboulements glaciaires, et l'on en peut citer des exemples tristement célèbres. Le glacier de Gétroz, si fortement incliné, dont la tranche terminale, de 50 mètres d'épaisseur au moins, repose sur des roches complètement à pic, menace d'une façon permanente la vallée de Bagne, très resserrée au-dessous de lui.

On comprend facilement que, joint à l'extrême déclivité, le mouvement du glacier détermine de continuelles avalanches de glace, qui viennent barrer le cours de la Dranse. C'est à cette cause et à la grande quantité de neige tombée, que l'on doit attribuer la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dimension colossale de la catastrophe de 1818. Les glaces et les neiges fermèrent alors la vallée d'une manière complète, et c'est seulement quand elles se furent amoncelées en quantité suffisante, que le barrage, cédant à leur effort, livra passage à un volume effroyable d'eau.

L'efficacité sédimentaire de ces avalanches de pierre est considérable et, comme nous allons le voir, des blocs pierreux de volume énorme peuvent être soulevés et emportés à des distances considérables par le mélange précipité sur les pentes, de l'eau de fusion du glacier et de la boue. C'est au point qu'Elie de Beaumont, décrivant la catastrophe survenue à la Dent du Midi (Valais) en 1835, écrivait : « J'ai vu, avec un vif intérêt, dans ces débordements boueux, des blocs calcaires de dimensions considérables, qui flottaient, avec une aisance incroyable, une image en miniature du phénomène erratique tel que je le conçois ».

Nous verrons un peu plus loin que, non seulement la situation et la manière d'être de certains blocs erratiques s'accommodent de cette hypothèse, mais même que l'expérimentation permet de réaliser le transport de pierres sur le dos d'épanchements boueux.

Dans la nuit du 12 juillet 1892, une avalanche de boue se précipitait dans la vallée de Bionassay et dans celle du Bon-Nant, détruisant les Bains de Saint-Gervais et une partie du hameau du Fayet, et faisant environ 150 victimes humaines. Ayant eu l'occasion de passer sur le lieu du désastre quelques jours après qu'il s'était produit, j'ai pu constater de nombreuses particularités de cette forme de la sédimentation glaciaire.

Cette avalanche donna lieu, au débouché de la gorge, très inclinée, à son arrivée par le travers à peu près horizontal de la vallée de l'Arve, à un cône de déjection très surbaissé, sur le dos duquel se signalaient des blocs de diverses tailles.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En descendant la pente de ce delta boueux, on le voyait capturer de place en place des blocs gisant sur le sol, pour les transporter à des distances surprenantes. Nous avons vu des meules de moulin, prises dans un cellier, où elles étaient en réserve, soulevées et emportées par la porte ouverte, jusqu'à un kilomètre de distance. C'est là une justification de l'opinion d'Elie de Beaumont, qui cependant ne doit pas faire renoncer à la certitude que des blocs erratiques ont été transportés par la glace.

Quant à la cause de l'avalanche de Saint-Gervais, on la trouva bientôt, dans une série de phénomènes qui eurent pour théâtre le petit glacier de Tête-Rousse, situé à l'altitude de 3.200 mètres. Observé de la vallée de l'Arve, il laissa voir tout de suite qu'il avait perdu une partie notable de sa masse, dont l'écroulement montrait maintenant une paroi d'arrachement, dont MM. Vallot, Delebecque et Duparc[1] ont évalué le volume à 90.000 mètres cubes environ.

A la base du glacier, se trouvait un seuil rocheux qui, dans la catastrophe, intervint d'une manière intéressante. La cavité produite dans l'épaisseur de la glace se ramifiait en deux couloirs, dont la surface de glace transparente, était admirablement limpide et dont la forme en bassin, rappelait très intimement celle des marmites de géants. Elle faisait aussi penser aux courbures de parois des petits entonnoirs remplis d'eau, que l'on rencontre sur le glacier de Görner, et sur le glacier d'Aletsch, au voisinage du lac de Marjelen. Nul doute que l'eau liquide ne fût l'auteur de ces excavations au nombre de deux.

D'après les mesures des observateurs, la quantité d'eau totale contenue dans les marmites représentait 100.000 mètres cubes, dont 80.000 pour la cavité supérieure. Tout d'abord, la question de leur origine

1. C. R. *Acad. sc.*, volume de 1892 (2e semestre).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

se posa comme décisive, et c'est là que le seuil mentionné plus haut intervint : il s'opposa à l'écoulement de l'eau ruisselante sur les parties hautes du glacier et qui arrivèrent derrière lui, non seulement par la surface, mais encore par des crevasses plus ou moins profondes.

Par suite de sa pression et de la rencontre du seuil, l'eau contenue dans ces crevasses remonta, en vertu du « principe des vases communicants » et, par sa température supérieure à 0, élargit les réservoirs qu'elle envahissait. C'est en somme la répétition, sous une autre forme, de la voûte des glaciers. L'écroulement de la tête du glacier serait imitée par un barrage, s'opposant à la sortie de l'Arveyron qui, après une crue suffisante de celui-ci, s'écroulerait sous son poids.

Lors de notre voyage dans le Caucase, nous vîmes dans la rivière, au pied du Kasbek, la *pierre Yermoloff*, qui mesure 29 mètres de long sur 15 mètres de large et 13 mètres de haut, c'est-à-dire 5.655 mètres cubes. Elle est là depuis 1832, époque à laquelle elle fut apportée par une avalanche, qui remplit la vallée du Térek, de boue et de blocs de pierre et de glace, sur un parcours de plus de 2 kilomètres. La coulée avait jusqu'à 90 mètres de hauteur ; la masse de l'avalanche plus de 15 millions de mètres cubes. « Les restes de cette avalanche, dit Dubois de Montpéreux[1], formaient encore, en 1834, à moitié du chemin de Kasbek à Darial, des deux côtés du chemin, deux murs puissants de glace mêlée de blocs de pierre et de cailloux, qui, détachés au fur et à mesure par le dégel, s'écroulaient tout à coup au risque d'écraser le voyageur. Ces amas de glace étaient un pont naturel sous lequel on entendait gronder le Térek sans le voir. »

La route fut impraticable aux voitures durant deux

1. *Voyage autour du Caucase*, 5 vol. grand in-4°, Paris (1840-1843).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ans. En 1776, le torrent qui se précipita des cimes du Kasbek, entraîna de telles masses de pierre, de glace, de neige, que le cours du Térek en fut arrêté durant trois jours. Il en résulta une inondation qui engloutit nombre de villages. Elle allait en atteindre, qui étaient à plus de 80 pieds au-dessus du niveau du Térek, lorsque la digue de glace se rompit.

« Ces avalanches se produisent tous les six ou sept ans. Elles sont dues, dit M. Loewinson-Lessing, à la crue périodique du glacier qui vient buter contre un promontoire du flanc gauche de la vallée, jusqu'à ce qu'il parvienne à se frayer un chemin, en précipitant dans la vallée une énorme quantité de glace, de boue et de blocs ; le lac qui se forme derrière le glacier emprisonné par le promontoire, se transforme alors en un torrent déchaîné [1]. »

A la base de certains escarpements qui entourent et délimitent des régions plus ou moins circulaires, il s'accumule parfois des produits d'avalanches de névé, des chutes de séracs, toujours plus ou moins mélangés de pierres. Ces matériaux, auxquels on donne le nom de *glaciers de cirque*, se cimentent facilement par le regel d'eau liquide, infiltrée dans les interstices laissés entre eux.

Ils n'ont guère de traits distinctifs des régions comprises dans les glaciers ordinaires, par exemple, au pied du ressaut, si pittoresque, des Bossons, où les grands séracs originaires des parties hautes viennent, chacun à son tour, se précipiter en désordre.

Rien ne peut mieux confirmer notre définition du glacier type : un complexe de débris rocheux de toutes dimensions et des provenances les plus variées dans le périmètre du bassin cryologique, cimentés par de la glace conjonctive.

1. *Guide des excursions du VIIe Congrès géologique international*, n° XXII. De Wladikavkaz à Tiflis, par la route militaire de Géorgie (1897).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ce qui nous arrête dans l'énumération actuelle, c'est surtout le volume de ces produits rocheux, qui va de la poussière la plus ténue jusqu'à beaucoup de mètres cubes.

Formations stratifiées. — Certains produits de la sédimentation glaciaire ne coïncident pas, par leurs caractères, avec les types qui précèdent et qui méritent le nom de formations accumulées. Il en est, à la production desquels collabore l'eau liquide et qui affectent en conséquence une apparence de stratification, qui manque par définition aux produits précédents. De là est résultée la croyance que bien des traces glaciaires doivent être attribuées à l'intervention de torrents et la doctrine diluvienne, aujourd'hui abandonnée, a prétendu y recueillir des appuis au profit de ses assertions.

Sans sortir de la chaîne des Alpes, on peut invoquer ici le glacier d'Aletsch dans ses rapports avec le lac de Märjelen. Les matériaux pierreux apportés dans le bassin de celui-ci par les glaçons flottants, subissent en se précipitant au fond de l'eau et en cédant très inégalement à son entraînement, en conséquence de l'inégalité de leur poids, un véritable triage qui leur procure une ressemblance générale avec les dépôts exclusivement aqueux.

« J'ai vu bien des fois, dit Ch. Grad [1], des couches de sables et de cailloux roulés à stratification régulière déposés contre les moraines, de façon à fournir des preuves *contre* l'existence de glaciers en ces lieux, si les glaciers n'avaient été présents sous mes yeux, par exemple à Grindelwald et au glacier du Rhône : c'est pendant le recul du glacier dont le torrent peut déborder en arrière de la moraine frontale et déposer à son pied les couches dont il s'agit. Jamais je n'ai observé auprès des moraines, des dépôts stratifiés avec un aussi grand développement que dans

1. C. R. LXIX (1315).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le bassin du glacier de Z'mutt, dans la vallée de Zermatt. De 1866 à 1869, ce glacier non seulement a reculé, mais il a subi un affaissement considérable et s'est retiré, de manière à se trouver isolé des petits glaciers latéraux. En remontant le glacier, on le trouve maintenant resserré entre deux puissantes moraines latérales, qui laissent un intervalle assez vaste, une sorte d'énorme sillon entre les montagne de la rive et le glacier. Ces deux sillons servent in lits à des ruisseaux venus des régions supérieures. Après la fonte des neiges et les pluies, les ruisseaux se changent en torrents impétueux charriant de grandes quantités de débris. Des couches de limon, de sable, de cailloux et de graviers roulés et parfaitement arrondis se déposent ainsi en stratification régulière le long de la moraine. Si le glacier de Z'mutt venait à disparaître, des lambeaux de ces dépôts stratifiés resteraient sur les flancs du bassin et y figureraient des corniches à pente sensiblement plus inclinées que celle du fond de la vallée. »

Il en serait de même, sur une plus grande échelle pour les côtes de Norvège, où de nombreux glaciers, qui ont, comme beaucoup de ceux des Alpes, éprouvé des variations consécutives à leur diminution lente de volume, ont accumulé dans les parties basses des vallées qui les conduisent à la mer, des lits de boue, de sable et de gravier.

L'histoire de ce genre de formation ne pourra être complète pour nous, qu'au moment où nous serons amenés à étudier les phénomènes sédimentaires, qui prennent naissance au front des glaciers aboutissant à la mer.

Avant d'y parvenir, notons qu'on attribue une origine glaciaire à certains dépôts, situés plus ou moins au voisinage de glaciers, ou de roches moutonnées pouvant faire supposer l'intervention de glaciers, de matériaux tels que ces poussières fines qu'on rencontre, avec une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

assez forte épaisseur, dans la vallée du Rhin et que les Alsaciens ont depuis longtemps qualifiées de *loess*. Il y a lieu de le distinguer d'une formation très analogue par ses caractères physiques, au point qu'on lui donne le même nom, mais qui est, au moins pour une grande part, un dépôt atmosphérique.

En Alsace, le loess forme le long des montagnes, une bordure interrompue par les sillons qui y ont été creusés et par des rivières, et par les alluvions anciennes que ces cours d'eau y ont charriés. Entre Schelestadt et Obernai, le loess n'occupe qu'une largeur de 4 à 5 kilomètres; mais entre la Bruche et la Zorn, comme entre le Sauerbach et la Lauter, le même dépôt, mesuré de l'est à l'ouest, a une largeur de 25 kilomètres[1].

Au point de vue de la composition chimique, c'est un mélange, en proportion sensiblement égale, du produit de trituration de toutes les roches abondantes : en négligeant les matières rares, on peut le regarder comme formé de quartz, d'argile et de calcaire, tous trois réduits en fine poussière. Sa couleur est d'un blond pâle, comportant parfois des bigarrures; sa structure est sensiblement homogène, ce qui l'empêche de manifester des traces nettes de stratification, mais il s'est souvent produit, dans sa masse, des travaux secondaires de concrétion, résultant de son induration, par des infiltrations calcaires qui en font de la marnolite. On y rencontre des vestiges fossilles et, en particulier, des coquilles qui, le plus souvent y ont été introduites par des remaniements comme des perforations réalisées à l'approche des hivers, par les mollusques qui les habitaient. Les espèces, assez nombreuses, sont terrestres, comme les *Helix* et les *Pupa*) ou d'eau douce, comme les lymnées et les succinées. On y recueille aussi des débris d'animaux supérieurs,

1. Daubrée. *Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin*.1 vol. in-8°. Strasbourg (1852).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dont les plus remarquables proviennent d'espèces disparues, comme le mammouth (*Elephas primigenius*) et le Rhinocéros à narines cloisonnées (*Rhinoceros tichorhinus*). L'épaisseur de cette formation peut, en beaucoup de points, atteindre 60 à 80 mètres.

Le loess se rattache par des intermédiaires très ménagés, aux boues déposées par les glaciers actuels, cantonnés maintenant dans le haut des vallées, d'où sortent le Rhin et ses affluents.

Sans insister davantage sur les formations glaciaires stratifiées, il est indispensable de faire mention des phénomènes sédimentaires auxquelles donnent nécessairement naissance les glaciers qui aboutissent à la mer et qui par conséquent jouissent d'une dimension colossale. C'est revenir, en quelque manière, aux formations accumulées, telles que les moraines, mais l'intervention de l'eau y apporte une caractéristique toute spéciale et qui en fait, pour le moins, une transition, vers le type stratifié.

Les matériaux pierreux associés à la glace qui descend à la mer, peuvent bien tomber en partie au fond de l'eau, là où les glaces flottantes se détachent; mais une bonne partie d'entre eux, restent enchâssés dans l'eau solide et, grâce à celle-ci, sont souvent emportés par les courants comme des matériaux flottants, et jusqu'aux localités de fusion complète de la glace.

Peut-être bien que la plus frappante à cet égard est dans le bras de mer qui sépare Terre-Neuve de la Nouvelle-Ecosse, là où la branche descendante du Gulf-Stream, arrivant des régions hyperboréennes, se rencontre avec la branche montante du même courant, dirigée vers le Nord-est.

Le commodore Maury[1] a décrit en un style remarquable, les conflits qui résultent de cette conjonction

1. *The physical geography of the sea and its meteorology*, 1 vol. in-8°. Londres (1855).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et en particulier la sorte d'épouvante avec laquelle les animaux polaires rebroussent chemin, au contact de l'eau relativement chaude. Les débris rocheux charriés jusque là sont abandonnés à la pesanteur et un certain nombre de géographes sont d'avis qu'il ne faut pas chercher ailleurs que dans ce mécanisme, l'artisan du haut fond du sud-est de la grande île qui est connue sous le nom de Banc de Terre-Neuve. Il faudra nous souvenir de lui, quand nous aurons à interpréter les formations ambiguës, à la fois océaniques et glaciaires, que les géologues anglais étudient sous le nom de *till*.

D'un autre côté, les blocs de glace abandonnés au flot par les glaciers du type polaire, essaiment certainement leur charge minérale sur toute la projection horizontale de leur trajectoire maritime, et il ne faut pas une grande puissance d'imagination, pour se faire une idée de l'apparence que présenterait nécessairement le fond de l'Océan dans ces parages, s'il était tout à coup désséché : on y verrait des traînées de blocs de toutes dimensions, irradiant vers une série de localités méridionales et contrastant de la manière la plus complète, au point de vue minéralogique, avec les matériaux en place du fond sous-marin.

Ce type de formation nous a déjà frappé, à propos des glaciers des Alpes, car il est reproduit, quoique par un procédé notablement différent dans l'intervalle des moraines frontales parallèles, situées en avant du front des glaciers, en voie de variation par diminution. On le connaît couramment sous le nom de *terrain éparpillé*. On lui a donné aussi celui de terrain erratique. Il complètera pour nous la série des sédimentations glaciaires.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE V

Traces de glaciers disparus.

SOMMAIRE. — Le paysage morainique : exemple pris dans la Haute-Italie. — Les roches moutonnées; comment elles ont été travaillées. — Roches moutonnées du lac Cornu, du Hasli et du Grimsel ; des Pyrénées ; de la Scandinavie ; des Vosges. — Anciennes moraines dans les Alpes, dans les Vosges, dans les Pyrénées et en Auvergne. — Terrain glaciaire éparpillé. — Blocs erratiques. — « Le grand phénomène erratique du nord » : l'Allemagne, la Russie, la Finlande, le Nord de l'Amérique.

Nous avons dit, en passant, que les régions à glaciers présentent des caractères géographiques qui leur viennent précisément de l'existence de la glace et parmi lesquels on peut citer, comme spécialement nettes, les formes moutonnées de beaucoup de roches qui ont été abandonnées, tantôt par les décrues de moraines frontales laissées plus ou moins loin du front actuel ; tantôt par la dispersion de blocs de toutes tailles qui, après avoir été submergés par le fleuve solide, ont été rendus au contact de l'atmosphère. C'est à cet ensemble de traits, que les autres causes d'usure du sol sont incapables de produire, que Desor a appliqué l'expression de paysage morainique.

« Un paysage, dit-il[1] n'est pas, en soi, quelque chose

1. *Le paysage morainique, son origine glaciaire et ses rapports avec les formations pliocènes d'Italie.* Un vol. in-8° avec deux cartes. Paris et Neuchâtel, 1875.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui soit délimité, comme une chaîne de montagnes, le bassin d'un fleuve, un groupe de glaciers. Il n'en est pas moins vrai qu'il existe une quantité de types de paysages, qui sont assez prononcés pour pouvoir être compris de chacun, sans qu'il soit besoin pour cela d'études géologiques ou géographiques spéciales. » Et l'auteur nous raconte comment dans la Haute Italie, en explorant les lacs de la Lombardie, il fut frappé par l'apparition du *paysage morainique*.

La région est limitée d'un côté par de hautes montagnes, et de l'autre, par la plaine lombarde. « Il est hors de doute, dit-il, qu'il a fallu ici des influences spéciales pour produire un contraste si particulier.

« Si l'on examine la nature du sol de cette région, on reconnaît, qu'à l'exception de quelques grandes collines qui se composent de roches massives, toute la contrée est formée de matériaux meubles, de sable, de gravier, alternant avec du limon ou de la marne, et offrant çà et là des blocs erratiques de granit: ce sont évidemment les débris de formations plus anciennes, réduites et usés par le frottement. »

Mais la plaine lombarde aussi, est formée de matériaux meubles, d'origine glaciaire, et la différence n'est pas dans la constitution du sol; c'est sa configuration qui fait le paysage morainique. Au pied de la montagne, les depôts ont gardé « l'aspect chaotique et irrégulier qu'ils avaient quand le glacier les a apportés, tandis que dans la plaine, ces mêmes matériaux ont été travaillés et façonnés par les inondations qui les ont stratifiés et remaniés ».

Et Desor cite divers autres points de la Haute-Italie, où se retrouve le même paysage, avec d'innombrables collines, qui semblent disposées en cercles concentriques, comme les moraines terminales, par la diversité de leurs cultures et de leurs beautés naturelles. Nous citerons d'autres exemples

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de pays morainiques, dont l'examen et l'étude ont amené la conviction qu'il a effectivement existé des glaciers dans des régions où il ne reste rien de leur substance primitive.

Tout d'abord, rappelons, qu'en conséquence de la variabilité de chaque glacier considéré à part, et qu'on a attribuée, comme d'instinct, à l'inégalité de rigueur des hivers successifs, les glaciers les plus actifs sont comme auréolés d'une zone de roches qui portent l'estampille du travail glaciaire. La variété la plus caractéristique en est fournie par les roches polies, que Saussure a dites *moutonnées*, et qui, manifestement, ont été rabotées et creusées de sillons, dont les plus volumineux ont été qualifiés de « coups de gouge ».

La partie inférieure de la Mer de Glace offre, sur ses deux flancs, des accidents de ce genre, dont l'origine est d'autant moins douteuse, qu'il suffit de pénétrer dans la gorge d'où dévale l'Arveyron, pour voir en certains points, le sol de la caverne, adorné de détails tout à fait semblables.

Nul doute que le convoi de pierrailles pris sous la glace, et entraîné par celle-ci dans son mouvement de descente, ne soit le véritable *rabot* qui ait agi. Le torrent sous-glaciaire ne diffère pas assez radicalement des torrents ordinaires pour qu'on ne soit pas porté à comparer ce travail à celui que nous voyions récemment, à ses différents degrés, dans les gorges du Staubach, du Mülhbach et du Trient. Mais il présente cependant des traits distinctifs, qui sont certainement dus au maintien relatif des galets sous la masse lourde qu'ils supportent et qui leur interdit les divagations inévitables dans le lit de l'eau liquide[1]. Aussi, voit-on ces coups de gouge continuer parfois

1. Il ne faut pas oublier que le torrent liquide sous-glaciaire des parties basses a travaillé de son côté comme les torrents à ciel ouvert. Nous en faisons ici abstraction.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en ligne, à peu près droite, sur des mètres de longueur, et avec peu de variations dans leur diamètre. C'est le lieu de constater qu'un seul galet, pris entre la glace et la roche en place, ne peut guère laisser une trace sur celle-ci, pas plus qu'il n'en peut recevoir un contre-coup : vu la fragilité de la glace dans laquelle il est enchâssé, le moindre contact avec le lit pierreux a nécessairement pour résultat, son refoulement dans la substance gelée. C'est seulement comme élément de la nappe de cailloux serrés les uns contre les autres, que chaque galet peut contribuer, au moins pour un temps très court, au travail collectif de l'ensemble.

Un exemple, remarquablement éloquent, nous est fourni par le lac Cornu, déjà mentionné page 148, dans le massif des Aiguilles Rouges, dont font partie le Mont Pourri ou Faul-Horn (2.540 m.), l'Aiguille de la Glière (2.700 m.), le Brévent (2.525 m.). On va au lac de la Flégère, par le col de la Glière, qui laisse à gauche le Mont Pourri, lequel ne mérite que trop son nom, car il s'en détache à tout instant des pierres, assez dangereuses pour l'ascensionniste. Si, comme nous le fîmes, on arrive à la fin de l'après-midi, le lac Cornu présente un aspect vraiment fantastique. Ses eaux, d'un noir d'encre, sont entourées de neige, par places d'un rouge de sang, coloration due à la présence d'algues microscopiques (*Protococcus nivalis*). Tout alentour, le granit, qui est très dur, est marqué au sceau des phénomènes glaciaires. De tous côtés, ce ne sont que surfaces polies, striées, cannelées et marmites de géants.

Ce terme de marmites de géants, désigne des cavités cylindrosphériques et contenant en général chacune une meule, c'est-à-dire une pierre arrondie de roche très dure.

Un des plus beaux exemples s'en montre au « Jardin des Glaciers » de Lucerne, célèbre aussi par le Lion mourant de Thornwaldsen.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Au cours du déblaiement nécessaire pour construire ce jardin, on rencontra une réunion extrêmement nombreuse et variée, des excavations dont il s'agit. Nous n'avons pas à revenir sur leur mode de formation. Leur présence suffit pour prouver que la région de Lucerne a été couverte de glace maintenant disparue. Pour en revenir au lac Cornu, on observe que les roches n'y sont pas seulement polies, mais qu'elles sont encore couvertes de stries, véritables diminutifs des coups de gouge et qui apportent de leur côté la preuve de la présence d'un glacier à cette place. Ajoutons qu'il y a encore, dans ce massif des Aiguilles Rouges, de petits glaciers, dont les plus importants sont ceux du Dard et de Foriaz.

De beaux spécimens de roches polies et moutonnées, se voient dans l'Oberland bernois, dans la vallée de Hasli, où coule l'Aar. De Guttanen, pauvre village à 1.049 mètres d'altitude, la route s'élève beaucoup et après vous avoir fait passer par de maigres pâturages, vous amène dans une région que les avalanches ont remplies de pierres. En même temps, on aperçoit des roches de granit mamelonnées, polies et striées. Bientôt on parvient à la cascade de la Handeck, à partir de laquelle le gneiss et le granit, toujours avec les mêmes caractères, dallent pour ainsi dire le sentier, depuis la Handeck jusqu'au delà des glaciers de l'Aar. Enfin, on arrive à l'hospice du Grimsel, situé dans le site le plus mélancolique qu'on puisse imaginer, au bord d'un petit lac, dans un cirque stérile de roches mamelonnées, striées et polies.

Les Pyrénées offrent également de beaux exemplaires de ces sortes ce roches. Dans la vallée d'Aure, vers le niveau de Serrancolin, le vieux grès rouge est moutonné et poli. Dans la vallée de Luchon, au Nord de Cierp, dans celle d'Ax, dans la partie supérieure de la vallée de Carol, c'est le granit qui montre le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

travail des glaciers. Les plus beaux spécimens, — des calcaires secondaires, — se trouvent aux environs de Lourdes.

Desor, qui a beaucoup étudié la Scandinavie, nous dit que les roches polies y existent sur une bien plus grande échelle qu'en Suisse : « A proprement parler, dit-il, le sol tout entier de la Scandinavie n'est qu'une vaste surface polie. S'il arrive que sur un point quelconque, les polis échappent à l'observateur, il suffit d'enlever la couche du diluvium qui recouvre le sol pour les retrouver avec leurs sillons et leurs stries caractéristiques. S'ils sont complètement effacés d'une colline ou d'un ravin, l'œil exercé n'en reconnaît pas moins, dans les *formes ballonnées* des rochers, qui sont l'analogie des roches moutonnées des Alpes, les traces du gigantesque rabot qui a façonné tous les reliefs ».

Les roches polies et striées existent dans les pays où la neige ne persistent pas, et, à cet égard, les Vosges ont un intérêt exceptionnel[1].

Les vallées qui rayonnent du Hohneck, la plus haute sommité des Vosges, présentent toutes les variétés d'accidents glaciaires.

A la porte même de la petite ville de Wesserling, le Glatstein est un des premiers exemples de roches polies par d'anciens glaciers. Il a été cité par Ed. Collomb[2]. C'est une roche sédimentaire de schiste argileux gris bleu, compacte, à grain très fin, dont les states, largement dessinées dans la direction Est-Ouest et plongeant au Nord, alternent avec des couches d'une grauwacke, à grain plus grossier et en stratification concordante. Le Glattstein offre un des plus

1. *Matériaux pour servir à l'histoire des Glaciers.* Phénomènes erratiques, p. 388.

2. *Preuve de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges.* Un vol. in-8°, Paris 1847.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

beaux types de roches striées. Les stries sont dirigées indépendamment du sens du clivage de la roche. L'auteur les divise en quatre groupes: rectilignes, saccadées, cannelées, croisées, c'est-à-dire tout à fait analogues à des stries de glaciers modernes. Leur analogie avec celles-ci est encore affirmée par l'existence sur la roche, dans les points où elle est protégée par la terre végétale, d'incrustations produites par des eaux calcaires, de sable fin et de limon, qui ont, avec la *boue glaciaire*, les analogies les plus complètes.

Auprès du village de Sewen, dans la vallée de Massevaux, une roche moutonnée se montre à découvert sur quelques points de la rue principale du village. Une de ses surfaces, inclinées à 60°, est usée et frottée au point d'offrir, sur une petite échelle, la représentation exacte de la Helle-Plate, du Hasli, près de la Handeck. D'autres surfaces aussi bien polies, arrondies, taillées en dos d'âne, percent au milieu des prairies et des jardins qui entourent le village.

Notons qu'on a souvent attribué la même origine à des *surfaces de calcaire* également polis, mais que dans ce cas, l'interprétation est toute différente.

Nous nous en tiendrons à cet exemple, ayant à revenir sur le sujet dans un chapitre ultérieur.

A côté de ces faits, qui concernent la dénudation par les glaciers, l'histoire de la sédimentation qui est leur œuvre, nous en procure de très éloquents. C'est ainsi, qu'en avant de tous les grands glaciers des Alpes, on rencontre des bourrelets traversant les vallées et qui sont sans aucun doute d'anciennes moraines. Il va sans dire qu'elles ont subi de la part des intempéries des altérations profondes, mais qui sont tout à fait impuissantes à en masquer l'origine glaciaire. On ne peut parvenir à la moraine actuelle de la Mer de Glace, qu'après avoir franchi un barrage de ce

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

genre, où tous les observateurs sont d'accord pour reconnaître le travail d'une large zone glacée qui a maintenant disparu. La forme générale est la même que celle de la moraine en voie actuelle d'accroissement; la structure en est identique, les éléments étant accumulés sans aucune espèce de classement, pas plus au point de vue de leurs dimensions, qu'à celui des points d'origine, si divers, qui les ont fournis.

Le même fait se présente avec une netteté toute pareille devant le glacier de Grindelwald, devant celui de Morterasch, et devant une infinité d'autres.

La découverte d'une sédimentation glaciaire qui n'est plus en relation directe avec le fleuve glacé, son auteur, nous conduit à mentionner des cas ou des édifications toutes semblables, se dressent dans des vallées définitivement privées de glaciers, et nous sommes ainsi ramenés aux Vosges.

La vallée de Munster présente plusieurs moraines successives et dont il est facile de reconnaître, à leur plus grande détérioration intempérique, celle qui a été construite la première. Quand on suit l'*imum vallis* (le *thalweg* dans la langue du pays), on rencontre au village de Metzeral, une moraine réduite maintenant à des tronçons, mais dont l'origine ne peut pas être contestée. Les matériaux qui la composent sont surtout des blocs de granit arrondis, avec très peu de débris sédimentaires. A Sondernach, qui est situé plus haut, la moraine est bien mieux conservée dans sa forme générale, mais plus attaquée dans ses éléments constitutifs. Le granit y est relativement rare, et ce qui y abonde, ce sont des fragments schisteux.

Les mêmes faits se renouvellent, sans variantes essentielles, dans toutes les vallées des Vosges.

Nous en retrouverions la production à toutes sortes d'échelles dans des régions très variées, surtout dans

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les Pyrénées qui à cet égard constituent un centre extrêmement riche.

Dans toute cette chaîne, sans exception, dès que l'on arrive à l'entrée d'une grande vallée dans la plaine, on est frappé d'y rencontrer des caractères géographiques du paysage morainique de Desor. Des quantités de boues glaciaires sont directement superposées sur les masses de roches granitiques et métamorphiques et, quand on pénètre dans la vallée plus rétrécie, qu'il s'agisse de celles de Lourdes, de l'Adour, de la Neste, de la Garonne, etc., on voit invariablement se dégager une moraine incontestable, quoique érodée par la pluie et détériorée dans ses contours classiques, qui rappelle complètement celles des Vosges.

D'après le Dr Garrigou [1], ce terme primitif de la série glaciaire doit remonter à une antiquité plus haute que l'époque miocène, qui s'affirme, en plus d'un point, par des gisements remarquables de fossiles. Dans la vallée d'Argelès, des signes glaciaires se trouvent jusqu'aux portes de Tarbes. Entre les villages de Peyrouse et de Pouts, au Nord de Lourdes, une moraine de 11 kilomètres environ, se signale nettement. La voie ferrée du Midi la traverse et permet d'en bien examiner la structure. On constate la présence de sept moraines successives, entre Lourdes et Adé, où Collomb et Charles Martins les ont signalées depuis longtemps. On les rapporte à l'époque tertiaire supérieure ou pliocène.

Dans la vallée de la Garonne, des moraines telles que celles de Saint-Laurent, de Saint-Paul et de Labroquère, ont été déposées par des glaciers bien moins étendus que les premiers. D'après M. Joseph Roussel [2] le glacier de la vallée de la Garonne était

1. *Les glaciers anciens et récents des Pyrénées*, conférence faite à Bordeaux par le Dr F. Garrigou. In-8° Toulouse (1876).
2. *Bull. de la Carte géol. de France*, V. 241 (1893-1894).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

plus puissant mais moins long que celui de l'Ariège. Sa principale moraine frontale est entre Saint-Gaudens et Montréjeau. Il en est de même encore dans la vallée d'Ossau où les découvertes de MM. Genreau et Thore ont confirmé les vues de M. Garrigou. Il en est de même en plusieurs autres endroits. En continuant l'ascension des vallées jusque dans les hauts sommets, on retrouve encore des moraines terminales de glaciers, de plus en plus récentes, à mesure qu'elles sont situées plus haut.

C'est de même que le professeur M. Boule[1] a signalé la topographie des plateaux qui constituent le fond et les pentes inférieures du vaste hémicycle de 40 kilomètres de diamètre que forment les reliefs du Mont Dore, du Cezaltier et du Cantal — comme des plus curieuses et liée à des phénomènes glaciaires.

Selon lui, cette topographie est caractérisée avant tout par la présence de milliers de petites buttes distribuées indifféremment dans les régions de granit, de granulite, de basalte, d'andésite, etc. Tous ces monticules offrent, du côté tourné vers les parois de l'hémicycle montagneux, des pentes douces, des surfaces moutonnées, souvent sillonnées de stries profondes et parallèles, tandis que du côté opposé, la roche a conservé ses angles vifs et forme des escarpements verticaux. Lecoq avait bien observé et décrit ces traits du paysage dans le Puy-de-Dôme mais sans les rattacher à leur vraie origine.

Celle-ci ne saurait faire l'objet d'un doute.

Entre ces monticules, se trouvent de petites plaines, véritables labyrinthes de prairies, où il est très difficile de se guider, même avec une carte, et dont le sous-sol est formé par des moraines, ou des alluvions glaciaires, avec blocs exotiques de toutes les grosseurs.

On trouve sur ces plateaux un grand nombre de

1. *Bull. du service de la carte géol. de France*, VIII, p. 63 (1897).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

vallées sèches, témoin d'un antique régime hydrographique et c'est également dans cette région que s'observent presque tous les lacs de l'Auvergne qui n'ont pas une origine volcanique,

C'est sur plus de 500 kilomètres carrés, que se voient ces particularités. Les traînées d'*alluvions glaciaires* et les blocs erratiques franchissent le fossé profond, où coule la Dordogne et vont recouvrir les collines du Limousin.

Elles ne sauraient s'expliquer pour des glaciers individualisés, logés dans des vallées séparées ; ils impliquent l'existence d'une véritable nappe de glace ayant recouvert toute la région.

Il y a là les vestiges d'un réseau hydrographique, où des captures en tous sens ont successivement étalé les alluvions fluviaires sur tout le pays et rien de glaciaire.

Cette grande extension glaciaire n'a rien de commun avec celle que plusieurs savants ont cru reconnaître à Perrier, près d'Issoire, puisque dans la région qui nous occupe elle est postérieure au basalte des plateaux.

Elle remonte néanmoins à une haute antiquité, car tout le réseau hydrographique actuel est plus récent.

On ne l'observe que sur les plateaux qui dominent le fond des vallées actuelles de 100, 200 et même 300 mètres.

« Après leur creusement, dit l'auteur, ces vallées furent occupées par des glaciers locaux dont les traces, décrites depuis longtemps aux environs d'Aurillac et dans la vallée de l'Allagnon, s'observent aussi dans la plupart des vallées cantaliennes. C'est ainsi que le fond de la vallée de *Mars*, présente de grandes surfaces rocheuses, striées et moutonnées, que les vallées de la Véronne, de la Rue, de la Sautoire, etc., offrent de superbes moraines.

Des formations analogues se voient aussi dans la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

vallée de la Cère. Sur le massif sud du Plomb du Cantal, dans la petite vallée du Seniq, près de Malbo, à 1.040 mètre d'altitude, M. Boule a signalé des traces admirablement conservées d'un petit glacier quaternaire, qui n'atteignait pas 10 kilomètres de longueur et dont l'œil peut embrasser à la fois toutes les pentes : cirque névéen, moraines latérales, moraine frontale, dépression centrale. »

Sans insister davantage, on peut résumer cette intéressante constatation, en disant que dans tous les pays de glaciers, on trouve des exemples du même genre.

L'un des cas les plus singuliers et peut-être les plus imprévus, concerne la moraine submergée qui traverse tout le lac Leman, de Prangin à Yvoire, et qui témoigne que tout le lac est un simple incident au fond de la vallée qui a contenu le glacier du Rhône avant sa fusion partielle, ou quelque autre glacier descendant de la pente de Morcle ou de la Dent du Midi.

C'est à la même conclusion que nous arriverons encore, si nous étudions les intervalles que les vallées à physionomie glaciaire nous présenteront entre leurs moraines parallèles. Partout, on y trouvera ce type de formation que nous avons désigné plus haut sous le nom de *terrain glaciaire éparpillé*.

D'une moraine à l'autre, le sol est recouvert d'un tapis de matériaux de toutes tailles, disséminés sans aucun ordre, et qu'on ne peut pas mieux comparer qu'à celui qu'on foule aux pieds, à la surface des glaciers en activité, — à tel point, qu'on se dit que la fusion du glacier en déterminerait nécessairement la production sur le sol qui le supporte, cas dans lequel s'ajouterait à sa propre substance tous les matériaux renfermés, à toutes les hauteurs, dans la glace et ceux mêmes sur lesquels il repose et qu'il entraîne dans son mouvement de progression.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pour épuiser toutes les formes de ces traces glaciaires, il est indispensable d'ajouter la mention de gros fragments rocheux, disséminés sur le fond de la vallée et sur ses flancs, de nature lithologique très variée et provenant de lieux d'origine très divers et parfois très lointains, qui justifient l'appellation de *blocs erratiques* qu'on leur applique.

Ils frappent d'autant plus l'attention, qu'ils gisent bien souvent sur des roches, qui n'ont aucun rapport avec eux. Par exemple, dans maintes localités du Jura, on voit des monolithes de granit et spécialement de protogine, roche caractéristique des plus hauts sommets alpins, déposés sur des assises de calcaire portlandien, avec un poids qui les rendrait intransportables, et souvent dans des positions imprévues, qui en font des blocs branlants.

Depuis la plus haute antiquité, ces résultats et ces témoins, d'opérations géologiques qui sont restées longtemps incompréhensibles, ont été l'objet de superstitions qui se sont même quelquefois traduites par une sorte de culte et qu'on a aimé à évoquer comme marques de la force musculaire exceptionnelle de personnages légendaires, comme Goliath, Samson, Gargantua, quand ce n'est pas le diable. Cette opinion n'a pas toujours suffi pour mettre ces monuments naturels à l'abri de leur exploitation, comme matériaux de construction, par des populations dépourvues de pierre à bâtir. Aussi, les gouvernements ont-ils trouvé sage, d'élaborer des règlements et de promulguer des lois, pour en protéger un certain nombre, qui constituent la série des monuments naturels, à côté de celle des monuments historiques. En 1899, un arrêté ministériel instituait une sous-commission d'inventaire des monuments mégalithiques et des blocs erratiques de la France et de l'Algérie. Beaucoup d'entre eux sont devenus propriétés de l'Etat et ont été préservés de toute déprédation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Parmi les plus célèbres, nous citerons, dans la vallée du Rhône, la Pierre du Trésor, bloc granitique sur la montagne calcaire de Plan y Bœuf, de 3.400 mètres cubes; le Bloc Monstre de De Charpentier, bloc calcaire sur une montagne de gypse appelée le Montte, provenant des montagnes qui bordent la vallée d'Avançon. Il mesure 17 m. 50 sur 14 mètres et 20 mètres, ce qui lui donne 4.900 mètres cubes. Le célèbre *Blaustein*, de la vallée de Saas, fut transporté vers 1750 par le glacier de Matmark et vient du Scwartzberg, il a 8.360 mètres cubes. D'après De Charpentier, il y avait encore à Saas, en 1821, des vieillards qui se rappelaient avoir entendu dire à leur père qu'ils avaient vu cet énorme bloc, sur le dos du glacier. La Pierre à Bot, qui provient des environs de Martigny, dans le Valais, et a parcouru 120 kilomètres, mesure 16 m. 20, sur 6 m. 50 et 13 mètres et cube 1.370 mètres. On la voit au-dessus de Neuchâtel et elle repose sur la plus petite de ses faces. La *pierre suspendue*, qui se trouve au-dessus de Monthey, parmi d'autres blocs erratiques, est en équilibre sur un espace grand comme la main. De la Finlande à Moscou d'innombrables blocs erratiques sont disséminés sur le sol qui sépare le lac Onéga, de Memel à 1.000 kilomètres. La statue de Pierre le Grand, à Saint-Péterbourg, a pour piédestal un bloc erratique de 15.000 tonnes.

Il est des régions où la réunion des traces glaciaires prend une telle dimension, qu'à première vue elles semblent incompatibles, avec l'allure ordinaire de la géologie et en conséquence ont provoqué des théories évidemment insoutenables, comme nous le démontrerons plus loin. On les a évoquées comme preuve d'un état géologique que nous décrivons sous le nom, longtemps accepté sans protestation, de « grand phénomène erratique du Nord ». Il se manifeste d'une manière toute spéciale dans l'Eu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rope du Nord et dans l'Amérique septentrionale.

Pour ce qui est de l'Europe, l'observation fondamentale consiste dans le développement d'un « paysage morainique » d'une dimension tout à fait inusitée. Comme érosion, il nous offre le rabotage et le moutonnage incontestables de certaines régions de la Scandinavie et de la Finlande, et spécialement de certaines îles de la Baltique, dont la région Nord est adoucie et arrondie, polie et striée par l'effet de courants de glace, allant vers le sud et dont l'autre versant est très accidenté, très anguleux, comme si la glace en mouvement, faisant pont par-dessus lui, lui avait épargné tout frottement.

Comme témoignage sédimentaire, le grand phénomène erratique du Nord de l'Europe nous présente du terrain glaciaire éparpillé sur une dimension colossale. Toute l'Allemagne septentrionale et toute la Russie du Nord-Ouest, sont saupoudrées de blocs de roches cristallines ou métamorphiques très variées, gisant sur des formations extrêmement diverses. Certains types de ces roches aberrantes, sont si nettement caractérisés, qu'on a pu en retrouver, sans le moindre doute, la patrie originaire.

Par exemple, on trouve, jusqu'aux portes de Berlin, à la surface de formations tertiaires, c'est-à-dire très récentes, des blocs parfois fort gros de *syénite zirconienne*, c'est-à-dire d'une roche éruptive supposant un régime volcanique, qui n'existe pas dans cette partie de l'Allemagne et dont on n'a pu jusqu'ici retrouver de gisement *in-situ*, qu'aux environs de Christiania.

Un autre type, qui abonde avec le précédent, et dans la même région, consiste en calcaire très fortement métamorphique et en même temps très fossilifère, que les organismes qu'ils renferme conduisent à cataloguer dans le terrain silurien supérieur. Ce calcaire existe, avec la totalité de ses traits distinctifs,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans l'île Baltique de Gothland, comme l'un des éléments de tout un ensemble de stratigraphie, qui a précisément fait réserver, au silurien supérieur, le nom de Gothandien.

Pour la Russie du Nord-Ouest, la profusion des blocs erratiques est au moins aussi grande qu'en Allemagne ; mais on n'a point retrouvé l'origine de toutes les roches qui y collaborent. On nous permettra pourtant. avant de conclure, de faire au moins allusion à une légende, encore extrêmement vivace parmi le peuple russe et qui a conservé jnsqu'à aujourd'hui un caractère religieux. J'en dois la connaissance à l'amitié du regretté M. Alexis Yermaloff, longtemps ministre de l'Agriculture et des Domaines, et qui s'est entièrement dévoué au perfectionnement de son pays, jusqu'au moment où l'approche des catastrophes qu'il voyait clairement se dessiner, a déterminé sa mort.

Le *Miracle de Saint-Prokopy* concerne la protection qu'un ermite, qui vivait à la fin du XIIIe siècle, passe pour avoir étendu sur le pays, en détournant un nuage composé de grosses pierres marchant vers la ville d'Oustrougue-le-Grand, pour punir les habitants de leurs vices, au-dessus de la région voisine, couverte de vastes forêts inhabitées. Saint-Prokopy ayant évidemment sauvé du châtiment céleste, la ville et tous ses habitants et encore vénéré comme le patron de la province de Vologda, a reçu en échange la dédicace d'une chapelle où des icones laissent encore apercevoir malgré les injures du temps, les incidents principaux du miracle.

En dehors de la chapelle et près de sa porte, se voit sur un socle, dûment pourvu d'une large étiquette, un gros bloc provenant de la pluie surnaturelle.

M. Yermoloff avait poussé la complaisance jusqu'à réunir pour moi, les éclats d'un bon nombre de blocs gisant dans la forêt voisine et j'ai pu les étudier tout

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à loisir : ce sont, sans une seule exception, des variétés de roches cristallines constituant le sol de la Finlande. Par conséquent, en laissant de côté ce qui concerne le nuage, on voit que ces matériaux ont irradié de la péninsule scandinave comme ont fait de leur côté les blocs erratiques de Berlin et nous les regardons, pour y revenir plus loin, comme les éléments d'une formation glaciaire, comparables, sauf pour la dimension, aux semis de matériaux glaciaires mentionnés plus haut.

Mais ce n'est pas tout, et l'Amérique du Nord nous procure un pendant très exact de l'histoire glaciologiste de l'Europe.

On y voit, et d'une manière peut-être encore plus continue que chez nous, de vastes surfaces recouvertes du terrain glaciaire éparpillé, avec des bourrelets de dépôts dirigés plus ou moins de l'est vers l'ouest et que l'on peut considérer comme des moraines plus ou moins altérées. Cette formation est comprise sous la dénomination de *drift*. Quand on en examine la composition lithologique, on constate que toutes les sortes de roches qu'il comprend, viennent invariablement du nord et quelquefois de fort loin. Ce sont des roches, cristallines pour la plupart, qui ont été réduites en fragments de toutes les tailles, depuis de la fine poussière jusqu'à des blocs notables, dont le plus grand nombre a pu être rattaché à des points de départ bien définis. Les montagnes septentrionales ont été mises à contribution, et l'on reconnaît aussi des masses provenant de chaînes échelonnées depuis le pays d'Alatska jusqu'au Labrador et la Nouvelle-Ecosse, par l'intermédiaire des reliefs composant la région des grands lacs[1]. Ce drift constitue un revêtement à peu près régulier admettant cependant des lacunes,

1. Voir à cet égard dans le *Third annual report of the united states geological survey* (Washington, 1883), le mémoire de M. Thomas Chamberlin intitulé : Preliminary report on the

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme, par exemple, dans la région des Montagnes Rocheuses, et à l'Ouest du lac Michigan, où se trouve une vaste région absolument dépourvue de traces glaciaires. La surface totale occupée par le drift est évaluée à 20 millions de kilomètres carrés. Sa limite méridionale est voisine du 39e parallèle, c'est-à-dire de la latitude de Washington et de San Francisco. Tout l'ensemble ne paraît pas avoir la même antiquité : on y voit des régions plus altérées que d'autres et certains auteurs, comme M. Chamberlin, pensent qu'on peut admettre deux périodes distinctes d'expansion. Les blocs erratiques ne manquent pas ; on en connaît de très volumineux et l'on en a signalé de 1.500 kilogrammes, qui présentent cette particularité de renfermer des morceaux de cuivre natif transportés des environs du Lac Supérieur jusqu'aux environs d'Otawa. On pourrait, pour beaucoup, tracer des itinéraires analogues à ceux dont nous parlions pour l'Europe, entre Christinia et Berlin, comme entre la Finlande et Oustiougue-le-Grand.

Nous aurons à revenir sur cet exemple gigantesque de la persistance du paysage morainique sur une surface exceptionnelle et nous estimons que le lecteur arrivera à la conviction qu'il s'agit de traces très éloignées d'être contemporaines les unes des autres, et que la vaste région américaine, pas plus que la vaste région européenne, où « le phénomène erratique du nord » étale ses produits, nous met sous les yeux un mélange tout à fait chaotique de résultats très inégalement anciens qui se sont déclarés les uns après les autres dans des points divers, avec la même apparence, et ont fini par donner un caractère unique

terminal moraine of the second glacial epoch et dans le tome XLI des *Monographs of the United states geological Survey* (Washington 1902), le mémoire de M. Frank Leverett intitulé : Glacial formation and drainage features of the Erie and Ohio Bassins.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à un pays amené, par fractions successives, à l'état presque uniforme qu'il nous présente. Il s'agit pour nous, de divers massifs glaciaires dont on pourrait comparer chacun à un massif alpin et qui, comme celui-ci, montre, ici et là, les progrès très inégaux d'une série d'actions juxtaposées. Celles-ci, pouvant d'ailleurs être séparées et souvent superposées, dans des localités indéfiniment changées au fur et à mesure des réactions souterraines, surrections et subsidences.

Il nous a paru préférable de déflorer, en quelque manière, une conclusion qui nous attend à la fin de nos études, plutôt que de laisser nos lecteurs en face de faits dont l'interprétation est selon nous inexacte.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE VI

Hypothèse de l'époque glaciaire.

SOMMAIRE. — Les traces glaciaires ne peuvent pas persister depuis les anciens âges géologiques. — Fausse contemporanéité des manifestations glaciaires. — Hypothèses de plusieurs époques glaciaires : Desor, Geikie, etc. — Les causes du refroidissement, d'après Agassiz, de Charpentier, Collomb, Suess, etc.

En rapprochant les uns des autres les témoignages que nous avons du phénomène glaciaire, la première impression est sa récence probable, au point de vue géologique. On n'est pas accoutumé à rencontrer dans les profondeurs du sol, soit des roches moutonnées, soit des moraines, soit des blocs erratiques, que l'on rapporterait au terrain triasique ou au terrain houiller. Mais, avant de tabler sur cette remarque, il est de première importance de constater que les traces glaciaires sont évidemment très fragiles, vis-à-vis des causes extérieures de détérioration, c'est-à-dire vis-à-vis des actions qui constituent l'intempérisme. Le poli des roches est particulièrement éphémère ; l'architecture des moraines ne saurait résister aux entreprises de l'eau courante ou au choc des vagues ; les blocs erratiques auraient bientôt perdu les caractères qui les font reconnaître, au sein des couches sédimentaires qui les auraient empâtés. En nous bornant donc aux observations concernant la surface de la terre, nous devons, au moins provi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

soirement, comprendre toute l'histoire des glaciers, dans un laps de temps qui ne dépasse guère dans le passé, la base du terrain quaternaire.

C'est d'ailleurs le sentiment qu'ont eu la plupart des auteurs, qui se sont sentis portés à faire du glacier, le trait distinctif d'une période spéciale. Conduits par les enseignements antérieurs, à l'opinion que la terre est soumise à une déperdition continue de sa chaleur originelle, ils ont recueilli des documents, empruntés aux époques successives du développement des règnes organiques, pour en comparer les températures, et ils sont arrivés à cette notion, certainement bien acquise aujourd'hui, que la température moyenne de chaque point de la surface continentale est allée, d'une manière générale, en s'abaissant lentement.

Aux époques qualifiées de primaires (silurienne, dévonienne, carbonifère), on constate l'existence d'une température tropicale, sur toute la surface terrestre : les roches carbonifères du Spitzberg et du Groënland renferment des fossiles de plantes comparables à nos Fougères arborescentes et à nos Cycadées, aujourd'hui cantonnées dans les pays tropicaux. A l'époque jurassique, vivaient dans le Nord de la France des forêts comparables à celles qui prospèrent maintenant dans la région méditerranéenne. Lors du dépôt du calcaire grossier, il y avait des forêts de lauriers-roses dans la région parisienne. Et même à l'époque quaternaire, on retrouve dans ce même pays, des figuiers qui n'avaient pas, comme aujourd'hui, besoin d'abri artificiel.

Malgré ce témoignage d'une continuité thermométrique bien remarquable, l'armée intrépide des théoriciens n'a pas craint d'imaginer l'intercalation entre le pliocène très doux et le pléistocène très clément une *période glaciaire*. Pour la justifier, on s'est livré à une ingéniosité incomparable.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il est vrai que ce ne fut pas sans soulever d'abord une énergique opposition : « Lorsque M. Agassiz annonça, dans son discours d'ouverture de la *Société helvétique des sciences naturelles*, le 24 juillet 1837, à Neuchâtel, qu'il y avait eu *une période glaciaire*..... ce ne fut qu'un cri général d'impossibilité et de négation. Cela blessait trop les opinions arrêtées et heurtait de front les idées reçues de la plupart des géologues qui étaient alors à la tête de la science ; et le plus célèbre, Léopold de Buch, se retira de la réunion en s'écriant :

« *O sancti de Saussure, ora pro nobis*[1]. »

Mais tout cela changea bientôt, et la supposition de la période glaciaire fut bientôt générale : On admit que tous les points où se montrent les traces dites glaciaires, c'est-à-dire le « paysage morainique », ces traits géographiques s'étaient manifestés exactement au même moment. Il y avait eu, par conséquent, des glaciers dans toutes les vallées des Alpes, l'un d'eux descendant la vallée du Rhône sur 350 kilomètres de longueur et avec 1.200 à 1.800 mètres de puissance verticale, selon Alphonse Favre. Il y avait eu de même des glaciers dans les Pyrénées jusqu'au pied de la Chaîne et très loin au Nord et au Sud de ses limites. La même disposition s'étendait à des régions d'altitude bien moindres : les Vosges étaient couvertes de glaces; le plateau d'Auvergne était gelé à fond ; même la presqu'île de Bretagne était dans le même cas, et quand on porte sur la carte du monde, les traces glaciaires, on en voit de tous les côtés.

Toutefois, après s'être complu à admettre, entre les manifestations glaciaires, une contemporanéité absolue, on a été un peu plus tard, contraint de la modifier, et cela mérite d'être signalé, parce qu'il s'agit là, d'un exemple, entre beaucoup d'autres, d'une disposition psychologique des géologues : c'est d'attribuer un

1. *Bull. soc. géol. de France*, XXV, 685 (18 mai 1868).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

même moment d'origine à des productions analogues. C'est ainsi qu'ils ont admis une *époque de fossilisation des coquilles*; une époque du *phénomène métamorphique*; une époque de l'*extension du limon rouge* dans les cavernes et autres lieux; une époque du *creusement des vallées*; une époque du *soulèvement des montagnes*; une époque des *plages soulevées*; une époque *corallienne*.

L'*époque glaciaire* est venue, jusqu'à nouvel ordre, compléter la série.

Seulement, il fallait trouver une cause à ce développement inopiné du froid. Avec un héroïsme qui peut surprendre, on n'a pas reculé devant l'hypothèse du passage de la terre, comme simple détail du système solaire, dans une région de l'espace céleste, beaucoup plus froide que celle où elle avait évolué précédemment. En conséquence, une partie des eaux superficielles, jusqu'alors liquides, se seraient congelées.

Une fois dans cette voie, où l'imagination pouvait s'en donner à l'aise, on ne s'arrêta pas, et il fut logique de conclure de certaines particularités offertes par divers gisements glaciaires, que la Terre a subi, dans toute sa masse, des refroidissements et des réchauffements alternatifs, signalés par des rétrécissements et par des extensions des glaciers. Et l'on n'admirera jamais assez, avec quelle désinvolture, on méprisa les observations qui ne cadraient pas avec cette doctrine, et tout d'abord, la comparaison que nous venons de faire des flores qui se sont succédé sur le globe et qui révèlent un refroidissement planétaire lent, mais parfaitement continu.

Mais il y a autre chose qu'on peut regarder comme encore plus grave : c'est que les témoignages en faveur de la multiplicité des périodes glaciaires ne sont pas concordants dans tous les pays. Ainsi, l'on croit voir la trace de deux périodes glaciaires, sépa-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rées par une période de réchauffement, sur le versant occidental des Alpes ; mais il y en aurait eu trois sur l'autre versant, et en Ecosse on n'en compterait pas moins de six.

Ceci mérite une explication.

La théorie des deux époques successives, dérive de l'étude de coupes, observées avec le plus grand soin, du reste, dans diverses localités, et spécialement aux environs de Zurich. Des coupes du sol y ont mis à découvert, à la surface de la roche en place, des amas caillouteux, qui ont complètement l'apparence morainique, et qui sont recouverts, comme le fait peut facilement se réaliser en avant des glaciers, par une couche argileuse renfermant des débris végétaux et animaux, tels que des branches d'arbres, sapins ou autres, et des coquilles de mollusques, terrestres ou lacustres, escargots ou lymnées. Toutefois, sur cette couche, qui ne réclame aucune intervention glaciaire, apparaît une deuxième extension de cailloux ; c'est, à n'en pas douter, une deuxième moraine. C'est ce que nous montrent les localités de Wetzikon et de Dürntein auprès de Zurich et c'est ce que montre aussi Utznach, dans le canton de Saint-Gall.

Desor en a fixé tous les détails : « Voici, dit-il[1], quelle serait en résumé la succession des événements :

« 1° Première invasion des glaciers, à la suite du dernier et grand soulèvement des Alpes[2]. Les glaciers se développent au milieu d'un climat tempéré attesté par la faune pliocène[3].

« 2° Première retraite des glaciers. Période interglaciaire. Formation des lignites de Wetzikon et de l'alluvion ancienne : la flore des lignites indique un

1. Le *Paysage morainique*, p. 89.

2. Desor donne aux soulèvements une allure brusque et violente qu'ils n'ont jamais eues, comme en témoigne la continuité des actions locales.

3. C'est un climat en réalité *très doux*, d'après les fossiles.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

léger refroidissement (qui nous paraît contradictoire avec la retraite des glaciers). L'homme a laissé des traces de son industrie.

« 3° Deuxième et principale invasion des glaciers : la Suisse entière se couvre d'un manteau de glace (causé par le léger refroidissement). Les glaciers du versant méridional des Alpes descendent jusque dans la mer lombarde.

« 4° Les glaciers fondent de nouveau (pourquoi ?). De là de graves débâcles : une flore arctique a remplacé une flore interglaciaire.

« 5° Enfin le climat s'améliore : la flore arctique est reléguée dans les hautes vallées des Alpes et remplacée par la flore actuelle. Les mammouths et les rhinocéros meurent. Les Aryens arrivent avec les animaux domestiques : l'ère moderne commence. »

Il nous semble qu'on ne peut marquer plus d'incohérence!

Mais, pendant qu'on arrivait ainsi à doubler le phénomène, M. James Geikie, après s'être un moment borné à quatre époques, distinguait en Angleterre et en Ecosse *six périodes glaciaires*[1] qui se sont succédé depuis l'époque du *crag* (tertiaire supérieur ou pliocène) avec intercalation de cinq périodes de radoucissement, jusqu'à nos jours :

Refroidissements	*Retraits des glaciers*
6° *Turbarien* supérieur (dernières moraines d'Ecosse)	
	V *Forestien supérieur.*
5° *Turbarien* inférieur (tourbes de la Grande-Bretagne).	
	IV *Forestien inférieur.*

1. *The Great Ice age, and its relations with the antiquity of man.* — Voir aussi « The journal of Geologie », vol. de 1895. — Chicago (page 214).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Refroidissements	*Retraits des glaciers*
4° *Mecklenbourgien* (dernier glacier baltique).	
	III *Neudeckien.*
3° *Polandien* (boulder-clay supérieur).	
	II *Helvétien* (*Elephas antiquus*).
2° *Saxonien* (époque de la plus grande extension du boulder-clay inférieur).	
	I Norfolkien (Forest-bed).
1° Scanien (crag de Weybourne.)	

Pour l'Allemand Penck, il n'y aurait que *quatre époques glaciaires* et quatre interglaciaires :

8. Post glaciaire moderne.
7. *Glaciation de la Wurm.*
6. Troisième interglaciaire.
5. *Glaciation de Riss.*
4. Deuxième interglaciaire.
3. *Glaciation de Mindel.*
2. Première interglaciaire.
1. *Glaciation de Guenz.*

Etant donné que la limite des neiges, dans les Alpes se maintient à 2.600 mètres, M. Penck chercha à prouver que la moraine terminale de la première glaciation, de Guenz, dut descendre à 1.200 mètres sous ce niveau ; celle de Mindel à 1.300 ; celle de Riss à 1.200, de même que celle de la Wurm d'abord, qui alla successivement à 700, 900, 600 et 800 mètres, sous le niveau actuel.

Comment la température de l'espace céleste a-t-elle pu agir de façon si diverse et, au même mo-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ment, dans ces différentes régions? On n'a pas même tenté de nous l'expliquer. Mais on peut s'étonner à bon droit, qu'une pareille objection ne nuise pas à l'adoption d'une doctrine. Celle-ci continue cependant à réunir tant d'adhérents que, selon un cliché fort en usage, on peut dire que l'*unanimité des géologues* lui accorde son acquiescement. Cela veut dire que, si le suffrage universel pouvait s'exercer dans le domaine scientifique, la manière de voir dont il s'agit serait déclarée définitivement valable et tenue pour vraie, sans qu'il y ait jamais lieu de la soumettre à une nouvelle controverse.

On pourrait remarquer, parmi les myriades d'objections à opposer à la fabuleuse extension des glaciers alpins, que si, comme il le faudrait, la vallée de Chamonix avait été envahie par un glacier dont ceux d'à présent ne seraient que des résidus latéraux, — cette vallée, considérée dans sa totalité, serait barrée à de certains endroits par des moraines frontales allant de l'un de ses flancs à l'autre. Or, c'est une disposition dont on ne voit aucun vestige.

Un moment de réflexion suffit pourtant pour modifier le saint respect que vous inspirait d'abord l'évocation de cette entité solennelle : l'unanimité des géologues. Sans rechercher comment elle se recrute de générations en générations, on peut constater qu'elle a pu se tromper bien des fois, sans nuire à son autorité et la liste serait longue des erreurs qu'elle a commises et auxquelles elle a prétendu conférer l'immortalité. Dans le nombre est précisément la croyance à une et même à plusieurs périodes glaciaires.

En 1892, je choisis l'histoire des glaciers pour sujet de mon cours au Muséum. Ma première leçon, qui fut publiée dans la *Revue scientifique du 2 juillet 1882*, dont M. Charles Richet était alors le Directeur, souleva une opposition à laquelle je ne m'attendais pas.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mais j'y trouvai des motifs pour pousser, de plus en plus loin, l'étude méticuleuse de la Nature et j'en reçus de précieuses révélations. En même temps, M. Albert de Lapparent consacrait, à me réfuter, une conférence tout entière, qu'il donnait à Fribourg en Suisse et qu'il faisait imprimer à Louvain, sous le titre : *Une nouvelle théorie des anciens glaciers*[1]. Je n'y vis aucun argument de nature à me faire changer d'avis et, chaque année, augmenta pour moi, le nombre et la signification des preuves en faveur de ma manière de voir.

C'est ainsi que je me suis convaincu que, relativement aux traces qui sont incontestablement glaciaires : roches moutonnées, moraines, blocs erratiques, on a inconsidérément attribué le même âge à des effets qui ont été très éloignés d'être contemporains. Agassiz était persuadé que lors d'une période géologiquement très récente, l'hémisphère nord tout entier, jusqu'au 35e ou 36e parallèle, a été couvert d'une calotte de glace, possédant tous les caractères des glaciers des Alpes, le refroidissement déterminant pouvant avoir résulté de la fusion soudaine d'un manteau de glace polaire et peut-être d'une collision de la terre avec une comète ; cette opinion fut favorablement accueillie par la majorité des géologues de l'Europe.

En 1834, de Charpentier attribue à un soulèvement des Alpes, la modification du climat, qui avait permis aux glaciers d'envahir les vallées où le palmier nain (Chamerops) avait pu se développer pendant la période tertiaire. Quelle confusion des durées possibles des différentes périodes !

Edouard Collomb, paraissant méconnaître le degré atmo-thermique, a écrit : « Lorsque la neige fit son apparition sur la terre, l'évaporation agissait encore

1. Extrait de la *Revue des Questions scientifiques*. In-8°, Louvain (1897).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

avec une grande puissance. La condensation alors, s'est localisée sur les points les plus froids, sur les pôles et sur les montagnes. C'est l'introduction dans les causes géologiques d'un élément nouveau, l'eau solide, avec toute sa puissance[1] ».

Suess a tenté, dans sa *Face de la Terre*, de rattacher la prétendue expansion des glaciers d'Europe, à la submersion brusque de l'Atlantide, qui est elle-même encore aujourd'hui un phénomène tout aussi douteux que le précédent.

Bien d'autres suppositions ont été faites ; mais elles laissent toutes de côté le point essentiel, sur lequel nous insistions dès le début de ce volume : qu'il faut, pour qu'un glacier se produise, une vallée préalable pour le contenir et pour l'alimenter.

Nous laissons de côté les rêveries de caractère cosmique, comme celles de Henri Lecoq, spéculant sur les variations de volume du soleil ; de Croll, partant de la liaison supposée de la température générale de la terre, avec les variations périodiques de l'excentricité de l'écliptique ; d'Adhémar, rattachant le phénomène glaciaire à la précession des équinoxes[2], de Charles Martins calculant qu'un faible déplacement du Gulf-Stream abaissant de 5 degrés la température moyenne de Genève, les glaciers des Alpes s'allongeraient de façon à venir buter contre le Jura, etc.

En résumé, à propos des glaciers, et presque à propos d'eux seuls, persiste dans l'esprit de beaucoup de gens, l'opinion que l'énergie des mécanismes géologiques anciens a dépassé, et de beaucoup, la puissance des actions modernes. Or, c'est ici qu'on peut invoquer un principe sur lequel nous nous sommes

1. *Bibliothèque de Genève*, mars 1848.

2. L'auteur n'a pas remarqué qu'avec son résultat, il donnerait aux glaciers une dimension très supérieure à celle qu'il leur attribue, puisqu'il fait abstraction de toute l'épaisseur de roche supprimée par la dénudation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

appuyés antérieurement : c'est que dans aucune autre direction, on ne voit le moindre indice d'une diminution actuelle, dans le mode d'action des facteurs de l'évolution planétaire. Ni la mer roulant ses galets, ni le volcan vomissant ses coulées de lave et mitraillant le ciel de ses jets de cendres et de lapillis, n'ont laissé voir plus de puissance aux temps écoulés que maintenant. Nous ne voyons nulle part des traces de plus d'énergie dans la vie des animaux ni même des végétaux fossiles, malgré le trompe-l'œil des colossaux gisements houillers. Au contraire, on a toujours vu, et sans exception, que l'allure, d'abord mal comprise de tel ou tel détail, est rentrée dans la norme, à la faveur d'une étude suffisamment indépendante.

Il en est nécessairement de même pour le glacier, et, sans nous laisser troubler par les opinions du passé, nous pouvons, et même nous devons, lui demander des guides pour apprécier la valeur des témoignages naturels.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE VII

L'évolution glaciaire.

SOMMAIRE. — Glaciers continentaux. — Les ballons-sondes. — Le stade tibétain. — Le refroidissement du noyau et les géoclases. — Le plateau tibétain n'a pas la structure montagneuse. — Les intempéries dégagent la montagne. — Stade alpin. — Stade vosgien. — Stades complémentaires. — Glaciers aboutissant à la mer. — Il en est qui s'en sont éloignés. — Rôle géologique des glaces flottantes. — Le Banc de Terre-Neuve. — Terrain éparpillé du Nouveau-Monde.

La description des caractères des glaciers, nous amène à la conclusion très large, que l'histoire de ces appareils géologiques est très éloignée de cadrer avec une théorie précise. Cependant la prétention est légitime de chercher à substituer aux innombrables essais d'alliages entre des observations de provenance très diverse, une méthode quelque peu différente. Dans notre opinion, l'insuccès auquel tant de théories sont venues se heurter, résulte avant tout d'une sorte de besoin instinctif de généraliser prématurément des circonstances éminemment locales. Au lieu de traiter d'une manière, pour ainsi dire impersonnelle, l'histoire du glacier, il nous paraît indiqué, et c'est à quoi tend la classification des matières que nous avons observées, de spécifier des types distincts de glaciers et de rechercher s'il n'y a pas, entre ces types, des liens qui pourront jeter sur eux une lumière décisive, en en faisant des stades successifs dans une seule et même évolution.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nous échapperons ainsi, à l'inconvénient des synchronisations qu'on a proposées dans toutes les directions, et nous subordonnerons surtout nos observations à la distance qui peut séparer l'état actuel de chaque glacier, de ce qui pourra nous paraître caractériser les débuts, les progrès, les diminutions d'activité et même la disparition du glacier idéal, en tant que phénomène local, — d'individu dans une innombrable série.

§ I. — Glaciers continentaux.

Un glacier pris à part, n'ayant évidemment pas toujours existé, la cause primordiale de ses débuts semble bien être l'apparition du froid dans sa localité originelle. Or, nous savons qu'à côté de la juxtaposition de températures très diverses à la surface de la terre, suivant les latitudes, il en existe une autre, pour le même point, suivant les altitudes.

Sous la latitude moyenne de la France, il faut s'élever de 230 mètres en été et de 130 mètres en hiver pour voir la *température moyenne* baisser de 1 degré. Dans l'Himalaya, on compte, par degré atmosphérique, 244 mètres en juillet, et 133 mètres en janvier. La moyenne générale, pour toute la surface du globe, est de 200 mètres pour 1 degré.

Des expériences précises, dont les principales sont dues à M. Teisserenc de Bort, ont fait connaître une foule de notions à cet égard [1]. Ce météorologiste, employant des *ballons-sondes*, pourvus de baromètres et de thermomètres enregistreurs, a démontré l'existence d'une couche qu'il qualifie de *stratosphère* (ou couche isotherme), au-dessus de laquelle la température ne présente plus que de petites variations

1. Distribution altimétrique de la température dans la masse atmosphérique. C. R. *Acad.* CLVI, 739 (1913).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

irrégulières. Dans nos régions, cette zone se trouve vers 12.000 mètres, et sa température varie de — 45° à — 65° ; dans la région équatoriale, elle est de 15.000 à 16.000 mètres, et la température est de — 85°. Sous le cercle polaire, elle n'est plus qu'à 9.800 mètres et sa température va de 29° à 17°. Nos montagnes sont loin d'atteindre ces altitudes, mais la limite des neiges persistantes varie, ainsi qu'elles, du pôle à l'équateur. Et si des soulèvements orogéniques poussent des massifs rocheux à des altitudes suffisantes, leurs sommets pourront se constituer à l'état de réservoirs de neige.

S'ensuit-il qu'ils donneront naissance à des glaciers ?

Nous allons tenter de comparer la description géographique de quelques localités choisies, pour en faire des étapes, dans une véritable *évolution des glaciers*, et nous distinguerons, dans la montagne, cinq types principaux ; 1° le stade tibétain, 2° le stade alpin, 3° le stade pyrénéen, 4° le stade vosgien, 5° le stade arverne.

Stade tibétain.

Les détails que nous avons donnés sur le Tibet, nous autorisent à voir surtout dans cette région, un point de la surface terrestre qui a été porté à une altitude suffisante pour que, étant donnée la latitude, il puisse se constituer à l'état de réservoir de neige.

On se rappelle que le mécanisme de cette surrection, semble déjà s'être laissé observer dans ses moindres traits, mais nous ne craindrons pas de les rappeler encore une fois.

Le noyau terrestre se refroidissant sans cesse et se contractant continûment en conséquence, la croûte qui s'est concrétionnée à sa surface, tend à chaque instant à être trop grande pour l'envelopper en restant partout en contact avec lui : or, le contact intime

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

est indispensable à la stabilité temporaire. La croûte, trop large, doit donc se déformer, s'infléchir et se tordre sur elle-même, et nécessairement, cet effort mécanique atteint son maximum d'intensité dans les régions les plus profondes de la région solide. La limite de la flexibilité étant bientôt atteinte, et beaucoup plus tôt qu'on ne l'aurait imaginé, des fractures succèdent aux ondulations et des poussées tangentielles superposent « des lames de charriage » à certaines portions qui, précédemment, étaient leur continuation horizontale. Le profil extérieur de la croûte, c'est-à-dire la surface du sol, en éprouve un soulèvement si progressif qu'on en a mis parfois la réalité en doute, mais tout aussi incontestable, puisque c'est la cause unique des continents et des îles, anciens fonds de mer, dominant maintenant leur bassin d'origine.

La grande cassure ou *géoclase*, sur le plan de laquelle la superposition s'est réalisée en profondeur, ne saurait d'ailleurs se poursuivre jusqu'à la surface extérieure du globe. La zone la plus externe de l'écorce est, pour des raisons très complexes sur lesquelles nous ne pouvons pas insister, dépourvue de la compacité des régions les plus souterraines et la force vive qui vient agir contre elle en profondeur, s'épuise dans des compressions de plus en plus faibles à mesure qu'on s'éloigne du centre planétaire. De là, le contraste entre les roches profondes qui ont éprouvé l'impulsion primitive et qui sont disloquées, contournées et métamorphisées, et les roches supérieures dont la stratification n'a presque pas été modifiée, alors que leur altitude a subi une modification considérable.

La succession de pareils soulèvements dans un même lieu, disséminés au cours de longues séries de siècles, explique sans aucun doute la situation altimétrique du Tibet, et l'on se rappelle que, d'après les échantillons du Muséum, les parties hautes de ce

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

« toit du monde », loin d'être formés de roches métamorphiques, provenant des abîmes dynamiques, sont formées de calcaire et d'argile friable, très analogues à ceux qu'on rencontre dans les pays très distants des montagnes. Et c'est qu'en effet, malgré la singularité d'une pareille expression appliquée à un pays si énergiquement soulevé, le plateau du Tibet n'a pas la structure montagneuse : il renferme dans son sein une chaîne tout entière, qui devra être dépouillée de sa couverture, géologiquement récente, pour ressembler à l'Himalaya, au Caucase ou aux Alpes.

Comme nous l'avons déjà dit, et la répétition ici est indispensable, le travail de décortication est en pleine voie d'accomplissement ; son agent essentiellement efficace étant la pluie de chaque année, dont M. Bonvalot nous a donné une si énergique description. Peut-être pourrait-on voir, dans la chaîne Dupleix, comme un exemplaire antérieur de la même histoire.

Toujours est-il que l'épluchage pluviaire, après avoir évacué les roches délayables de la partie haute, mettra au jour le massif rocheux métamorphique, haché de failles, aux couches inclinées et interrompues de mille manières, abruptes : en un mot, un profil orogénique. Et alors, la deuxième condition essentielle pour l'apparition des glaciers, l'existence des vallées en pente, viendra s'ajouter à la température moyenne de l'année, pour que le glacier proprement dit apparaisse et procède, d'une manière continue, à l'extension de son cirque d'alimentation à l'épaississement et à l'allongement de sa traîne glacée.

Il est bien évident que le glacier, une fois commencé, doit s'accroître pendant un certain temps ; mais la difficulté de constatation directe à cet égard n'étonnera personne, car il est très mal aisé d'apprécier, à la vue du plus gigantesque glacier de la terre, qu'il est arrivé à son maximum de dimension. S'il est en période d'accroissement, il pousse nécessairement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

devant lui, sa moraine frontale et il peut même tendre à l'escalader, à l'écraser, pour en faire une moraine profonde.

Ce que nous avons vu des variations des glaciers, ne suffit pas pour qu'on soit assuré de ne pas se trouver simplement en présence de vicissitudes météoriques. Aussi, devons-nous nous abstenir de détails, quant aux incidents du passage de l'embryon glaciaire à celui de glacier où s'est établi, au moins provisoirement, un équilibre entre la richesse de l'alimentation supérieure et l'activité de l'abrasion au bas de la vallée.

Nous sommes donc contraints, après cet aperçu, évidemment incomplet, d'un phénomène qui n'a pas pu être observé directement, mais qui paraît résulter, sans objection possible, des observations précédentes, de passer à une deuxième phase, relativement à laquelle les témoignages seront au contraire très nombreux et très évidents.

Stade alpin.

Les glaciers des Alpes, par l'étude desquels nous avons débuté, nous donnent, à première vue, l'impression d'un appareil complet, réalisant d'une manière régulière une fonction parfaitement définie et figurant avec évidence parmi les organes essentiels de l'activité du globe.

Cependant, nous n'avons pas de preuves, pour chaque glacier pris en particulier, que depuis l'époque de son apparition à l'état d'embryon de cirque supérieur et de courant s'engageant dans les hautes parties d'une vallée, il ait atteint le maximum de son développement possible. On n'en trouve pas moins, près de lui, les témoignages d'une dimension un peu plus grande, atteinte pendant un temps plus ou moins

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

prolongé. On voit que nous faisons allusion, encore une fois, à l'encadrement de roches moutonnées qui ne manque pour ainsi dire jamais. Aussi, n'y a-t-il aucun inconvénient pour nous, à considérer le glacier alpin, comme représentant le stade le plus complet du glacier théorique. Ce type de glacier est qualifié par Saussure de *glacier du premier ordre*. Parmi ceux qui appartiennent au massif du Mont Blanc, il en est qui atteignent 20 à 25 kilomètres de longueur avec 4 kilomètres de largeur et une centaine de mètres d'épaisseur. Leur partie inférieure dans ce massif, descend à 1.800 mètres, à 1.500 mètres et même à 1.200 mètres, c'est-à-dire beaucoup plus bas que la limite des neiges. C'est sous la forme de glacier du type alpin, que l'appareil géologique qui nous occupe remplit pleinement son rôle dans le concert géologique. Il a eu la place prépondérante dans les précédents chapitres, puisqu'il occupe les Alpes, le Caucase, les hautes montagnes du centre de l'Asie, celles d'une partie de l'Amérique et toutes les régions polaires. Son étude ne peut pas ne pas nous mettre en face du problème de la durée qui l'attend. Nous l'avons vu apparaître et croître. Il semble naturel de lui supposer une diminution et même une fin.

Ce n'est pas cependant le point de vue auquel on s'est placé généralement et nous remettons au chapitre suivant le résumé des suppositions auxquelles on s'est laissé aller à cet égard. Sans les déflorer, nous pouvons conclure des faits précédemment indiqués, et spécialement de ceux qui concernent l'érosion et la sédimentation glaciaires, que tout en croissant pour parvenir à son état adulte, si l'on peut dire, il a nécessairement modifié les conditions de sa région originelle, au double point de vue de l'altitude des sommets et de la géodésie de la région sur laquelle il s'étend et réagit.

Il est assez naturel de se demander ce qui arri-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

verait si, par un procédé quelconque, on remettait ces sommets et ces pentes, en possession de toute la matière minérale que l'érosion glaciaire leur a fait perdre. Surchargé de tout ce qu'ont emporté le courant congelé, les ruissellements aqueux et les vents eux-mêmes, — dont on voit une petite partie dans les moraines, les nappes de terrain éparpillé, les dépôts du torrent, — le massif regagnerait l'altitude qu'il a perdue, du fait des modes d'usure énumérées plus haut.

Et, comme conséquence immédiate, on verrait les champs de neige surélevés et élargis, les traînées glacées, allongées de façon à réatteindre les moraines frontales successivement abandonnées, et les niveaux successifs des roches moutonnées ensevelis sous la glace des deux côtés d'une gorge dont le fond serait regarni.

C'est dire que les glaces recevraient une nouvelle jeunesse ou, autrement dit, que leur état actuel est la conséquence de l'usure qu'ils ont subi, ou des progrès de leur *évolution individuelle*.

Ce point de vue va se trouver singulièrement confirmé par un coup d'œil sur les glaciers du type pyrénéen.

Stade pyrénéen.

Les Pyrénées nous frappent avant tout, comme une région infiniment moins riche que les Alpes, en glaciers. Ceux-ci ne se rencontrent que sur le versant septentrional de la chaîne et seulement entre la vallée de la Garonne et la vallée d'Aran. Enfin, ils sont localisés dans les hautes régions. Nous les avons signalés. Il n'y a que le glacier oriental du Vignemale qui esquisse la forme d'un fleuve, car la partie de la gorge où il s'arrête est encore à 2.197 mètres d'altitude. Dans la langue du pays, les glaciers de sommets s'appellent *Serneilhes*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les glaciers du type pyrénéen ont été d'abord méconnus. Saussure et Collomb, par exemple, en font des glaciers du second ordre.

Les glaciers pyrénéens se présentent comme ayant une antiquité plus haute que ceux des Alpes et ayant atteint un âge plus avancé. Tout d'abord, il convient de rappeler que la chaîne des Pyrénées, tout en faisant partie du même ridement orogénique, est cependant plus ancienne. Le soulèvement lent de ce ridement s'est réalisé selon un mécanisme progressif, non seulement vertical, comme nous l'avons dit, mais encore latéral et la remarque est d'autant plus intéressante, qu'elle s'applique à plusieurs grands phénomènes dynamiques, comme nous le verrons par exemple, pour le grand phénomène erratique du nord.

A l'époque d'Elie de Beaumont, la théorie des montagnes reposait sur la soudaineté de leur surrection et sur le synchronisme absolu des divers tronçons d'une même chaîne; et il est inutile d'insister sur les liens de ce point de vue, avec la grande doctrine des Révolutions du Globe. Le point de vue actuel, véritablement antipodique de celui-là, a conduit au contraire à la constatation de la propagation lente de certains effets, dérivant d'une même cause. Les Pyrénées étaient déjà soulevées, peut-être déjà épluchées de leur recouvrement non métamorphique, quand la chaîne des Alpes éprouvait les poussées intérieures, et c'est à la suite du soulèvement des Alpes, qu'ont surgi, l'un après l'autre, le tronçon du Caucase, puis le tronçon de l'Himalaya.

Cette notion vient s'ajouter, de la manière la plus féconde, à la constatation, enregistrée dans le précédent chapitre, de traces glaciaires jusque dans les vallées pyrénéennes de très faible altitude.

Les moraines et les roches polies que l'on rencontre successivement, quand on gravit l'*imum* ou

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ligne de creux, des vallées, sont d'autant moins détériorées qu'on s'élève davantage, et rien ne peut être plus éloquent, pour leur faire attribuer un âge de moins en moins ancien.

La comparaison à cet égard est si nette, qu'on ne peut se refuser à voir, dans l'état actuel des Alpes, la représentation d'une condition que les Pyrénées ont traversée et inversement, dans les vallées des Pyrénées le tableau de l'état futur des Alpes.

Il résulte de ces remarques que l'idée d'*évolution des glaciers* s'impose nécessairement à l'esprit de quiconque veut comparer les diverses localités glaciaires et, sans déflorer les détails de l'historique des idées sur ce sujet, on voit déjà percer dans le point de vue où nous sommes parvenus presque malgré nous, le germe de cette conclusion, dont on verra la portée : que chaque glacier ou que chaque groupe de glaciers a son histoire *individuelle*, résultat dont il faudra nous souvenir, pour discuter la tendance ancienne, d'y faire intervenir des causes générales.

En 1869, Ch. Grad disait [1] que les glaciers de Viesch, en Valais, avait reculé de 600 mètres depuis dix ans. Le glacier des Bois (mer de Glace) à Chamonix, a subi une réduction de plus de 370 mètres depuis 1826 et le glacier inférieur de Grindelwal se trouve actuellement à 610 mètres en arrière du point qu'il atteignait en 1855, tandis que le glacier supérieur de la même vallée a reculé de 390 mètres depuis la même époque. En 1855, les deux glaciers de Grindelwald avaient atteint leur développement maximum depuis deux siècles et demi. Mais en 1600, ils se sont encore étendus au delà [2]. La moraine de 1600, envahie par la végétation, quoique facile à recon-

1. C. R. *Ac. Sc.*, LXIX, 1317.
2. Peut-être par le fait de capture que nous décrirons tout à l'heure.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

naître, se trouve à 63 mètres au delà de la moraine de 1355 pour le glacier inférieur et de 45 mètres pour le glacier supérieur.

En reprenant les faits où nous les laissions en quittant la chaîne des Alpes, nous voyons d'abord que l'interprétation des moraines frontales avancées, dans des régions à glaciers, ne suppose pas l'intervention d'un temps très long, et que d'après l'état d'usure des matériaux, nous pouvons en général abandonner l'hypothèse des vicissitudes météorologiques. On a vu bien souvent certains glaciers, comme les Bossons, changer notablement de longueur presque subitement et on a eu recours, pour en rendre compte, à la supposition vraisemblable de grandes inégalités dans la quantité annuelle des neiges fondues.

Sans renoncer à cette explication pour certains cas spéciaux, il faut reconnaître cependant qu'elle ne saurait s'appliquer à la présence constante de ces vestiges d'une longueur du courant glacé, plus grande que la longueur actuelle. Eclairés comme nous le sommes maintenant, nous ne pouvons pas contester que tous les glaciers des Alpes n'atteignent plus aux basses altitudes antérieures. Pour jeter la lumière définitive sur cette question, nous n'avons qu'à appeler le témoignage que nous a fourni le fait de l'érosion glaciaire.

En effet, si par la pensée, nous remettons sur la montagne, d'où descend le glacier, pourvu d'une moraine supplémentaire, tous les matériaux qui en sont descendus : des blocs des moraines de tous genres, ceux du matelas recouvert par la glace, les poussières charriées par le torrent terminal et par le vent depuis le début du glacier, nous constaterons que la hauteur de la chaîne sera très notablement augmentée. Dès lors, la quantité de neige emmagasinée par les hautes régions sera proportionnellement accrue et la longueur du glacier sera ramenée à son volume maximum.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ceci posé, les glaciers des Pyrénées se présentent comme ayant accompli, à l'heure actuelle, un travail de déblaiement incomparablement plus grand que celui réalisé dans les Alpes : ce qu'on peut exprimer en disant qu'ils sont parvenus à *un stade plus avancé de l'évolution glaciaire.*

Stade Vosgien.

Le massif des Vosges nous a déjà arrêtés, alors qu'il s'agissait pour nous de constater l'existence de pays absolument dépourvus de glaciers et possédant cependant, la totalité des traits caractéristiques des régions où gît un glacier.

Maintenant, il est impossible de ne pas y voir le type d'un stade nouveau, où le travail en voie d'accomplissement dans les Pyrénées et qui déjà nous procure le spectacle de vallées glaciaires sans glaciers, dévalant de régions comparables aux cirques d'alimentation et aux régions les plus supérieures des régions alpestres, comme représentant le terme vers lequel tend toute vallée dans laquelle un glacier progresse dans son œuvre naturelle d'érosion.

Quand on visite le sommet du Hohneck, vers la fin du mois d'août d'une année moyenne, on y trouve encore de petits champs de neige dans les lieux abrités du soleil par la proéminence de quelque roche, et l'on se dit alors qu'il suffirait de surélever la montagne, pour que son sommet atteignît de nouveau la zone altimétrique où tombe la première neige d'un hiver, avant qu'ait disparu toute la neige de l'hiver précédent.

Il est impossible aussi de ne pas se dire que la restitution aux parties supérieures du Hohneck, de toute la masse rocheuse qui leur a été enlevée par les diverses actions érosives sous les formes multiples de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

moraines, de terrain glaciaire éparpillé, de poussière et de boue charriées par les vents et par les torrents, l'érigerait de nouveau dans la zone des neiges persistantes. Et nous croyons utile de répéter ici que les Pyrénées représentant scrupuleusement un état par lequel le massif des Vosges a passé : inversement l'état actuel des Vosges constitue une véritable prophétie de la condition dont se rapprochent chaque jour les vallées glaciaires des Pyrénées.

Quand la vallée de Gérardmer nous offre successivement les obstacles de la vieille moraine des environs du Tholy, qui soutient le marais de Rainbrice, puis celle qui porte la tourbière du Belliard, puis celle qui barre le lac de Gérardmer, dont l'écoulement est d'ailleurs renversé par rapport à la pente générale du pays ; et enfin la moraine, la plus élevée de toutes, qui soutient le lac de Longemer, — on ne peut douter qu'elle ne nous offre le témoignage d'un recul continu et successif. Des faits tout pareils se rencontrent dans la vallée du Chajoux près de la Bresse. C'est une vieille moraine qui y soutient le remarquable lac de Lispach.

Près de Vagney, au Haut-du-Roc, on voit des blocs erratiques de granite déposés sur le grès des Vosges.

En somme les anciens glaciers des Vosges ne sont pas plus grands que les glaciers actuels des Alpes.

Les anciens observateurs, en conséquence d'une atmosphère intellectuelle à laquelle nous ferons plus loin allusion, pensaient voir dans cette structure compliquée les preuves de fusion complète du glacier, avec des réapparitions d'énergie inégale. Ils se heurtaient alors à des difficultés insurmontables et qui n'existent pas dans la théorie que nous proposons : car le recul continu d'un glacier, conséquent à une diminution continue d'alimentation, par suite de l'abaissement de la montagne, rencontre bien fréquemment des motifs pour que le recul ne soit pas

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

uniforme et qu'au contraire, il soit interrompu par des arrêts provisoires, dont chacun est mis à profit par l'érection d'une moraine temporaire.

Nous aurons à décrire avec quelques détails, sous le nom de capture des glaciers, la forme principale des incidents dont il s'agit et qui ne doit pas nous faire perdre de vue, en ce moment, la continuité qui régit la succession de ces trois stades principaux, que nous avons désignés sous les trois qualificatifs d'alpin, de pyrénéen et de vosgien.

Stades complémentaires.

L'histoire des pays morainiques n'est d'ailleurs pas terminée par cela seul que la coulée de glace en a disparu totalement. Il nous importe beaucoup de constater que bien des régions doivent nous apparaître comme des états complémentaires vers lesquels s'achemine le massif des Vosges. Après avoir perdu le glacier, qui est évidemment le caractère dominateur, elles sont en train de perdre les autres, c'est-à-dire les accumulations morainiques, le poli des roches moutonnées, la distribution des matériaux éparpillés.

L'agent qui intervient ici d'une manière prépondérante, c'est la pluie, qui accentue et accélère d'autant plus ses effets, qu'elle agit sur des matériaux plus altérables.

Le célèbre observateur d'Aurillac, M. Rames[1], a signalé, par exemple, à Arpajon (Cantal) les restes encore reconnaissables de grosses moraines frontales, composées de blocs jetés en désordre au milieu de boue et de sable, et qui consistent en basaltes et autres roches volcaniques, qui ont dû subir de longs charrois pour parvenir au point où ils gisent. Ces

1. *Topographie raisonnée du Cantal.* 1 vol. in-8°. p. 51. — Aurillac, 1879.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

blocs ne sauraient maintenant résister au moindre attouchement sans tomber en poussière. C'est évidemment le stade de décomposition des moraines.

Parfois, la nature de ces blocs charriés, se prête à une survivance plus prolongée, et c'est ainsi qu'après avoir introduit le nom du Cantal dans la série des pays qui ont assisté à l'apparition, à l'évolution, à la décrépitude de glaciers, nous aurions à en mentionner d'innombrables, où la preuve de l'existence des glaciers ne résulte plus de la persistance de certains traits morainiques, mais du gisement de certains blocs rocheux, pratiquement inaltérables, dans des situations, où, seuls de tous les mécanismes connus, les glaciers ont pu les amener. La péninsule bretonne est dans ce cas.

On sait que son épine dorsale est constituée par une chaîne de modestes collines, auxquelles on donne le nom, qui paraît prétentieux, de Monts d'Arrée. Quand on approche des coupes qui permettent d'en voir çà et là la structure, on s'aperçoit que, malgré leur faible hauteur, et leur forme émoussée, ils ont, en résumé, l'anatomie des plus majestueuses chaînes : toutes les roches en sont métamorphiques et l'on y voit, de toutes parts, des déplacements relatifs qui supposent tous les incidents du phénomène orogénique. On y observe, en particulier des éruptions de roches très caractéristiques et nettement différentes de celles qui constituent la surface du sol sur les versants de ce relief. On y a maintes fois signalé des masses rocheuses, dont les analogues peuvent être retrouvées dans le cœur de la chaîne, mais qui ne sont pas « en place » au voisinage de leur gisement actuel. Ce sont, à n'en pas douter, des blocs erratiques, de tous points comparables à ceux dont les Alpes et les Pyrénées nous montrent à chaque instant le transport par la glace, depuis les plus hauts sommets jusqu'à de profondes vallées.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Constatons, encore une fois, et jusqu'à ce que nous en soyons arrivés à formuler nos conclusions définitives, que le glacier est un appareil ayant sa destination bien définie, apparaissant dans chaque point du globe où sont réalisées des conditions également très précises, y subsistant jusqu'à ce que sa mission soit remplie et disparaissant sous les entreprises d'autres mécanismes géologiques.

Notons, pour en tirer parti, que par une exception, certainement rare parmi les produits géologiques, le glacier ne paraît pas pouvoir laisser, dans les entrailles de la Terre, des traces résistantes, de nature à en révéler l'existence après des durées géologiques, même très restreintes.

§ 2. — Glaciers aboutissant à la mer.

Si nous passons maintenant à l'examen des caractères des glaciers qui aboutissent à la mer, nous ne pouvons pas douter qu'ils ne soient comme les autres, en proie aux entreprises évolutives.

Comme les précédents, ils usent la montagne qui les supporte et ils en charrient les matériaux vers les régions basses. Toutefois, une importante particularité les distingue, à cause du brusque changement d'allure qu'ils doivent prendre, au moment où ils pénètrent dans la mer, à peu près à l'état où sont les glaciers ordinaires au moment où ils abordent leur région frontale.

La présence de l'eau apporte, dans le dépôt des matériaux charriés, des conditions tout à fait nouvelles, à l'égard desquelles nous pouvons avoir quelques notions transitoires, par suite d'une disposition géographique souvent réalisée.

Il s'agit du type de glaciers qui, après avoir franchement abouti à l'Océan, s'en sont séparés, et progressivement éloignés, par le phénomène pur et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

simple de la régression qui vient de nous occuper.

Un grand nombre de glaciers de Norvège sont précisément dans ce cas. Ils perdent leur état solide, dans une région plus ou moins élevée des vallées étroites qui les conduisaient à la mer, et qu'ils ont abandonnées en partie. Il n'est pas douteux que leur histoire, dans la région continentale, soit identique à celle des glaciers des Alpes. Seulement, leur moraine frontale n'a qu'une dimension extrêmement réduite, car elle n'a commencé à s'édifier qu'après l'émersion totale du glacier. Auparavant, il ne se passait à l'extrémité du fleuve glacé, que ce que nous avons décrit à la tête des glaciers maritimes, tels que ceux du Groënland, c'est-à-dire qu'ils livraient aux courants de la mer, des séracs, comparables à ceux des Bossons.

La région abandonnée progressivement par les glaciers, est en grande partie comblée par de la boue glaciaire, à laquelle sont mélangés, dans une proportion très variable, des blocs qui auraient constitué une moraine ordinaire, si leur mode de dépôt et de séparation n'avait été tout particulier.

A l'époque du contact de la tête du glacier avec les flots, chaque portion du glacier, délimitée par de grandes crevasses entrecroisées, au lieu de continuer à reposer sur le sol, et en conséquence de la faiblesse de son poids spécifique comparé à celui de l'eau salée, a été soulevée et, en raison de sa forme, a dû se déplacer de façon à satisfaire aux lois de l'équilibre des corps flottants : à avoir leur centre de gravité sur la verticale du centre de figure.

La faiblesse des courants d'eau dans ces fjords a empêché le triage qui se fait sur les côtes largement ouvertes, telles que celles du Groënland. Sur les côtes scandinaves, les isbergs, avant de céder aux courants maritimes, ont dû tourner sur place, fondre partiellement ou en totalité et abandonner, sans classement,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les fragments pierreux qu'ils renfermaient ou qu'ils portaient. Ces circonstances jettent une clarté sur l'économie des choses, dans les régions où le contact de la glace avec l'eau liquide a lieu beaucoup plus à découvert, c'est-à-dire sans l'existence d'obstacles, au déplacement de l'eau et, par conséquent, des glaçons qu'elle entraîne.

Nous pouvons, à l'égard des effets produits, nous comporter comme pour les glaciers continentaux, c'est-à-dire rechercher des localités maintenant devenues accessibles, où des phénomènes pareils auraient eu lieu. Il s'agit, comme on le voit bien tout de suite, de ces régions de l'Europe du Nord et du Nord des Etats-Unis, que nous avons décrites précédemment, contenant, parmi leurs éléments stratigraphiques, de larges espaces de terrain glaciaire éparpillé.

Malgré les objections qui ont été opposées à cette manière de voir, nous sommes nous-même, mais au prix d'une restriction d'importance capitale, convaincu que ces régions aujourd'hui continentales ont acquis le caractère qui nous occupe, à une époque où elles comprenaient pour une part, des fonds de mers copieusement alimentées en isbergs, charrieurs de matières minérales.

Seulement, et ce seulement constitue toute la différence avec des suppositions sans mesure, risquées à diverses époques et d'après lesquelles la mer véhiculeuse de blocs, aurait eu toute la prodigieuse largeur des régions envahies par le terrain erratique, c'est à la condition qu'on reconnaîtra que tout le pays visité par le grand phénomène du Nord, ne l'a été que *par portions successives*, et cela en conséquence de mouvements verticaux de la croûte terrestre, se propageant horizontalement sur de vastes itinéraires, ayant simultanément en des points voisins, ces deux formes complémentaires de variation verticale : l'affaissement et l'exhaussement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nous regardons toute la région où se déploie aujourd'hui le phénomène des glaces flottantes, jusqu'à la latitude de Terre-Neuve, comme étant simplement le chapitre en cours, de la distribution des blocs septentrionaux à sa surface. Quant aux deux grandes régions européenne et américaine, maintenant émergées et accessibles à nos observations, nous y voyons une collection de segments ou de *lobes* comparables à celui qui est en activité sous nos yeux, et qui chacun à son tour, a reçu la pluie de matériaux charriés, pendant que les autres étaient, au contraire, sous le régime continental et, par conséquent, sans que l'économie générale de la terre ait été modifiée, à ce point, que la perturbation la plus grave aurait été apportée dans l'équilibre planétaire.

Nous voici donc encore une fois en présence de cette inexplicable tendance à synchroniser tous les phénomènes qui se ressemblent, et d'instaurer une *période erratique* à côté de la période, jadis en honhonneur, de la fossilisation des coquilles.

C'est, à nos yeux, un exemple de plus, du bénéfice évident que la théorie reçoit de la substitution aux explications trop larges et trop rapides, de l'application des causes actuelles et par conséquent locales.

Il nous faut d'ailleurs préciser le mode d'opération de la Nature, dans l'édification d'une zone erratique. A ce titre, les témoignages des navigateurs dans les régions glacées, sont tout à fait décisifs. Ils nous montrent les grands blocs, dans lesquels se trouve toujours réduite la partie inférieure d'un glacier subissant, de la part de la poussée émanant de l'eau de mer, un changement complet d'allure. Pour chacun des icebergs qui prend le flot, se réalise ce phénomène prodigieusement périlleux à observer, que les marins ont si pittoresquement qualifiée de *vélage*.

Dans la plupart des cas, la montagne gelée doit

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

culbuter pour atteindre sa position d'équilibre, et l'on peut s'imaginer les remous gigantesques qui en résultent. S'abandonnant au courant de la mer, elle subit sans relâche, le choc des vagues et les entreprises du dégel. A chaque instant, des particules pierreuses, précédemment enchâssées dans sa masse, la quittent et pénètrent dans l'eau, en suivant des trajectoires extrêmement variées: les unes tombent verticalement, les autres sous diverses inclinaisons d'après leur poids, leur volume, leur forme. Il est des particules de limon qui sont destinées à franchir une grande partie du tour du Monde. De temps en temps, il se rencontre des circonstances favorables à des accumulations exceptionnelles. Telle est une certaine région de la côte orientale de la Nouvelle-Ecosse, où la rencontre des eaux froides gagnant le sud, et des eaux chaudes de la branche ascendante du Gulf-Stream dirigée vers le nord, détermine la fusion énergique et rapide des derniers éléments glacés, et c'est ainsi que s'édifie le Banc Terre-Neuve au sud-est et à l'est de cette île. Il n'a géologiquement rien de commun avec la substance et la structure de l'île du même nom et les géologues, d'un bien lointain avenir, pourront se livrer à son sujet, l'Océan s'étant soulevé, aux mêmes recherches du point d'origine que nous avons nous-mêmes menées à bien, au sujet des syénites zirconiennes et des marbres fossilifères erratiques auprès de Berlin.

En y réfléchissant, on trouve légitime de conclure la disposition des choses sur le fond de l'Atlantique actuel, d'après les faits que nous avons observés dans l'étendue des pays exondés, envahis par le phénomène erratique.

Comme conclusion, il nous reste à constater que l'examen de ces régions, qui ont tant contribué à faire admettre, par les auteurs, l'existence de gigantesques calottes de glace sur presque toute l'Europe

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et l'Amérique du Nord, et par conséquent d'évoquer des conditions climatériques sans rapport avec la constitution actuelle, nous amène à admettre, au contraire, la plus grande uniformité, entre les moments successifs de l'évolution terrestre, durant les temps quaternaires. C'est au prix de simples variations d'altitude, réalisées si lentement qu'on est fréquemment porté à les contester au moment même où elles ont lieu, que ces grands changements se réalisent. Et nous voici forcés d'adopter, encore une fois, la méthode qui nous a constamment réussi jusqu'ici.

Rien qu'à l'apparence extérieure des choses, il semble qu'il existe une notable différence d'antiquité entre les traces du phénomène en Europe et celles qu'il a laissées en Amérique. Relativement au Nouveau-Monde, nous avons à profiter d'un nombre considérable d'Etudes et d'Observations de tous genres. Les principaux résultats en sont résumés dans deux ouvrages particulièrement intéressants. Ce sont: d'abord, le *Preliminary Paper on the terminal moraine of the second glacial epoch*, par Thomas C. Chamberlin [1], puis *Glacial formations and drainage Factures of the Erie and Ohio basins*, par Frank Leverrett [2].

Les planches, jointes en très grand nombre à ces deux études, nous montrent très nettement à l'arrière, c'est-à-dire au Nord d'une large zone de terrain glaciaire éparpillé, des moraines échelonnées les unes derrière les autres, parallèles entre elles et que, préparés que nous sommes par nos constatations de l'évolution des glaciers isolés, nous ne pouvons pas méconnaître pour des étapes successives de recul. Par exemple, au sud du lac Erié, au contact de l'Etat d'Indiana et de l'Etat d'Ohio, on nous en signale

1. *Third annual Report of the United States geological Survey;* grand in-8° Washington (1883).

2. Vol. XLI des *Monographs of the United States geological Survey*; grand in-8° Washington (1902).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

une demi-douzaine, qui sont très remarquablement régulières. Au sud de ces bourrelets, on ne voit plus que des tronçons de moraines, disloqués sans doute sous l'effet prolongé de l'intempérisme et qui se mélangent progressivement au sud, dans la région du terrain glaciaire éparpillé.

La vue d'ensemble de toute la région du drift américain, donne l'idée d'une structure générale en segments juxtaposés, dirigés approximativement du nord au sud, possédant chacun sa zone de moraines plus ou moins nettes et sa zone de *drift*, que les géologues américains qualifient de *lobes*[1] et qui nous confirmerait, à la simple vue, dans l'opinion que chacun d'eux correspond à un moment du déplacement progressif de la bande plus ou moins méridienne, ou s'est développé successivement, aux dépens de massifs montagneux et glaciaires situés au nord, la diffusion d'icebergs agissant comme le font ceux d'aujourd'hui à l'égard du Groënland. C'est ainsi que le *lobe Miami*, le *lobe Scioto*, le *lobe de Grand River*, le *lobe Maumée*, le *lobe Erié* se succèdent avec une certaine régularité. On s'imagine aisément la figure que ferait, à côté de leur série, le *lobe Gulf-Stream*, à la suite du déblaiement par fusion, des glaciers du Groënland et de l'émersion du fond de l'Atlantique du Nord. Nous pourrions même y rencontrer entre l'emplacement de Terre-Neuve et de la côte américaine, un *espace sans drift*, comme on en connaît un au couchant du lac Michigan.

Bien entendu, nous ne pouvons pas prétendre entrer dans les détails : il nous suffit de faire sentir que l'interprétation du grand phénomène erratique cadre avec celle de l'évolution des glaciers continentaux.

1. V. comme exemple : *The Delaware lobe, of the Lake Michigan glacier of the Wisconsin stage of glaciation and associated phenomena*, par William C. Alden. — *Geological Survey*, Washington in-4° (1904).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE VIII

La capture des Glaciers.

SOMMAIRE. — La moraine d'Utznach. — Comparaison de l'économie interne des glaciers, avec celle des rivières. — Regression de la source des rivières. — Observations de M. Morris Davis : la Somme-Soude fait prévoir la capture des glaciers. — Mécanisme de l'opération. — Les glaciers de Tacconnaz et des Bossons; du Brouillard et du Fresnay.

Il ne nous reste plus, pour avoir abordé toutes les faces de la question glaciaire, qu'à examiner cette assertion à laquelle, comme nous l'avons vu, plusieurs géologues ont été conduits et à laquelle nous avons fait allusion depuis le commencement de nos études, de la réalité d'époques géologiques où la Terre, qui aurait été la proie d'un refroidissement beaucoup plus intense que celui où elle est aujourd'hui, et qui aurait pour témoins et pour preuve un retour de glaciers, précédemment diminués, à des dimensions beaucoup plus considérables que celles que nous leur voyons. C'est aussi, comme nous l'avons dit, l'ensemble d'assertions favorables à la supposition de plusieurs alternatives, dans les mêmes régions, d'une extension incomparable des glaciers et d'une reprise de possession, par la vie physiologique.

Pour comprendre avec précision, le sujet de cette controverse, il est indispensable de choisir un des exemples les plus simples qui lui aient donné pré-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

texte. Il s'agit de coupes du sol, bien visibles dans le massif des Alpes, et par exemple, aux environs de Lucerne et de Glaris[1].

A Utznach, on observe l'existence d'une ancienne moraine, d'autant plus détériorée qu'à sa surface s'est développée une production statigraphique qui témoigne d'une température relativement douce et qui, au lieu d'être formée comme le niveau inférieur, d'une nappe de galets, consiste en argile, évidemment stratifiée, renfermant, non seulement des coquilles d'eau douce, comme des lymnées, des physes ou terrestres comme des hélices, mais fournit à une exploitation locale, des débris végétaux, depuis des feuilles et des brindilles, jusqu'à de gros troncs d'arbres, transformés, par une longue macération dans l'eau, en un véritable lignite.

Cette disposition n'a rien de remarquable par elle-même et on la retrouverait, avec des dimensions variées, dans l'intervalle plus ou moins horizontal qui sépare la moraine actuelle de quelqu'une de ces vieilles moraines, comme il en est à la mer de Glace ou aux glaciers de Grindelwald, témoignage des progrès de l'évolution glaciaire.

Mais, ce qui change et caractérise Zurich, c'est que la coupe n'est pas finie par la couche à lignites et que, par-dessus celle-ci, se présente une seconde nappe de cailloux glaciaires, identiques à la première, et résultant incontestablement d'un retour du glacier précédemment reculé.

A cet égard, tout le monde est d'accord. Mais il reste à préciser le mécanisme et la cause de ce retour.

Je ne cacherai pas que j'ai été séduit[2] par une

1. Des circonstances tout à fait comparables se retrouvent par exemple à Chambéry et à Sonnaz (Savoie), à Sonthofen, à Cannstadt, à Hottingen (Allemagne), à Cowdonglen (Ecosse), etc.

2. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* ; Comptes rendus de l'Académie, t. CXXIV, 1043 (1897). Voir aussi, pour des figures, *Le Naturaliste* du 1er juillet 1897.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

conséquence qui paraît avoir été méconnue de l'économie interne du glacier en marche, avec l'économie des rivières sur laquelle nous avons insisté et qui se traduit par une distribution très précise des vitesses dans les deux sortes de courants aqueux. La seule différence, jusqu'ici reconnue à cet égard, est que pour le courant liquide, c'est-à-dire la rivière, la vitesse absolue de chaque filet en mouvement est beaucoup plus grande que les vitesses correspondantes dans le courant solide, c'est-à-dire le glacier.

Il n'y avait dans cette comparaison qu'une lacune : c'est la régression de la source, qui donne naissance à ce phénomène de capture connu de tout temps, mais qui n'est à la mode que depuis un petit nombre d'années, grâce à une circonstance presque accidentelle. Il s'est trouvé qu'un géographe américain, M. Moris Davis, étudiant notre carte d'Etat-Major au 80 millième, fut frappé de la disposition des choses, dans la région comprise entre la Marne, à sa traversée d'Epernay, et l'Aube, au sud des marais de Saint-Gond. Les ondulations du sol dans cet intervalle montrent, en aval du Petit-Morin, qui sort par l'ouest de ces marais, une dépression parallèle au lit des deux rivières, comme si dans le passé, ce Petit-Morin en avait été la suite naturelle. En remontant le vallon, on y voit deux ruisseaux, la Somme au nord, la Vaure au sud, qui, avec une symétrie remarquable, s'infléchissent, la première vers le nord pour se confondre avec la Soude et le produit de leur réunion se jetant dans la Marne sous le nom de Somme-Soude; — la Vaure s'infléchissant vers le sud, de façon à se mélanger à la Maurienne et l'ensemble tombant dans l'Aube sous le nom de Superbe.

Une visite sur place, à laquelle M. Davis avait convié quelques géographes, montra nettement que la Marne, ayant depuis longtemps été pourvue d'un

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

court affluent, qui correspond à la Somme-Soude, la source de celle-ci avait regressé, de façon à entrer en contact avec un certain point de la Soude, qui est exactement orientée comme le vallon dans lequel court le Surmelin, petit affluent de la Marne au-dessus d'Epernay, et, suivant le terme adopté, « décapita » celui-ci. Un petit affluent de la Soude se comporta, comme avait fait le petit affluent de la Marne, et vint exercer une véritable succion sur les eaux de la Somme, ce qui détermina la décapitation de l'élément nord du Petit-Morin.

Pendant ce temps, le sud de la région que nous décrivons, était le théâtre de phénomènes d'évolution tout pareils. La Superbe régressant, s'emparait de la Vaure, et cette fois le Petit-Morin, privé de sa seconde tête, fut réduit à la portion congrue des eaux que le ciel déversait sur les marais de Saint-Gond. Chemin faisant, la Superbe avait capturé la Maurienne, de sorte que le Grand-Morin subit le sort de son petit homonyme.

Retenons seulement de ces métamorphoses compliquées et qui augmentent singulièrement l'étendue des surfaces qui ont pris l'aspect du paysage fluviaire, qu'elles sont dues à cet état dynamique des cours d'eau, qui nous a arrêtés plus haut, à cause de son identité avec celui qui préside à l'économie des glaciers.

L'histoire de la Somme-Soude aurait pu suffire pour faire prévoir la *capture des glaciers*.

Rappelons que l'idée simple, à la vue d'une coupe présentant un niveau sédimentaire, tel que les lignites d'Utznach, de Wetzikon et de Durntein, intercalés entre deux dépôts certainement morainiques, a été de conclure à un retour de la basse température qui avait déterminé le glacier, auteur de la moraine inférieure et qui avait amené le dépôt de la moraine supérieure, après un intervalle à tempé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rature adoucie, pendant lequel une abondante végétation s'était développée. Autrement dit, on y voyait le témoignage de *deux époques glaciaires successives*.

Nous sommes maintenant à un point de vue nettement différent. Désormais, guidé par l'analogie avec les rivières, que présente incontestablement le glacier et guidé par la notion du rapetissement, et par conséquent du recul de chaque glacier par suite de la diminution de la neige dont il s'alimente, — il nous suffit de lui attribuer ce caractère, si net chez les cours d'eau, de la régression de la source, pour le voir travaillant sans relâche à l'altération et, de proche en proche, à la destruction, de certains points des parois de son cirque supérieur qui pourra lui ouvrir un chemin de communication avec une région quelconque de la longueur d'un glacier passant de l'autre côté. En pareil cas, celui-ci pourra subir les entreprises qui ont décapité le Petit-Morin et qui auront par conséquent pour effet, de faire dériver tout ou partie de la glace et de ravitailler ainsi le glacier envahisseur[1].

Le recul de la moraine frontale de ce dernier sera nécessairement arrêté; le fleuve solide se gonflera, passera par-dessus son ancienne limite, renversera les arbres qui avaient pris sa place, au fur et à mesure de son retrait, et recouvrira leurs débris de tous les matériaux que les glaciers charrient. Sa moraine frontale passera à l'état de moraine profonde et il édifiera, aussi loin qu'il pourra parvenir, une nouvelle moraine frontale.

Mais ce subside ne conjurera pas, pour lui, la fatalité de sa condition. Bientôt, l'appauvrissement progressif de son magasin alimentaire se fera sentir de nouveau, et au bout d'un temps suffisant, la moraine

1. Stanislas Meunier. C. R. *Acad. sc.*, CXXIV, 1043 (1897).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de renfort ayant été à son tour délaissée par le recul, il suffira d'une section verticale pratiquée dans le sol, pour qu'une nouvelle édition de la structure d'Utznach soit reproduite.

Comment, à cette occasion, ne pas rappeler, d'après Ch. Grad, une vieille chronique en langue allemande qui lui fut communiquée en 1869 par le pasteur de Grindelwald?

Les glaciers s'avançaient très rapidement en l'an 1600 et renversèrent nombre de granges et de chalets. Le glacier inférieur arriva jusqu'au ravin de Vchussellanine ; la Lutschine fut barrée, ses eaux se gonflèrent et prirent un autre cours, en causant de grands dégâts. Le glacier supérieur arriva au lit de Bargelbach et les deux recommencèrent un mouvement rétrograde, en 1602, pour rentrer dans leurs plus faibles limites de date connue comme en 1750.

Mais on peut aller plus loin, et après avoir expliqué les apparences des localités qui ont fait croire à la succession de deux époques glaciaires, supposer dans l'histoire d'un glacier, non plus une capture, mais plusieurs captures successives : déjà les petits ruisseaux de Champagne nous ont montré la Somme capturée après la Soude. Et alors notre explication, ne se bornant pas à corriger l'erreur relative à l'étude de deux périodes glaciaires, réhabilite le corps tout entier des géologues de l'accusation d'avoir pu croire que certaines régions glacées avaient profité de deux refroidissements de l'espace céleste, à l'instant précis où d'autres en éprouvaient deux, trois, quatre et même davantage.

Parmi les glaciers qui ont paru mettre sous nos yeux les étapes successives des phénomènes de capture, j'ai signalé, dans le temps, ceux des Bossons et de Tacconnaz.

Une carte à grande échelle, et par exemple, celle

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de Viollet-le-Duc[1], nous montrera une série bien jalonnée de rochers, à partir du Grand-Plateau, jusqu'aux Grands-Mulets (3.050 mètres), qui en sont les plus considérables. Il est bien évident que ces rochers sont les restes d'une arête rocheuse dont l'usure a mis en contact la pente du glacier de Tacconnaz avec le grand courant de glace qui descend du Grand-Plateau et a ainsi diminué la masse qui s'écoulait vers les Bossons.

Il y aura probablement capture un jour, entre les glaciers du Brouillard et du Fresnay, qui, au-dessous du Mont Blanc de Courmayeur, n'ont entre eux, au nord de l'Aiguille du Châtelet, qu'un très faible rempart.

Il n'est pas nécessaire que la capture se passe dans le cirque d'alimentation. Une autre condition suffirait : celle de la séparation de deux anses de glaciers par une cloison très mince. On la suppose facilement, se démantelant, jusqu'à perdre de sa continuité et subissant une brèche par laquelle passera la courbe de l'un des glaciers. Et, bien entendu, le glacier n'est pas le seul artisan de l'usure de ses cloisons, sur lesquelles, comme sur toutes choses, travaille l'intempérisme.

L'observation de la capture des glaciers a été réalisée directement par un célèbre observateur anglais, sir Martin Conway[2] qui a publié une photographie prise par M. Carwood sur la Higway Dome, où se trouve du névé au-dessus et au-dessous d'une falaise à pic. Le diagramme donné par M. Conway coïncide exactement avec ceux que nous avions donnés antérieurement. Au retour de son voyage, il voulut bien

1. Une feuille, accompagnant *Le Massif du Mont Blanc*. Etude sur sa constitution géodésique et géologique, sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glaciers. Un vol. in-8° avec 112 figures dans le texte. Paris (1876).

2. *Geograpgical Journal*. Un vol. XII, n° 2, p. 137, août 1898.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

m'indiquer dans une aimable lettre, une curieuse note de M. Willard D. Johnson, de Washington, sur : *An unrecognised process in glacial erosion*[1] dans laquelle la dénudation réalisée par les glaciers, est reconnue, pour avoir une allure régressive, amenant vers l'amont la constitution de falaises toujours avivées.

Il n'y a rien d'impossible à ce que le travail d'érosion auquel se livre le glacier, et surtout grâce à une capture qui augmente momentanément son énergie mécanique, n'arrive pas, en certains cas, à lui ouvrir une issue dans une vallée inférieure dont il était d'abord séparé par un relief rocheux et qu'il débordera par son gonflement. On expliquerait ainsi certaines traditions qui se conservent encore dans quelques parties des Alpes. D'après Grüner[2], il était constaté de son temps par des actes, que la vallée de Lauter-Aar (Glacier inférieur de l'Aar) était fertile et se nommait alors *Blümlisalp* (c'est-à-dire la vallée des fleurs).

Saussure, en rappelant cette tradition, se refuse à y croire; mais cet homme illustre n'avait pas les points de vue activites, qui nous semblent, de plus en plus, conformes à la réalité des choses.

1. *IIe Annual Meeting of the National geographical Society of the United States of America*; in *Science* (de Londres), nouvelle série, t. IX, nº 212, p. 112, janvier 1899.

2. *Die Eisgebirge des Schweizerlandes*, 3 vol. illustrés, in-8º, Berne 1760, t. I, p. 5.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CONCLUSION

SOMMAIRE. — Les galets striés ne font pas partie de l'histoire des glaciers. — Caractères et gisements de ces galets. — Illusions des géologues à leur égard. — Ce sont des produits de l'érosion pluviaire. — Leur reproduction expérimentale. — Aire gigantesque occupée par les galets striés. — Témoignage de M. Marcellin Boule. — Les éboulis montagneux. — Importance de leur rôle. — Galets striés des anciennes époques géologiques. — Erreurs à leur sujet : Zittel. — Cartes géologiques à refaire. — Les harmonies naturelles et les fonctions du globe. — Fonction corticale. — Fonction volcanique. — Fonction bathydrique. — Fonction épipolhydrique. — Fonction éolienne. — Fonction océanique. — Fonction biologique. — Fonction glaciaire : comme les autres, elle concourt aux progrès de l'évolution terrestre.

Nos lecteurs ont sans doute remarqué que nous n'avons pas placé, dans le chapitre consacré à l'érosion glaciaire, les *galets striés* qui, pour beaucoup de géologues parlant très haut, — et de très haut, — sont le signe infaillible de l'existence et du travail d'un ancien glacier. Et ce sont ces cailloux, innombrables et répandus partout, qui ont contribué à l'éclosion, dans l'esprit de hardis théoriciens, des périodes glaciaires, opprimant à un certain moment presque toute l'étendue du globe.

Or, les galets striés ne sont pas l'œuvre des glaciers et les cartes géologiques, établies sur leur témoignage, sont à refaire, comme nous allons le démontrer.

Il s'agit, on le sait, de pierres, calcaires le plus souvent, couvertes de rayures très fines et qu'on

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rencontre accumulées sur certaines parties des flancs des vallées et même quelquefois dans des moraines.

Je n'ai pas besoin de dire que ce n'est, à aucun degré, par un désir de contradiction que j'ai été amené à formuler mon opinion. C'est en 1899, à Brent, au-dessus de Montreux, en Suisse (canton de Vaud), en présence de placages d'escarpements caillouteux qui venaient d'être taillés, par les travaux d'établissement d'une route, que j'eus la première impression de la signification véritable des galets striés[1]. Déjà, en 1891, j'avais lu au Congrès Géologique International (section de Zurich) une note[2] où, sans nier encore l'origine glaciaire de tous les galets striés, je montrais qu'on peut en attribuer un très grand nombre à la dénudation souterraine. Jusque-là, j'avais docilement, et à un grand nombre de reprises, adopté l'opinion universelle : en 1879 (*Causes actuelles de Géologie*, p. 41) ; en 1881 (*Les Pierres et les Terrains*, p. 99) ; en 1886 (*Cours d'Histoire Naturelle de Fontenay*, *Géologie*, p. 324) ; en 1889 (*La Géologie régionale de la France*, p. 492). En 1898, je publiai encore dans *Nos Terrains*, p. 23 une figure de galet strié, comme caractérisant les glaciers.

Mais, en présence de l'escarpement de Brent, qui consiste en molasse de Vevey, recouverte, sur son flanc très incliné, par un placage d'éboulis, je remarquai que les galets calcaires, qui y abondent, sont striés sur toutes leurs faces et à profusion, dans tous les points où le substratum gréseux est en pente fortement inclinée, tandis que dans les endroits à déclivité beaucoup plus douce, des galets, tout pareils aux précédents, ne présentaient pas une seule strie.

1. Etude sur le terrain quaternaire du Canton de Vaud, *Bull. de la Soc. d'Hist. Nat. d'Autun*, année 1892. In-8° (Autun).

2. Recherches expérimentales sur quelques phénomènes dont les produits peuvent être confondus avec ceux que détermine l'action glaciaire. *Comptes rendus du VIe Congrès Géologique international*, Zurich 1894.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Une autre remarque qui, à elle seule, réduit à néant l'hypothèse que les stries des galets calcaires sont dues à l'action des glaciers, c'est que, si telle était en effet leur origine, si par conséquent elles dataient d'une antiquité de quelques milliers d'années seulement (et dans le pays de Vevey, ce n'est pas assez dire), elles auraient depuis longtemps disparu, par le fait de la corrosion réalisée par les eaux d'infiltration. J'ai fait disparaître, en moins d'un an, le poli et la plupart des stries de galets que j'avais abandonnés dans la terre végétale, à toutes les alternatives saisonnières.

La dénudation souterraine est la cause des stries sur les galets calcaires.

Beaucoup des caractères morphologiques de la surface du sol, lui viennent d'actions souterraines dont ils sont le contre-coup.

Une partie des eaux courantes s'infiltre dans la terre végétale, pour s'écouler à la surface de la roche sous-jacente. Quand la pente est convenable, l'écoulement détermine l'usure de ce substratum, et des réseaux de dépression allongés se produisent, avec l'apparence de vallées sans cours d'eau visible. Le manteau de sol arable s'affaisse peu à peu au cours de ce travail, sans cesser de persister, et tout en étant le siège d'un renouvellement incessant de toutes ses particules.

Dans les pays à forte pente, celte dénudation souterraine, toute voisine de la surface du sol, prend des caractères extrêmement intéressants. Pour observer les faits avec leur maximum de netteté, il faut choisir une localité dont la roche vive soit recouverte de ces placages boueux, à pierrailles de toutes les grosseurs, comme dans l'exemple de l'escarpement de Brent.

Ces placages, quoique à base argileuse, sont cependant perméables, à cause du sable quartzeux qu'ils contiennent en proportion très notable et des blocs

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rocheux qui y sont disséminés ; aussi l'eau d'infiltration y circule-t-elle avec une assez grande facilité.

Sous l'influence du liquide en mouvement, le terrain subit des pertes, qui dérivent les unes de la dissolution de substances calcaires dans l'acide carbonique, les autres d'un entraînement mécanique de particules argileuses qui troublent l'eau, d'une façon très visible à la base des pentes et la rendent même tout à fait boueuse, quand les pluies sont fortes et prolongées.

La perte de matière qui provient de cette double cause est très notable et elle détermine nécessairement un tassement sur elle-même, de la matière restante, qui glisse en même temps sur la roche supportant le placage boueux et qui, comme nous l'avons vu, est ici fortement inclinée.

Dans ce mouvement de contraction du terrain, il s'inflige, pour ainsi dire, à lui-même, une nouvelle forme de la dénudation souterraine. A cause de son hétérogénéité, le déplacement relatif de ses grains durs et de ses éléments plus tendres, amène l'usure de ceux-ci, et souvent cette usure se manifeste par l'acquisition de détails morphologiques des plus remarquables.

Les grains de quartz de toutes grosseurs, se mouvant très lentement, mais d'une manière ininterrompue, contre les fragments calcaires, continuent à les user.

Ces fragments calcaires, d'abord très anguleux, comme on le voit dans les parties hautes de la région, s'émoussent peu à peu, sous l'influence des actions si bien connues et qui tendent à supprimer dans les roches qui les subissent, toutes les parties saillantes, pour y substituer des contours arrondis. Si bien qu'un cube ne tarderait pas à passer à la sphère plus ou moins parfaite et que des polyèdres quelconques

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

marcheraient vers l'état d'ellipsoïdes. Il y a longtemps que j'ai insisté sur ce mode de production de galets sans charriage [1].

Dans nos placages boueux, l'action d'émoussement, dû à l'eau souterraine et qui fait peu à peu des galets avec des blocs anguleux, se complique de la collaboration de ce déplacement intestin des grains de quartz, par rapport aux débris calcaires, sous l'influence de la dénudation souterraine.

En conséquence de la soustraction de substance soluble ou entraînable, réalisée par l'eau d'infiltration, ces petits grains de quartz se meuvent sur la surface des blocs, lentement, mais d'une façon continue, et avec une pression qui est mesurée par le poids du terrain superposé. Il en résulte que les surfaces convenablement tendres et avant tout, les surfaces de calcaire compacte, se polissent véritablement, comme elles se poliraient sous l'influence d'une molette, dans un atelier de marbrier.

Ce poli se renouvelle sans cesse : un galet enfoui dans la terre arable exposée à la pluie, perd en très peu de temps sa surface caractéristique, il se ternit, il se corrode. Et c'est pour cela que nous pouvions tout à l'heure dire que, si de semblables galets avaient été polis par les glaciers quaternaires dans les placages où on les trouve maintenant, il y a un temps incalculable qu'ils auraient perdu le poli auquel on prétend les reconnaître. Mais, dans leurs gisements, à mesure qu'ils sont attaqués, ils se polissent de nouveau et cela sans arrêt. Si la grande masse des petits grains quartzeux, arrive à polir et à entretenir le poli sur toutes leurs faces, les galets calcaires contenus, dans les placages boueux des Préalpes, certains grains de même nature, mais de plus forte dimension y impriment leur contact sous

1. *La Nature*, 5e année, p. 330, Paris 1877.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

la forme de stries ou de rainures plus ou moins longues et plus ou moins profondes.

Or, c'est à cause des cailloux striés que certains géologues ont essayé de faire considérer les placages boueux des Préalpes comme étant d'origine glaciaire. Mais il y a impossibilité à soutenir cette opinion, en présence de l'abondance même des stries, leur présence sur tous les galets calcaires sans exception et sur toutes les faces de ces galets.

Une objection se présente à l'esprit contre la production des stries par dénudation souterraine, c'est la prétendue imperméabilité du terrain argileux à galets polis des Préalpes, et des régions analogues. Or, cette imperméabilité est absolument illusoire : dans toute la région des Préalpes que j'ai étudiée, les placages se comportent comme de véritables réservoirs hydrauliques et, de leur épaisseur, sourdent d'innombrables sources, parfois volumineuses. Ces sources, si visibles auprès de Blonnay, de Brent, des Avants, etc., sont essentiellement incrustantes. A Blonnay, il faut souvent remplacer, pour cause d'obstruction travertineuse, les tuyaux de conduite établis pour capter ces eaux : j'en ai recueilli des échantillons très démonstratifs. Aux Avants, et entre cette station climatérique et Montreux, la *Tuffière* et d'autres monticules représentent des amas de calcaire concrétionné, émis par les placages. Il y en a un, spécialement net, au lieudit *Sex que ppliau* (la pierre qui pleut), au-dessus d'En Saumont, non loin de l'Alliaz ; des feuilles et des coquilles terrestres y ont laissé des moulages parfaits.

J'ai pu assister véritablement à la production progressive du poli à la surface des blocs calcaires compris dans les éboulis, en étudiant successivement des escarpements choisis de plus en plus loin des sommets des Préalpes. Vers Sotodoz (1.800 mètres) au pied des Rochers de Naye, les fragments rocheux

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dont il s'agit sont nettement anguleux et n'ont rien pour attirer l'attention; vers l'altitude du Mont Caux, les arêtes vives et les parties anguleuses sont déjà devenues très rares et les blocs polis sont déjà très nombreux; leur maximum se trouve depuis les Avants jusqu'à Blonay. Plus bas, la forme du pays cesse d'être favorable au glissement indispensable à la production qui nous occupe et l'on ne voit aucun galet strié.

Je suis arrivé à reproduire, par l'expérience, le phénomène de striation souterraine des galets et des surfaces rocheuses, au moyen d'un dispositif très simple.

Il était nécessaire de modifier les conditions naturelles, tout en leur laissant leur caractère essentiel, de façon à leur faire produire un effet rapide et plus tangible. Pour cela, deux choses s'imposaient : 1° recourir à une substance beaucoup plus facile à rayer que le calcaire, puisque les forces mises en œuvre allaient être incomparablement plus faibles que celles qui interviennent dans les phénomènes naturels ; 2° provoquer, dans le sous-sol soumis à la dénudation, des mouvements plus accentués, afin de provoquer des résultats plus rapides.

Le premier point a conduit à employer des représentations de galets, en plâtre moulé parfaitement lisses et polis. Pour cela, on remplit de plâtre gâché, de consistance très liquide, de petits ballons de verre, les uns sphériques et les autres ellipsoïdaux, c'est-à-dire du modèle dit des matras d'essayeur. Une fois le plâtre bien pris, on brise le verre avec précaution, à moins qu'il ne se brise de lui-même par dilatation du plâtre, et on enlève les fragments, avec beaucoup de soin, pour ne pas produire de rayures à leur surface.

Le second point a conduit à adopter comme substance constitutive du sol artificiel, dans la masse

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

duquel la striation devra se faire, un mélange, à volume égaux, de sable quartzeux pas trop fin et de gros sel de cuisine. Soumis à l'action de l'eau, ce mélange se réduira à la moitié de son volume et il sera le siège de déplacements intestins favorables à l'effet désiré.

Le mélange de sel et de sable est placé dans une boîte rectangulaire en bois, et j'ai d'ordinaire employé 10 kilogrammes de sel et le volume correspondant de sable. Pendant le remplissage, qui se fait avec une spatule, on place successivement, dans le mélange pulvérisé, les boules de plâtre, de façon à ne point les frotter et par conséquent à ne point rayer leur surface. Quand la caisse est bien pleine, on dépose sur le mélange une planchette, qu'on surcharge d'un poids de 20 à 30 kilogrammes. Il n'y a plus qu'à faire arriver, au contact de la substance, un filet d'eau, qui peut venir soit d'en haut, soit d'en bas, soit latéralement, pour avoir des effets très variés de tassements, avec glissements en sens divers [1].

Après la dissolution totale du sel, on arrête l'expérience, on laisse égoutter, on ouvre la boîte, en empêchant tout déplacement de son contenu et, avec les précautions les plus minutieuses, on extrait les boules qui sont lavées avec un jet d'eau et mises à sécher.

On observe alors à leur surface, des paquets de stries qui ont, avec celles des galets calcaires des placages boueux, les analogies les plus frappantes et les plus instructives.

C'est ainsi que les stries sont dirigées indifféremment dans tous les sens et le même sphéroïde peut en présenter en plusieurs directions. Après une seule expérience, elles sont peu nombreuses, mais on les

1. Voir pour la disposition de l'appareil : *Catalogue sommaire de la Collection de Géologie expérimentale du Muséum d'Histoire naturelle*, p. 33 (fig. 29). 1 vol. in-8°, Paris, 1907.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

multiplie aisément en remettant successivement les mêmes boules de plâtre dans l'appareil.

On peut aussi y placer une dalle plane, en plâtre, convenablement inclinée, et obtenue par moulage dans une cuvette de porcelaine. Après l'écoulement, on y voit des stries qui présentent le caractère très remarquable, d'être fréquemment interrompues et parfois à plusieurs reprises, comme le sont, de leur côté, les stries naturelles.

La conclusion de ces remarques et de ces expériences, a d'autant plus d'importance, que le terrain à galets striés jouit d'une aire de dispersion gigantesque. On le retrouve, pareil à celui des Alpes, dans les contreforts de toutes les grandes chaînes, comme les Pyrénées, les Carpathes, le Caucase, l'Himalaya, les Montagnes Rocheuses. On a déposé au Laboratoire de géologie du Muséum, des spécimens de galets calcaires et schisteux, polis et striés, provenant de la Nouvelle-Zemble et identiques à ceux qui viennent du pays de Vaud. Ils ont été recueillis dans la moraine du glacier Jacques Costier, vallée de la Christovaïa, ainsi que dans une ancienne moraine du cap Stolbovos.

Thomson[1] décrit une « moraine » du Maroc, avec galets striés, où la pluie détermine la production de cheminées des fées (*gigantic mushrooms*). « The morain is full of great polished subangular blocks, in matrix of finer material. » On se croirait en présence de placages boueux des Préalpes vaudoises. Il faudra, quelque jour, refaire toutes les cartes de ces dernières régions pour supprimer la qualification de glaciaire donnée à cette formation.

Des faits, complètement concordants avec ceux que j'ai décrits, ont été signalés par le général anglais

1. *Travels in the Atlas and Southern Morocco*. p. 326. Londres 1899.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Bonney[1]. En résumant ses résultats, le professeur Marcellin Boule[2] a bien voulu ajouter : « On ne peut reprocher à M. Bonney que d'avoir oublié de citer les travaux importants de M. Stanislas Meunier, sur le même sujet. Depuis longtemps, en effet, le savant professeur du Muséum a montré qu'on prenait souvent dans les Alpes, pour des moraines, des accumulations de blocs et de boues, dont l'origine est précisément celle qu'indique le géologue anglais. M. Stanislas Meunier va même plus loin. Il a montré, par de curieuses expériences de laboratoire, que les cailloux striés eux-mêmes peuvent se trouver dans les pseudo-moraines. Je suis heureux de rappeler ici les titres de priorité de M. Stanislas Meunier, au sujet d'une question qui est, pour nous, de la plus haute importance ».

Répétons que l'interprétation des galets striés que je viens de développer et qui me paraît devoir être définitivement adoptée, conduira comme première conséquence, à modifier sensiblement la carte géologique d'un très grand nombre de régions, où le signe adopté pour désigner les formations glaciaires devra être remplacé par celui qu'il faudra choisir pour *les éboulis à glaciers striés*. Le long de la plupart des chaînes de montagnes et surtout des chaînes calcaires, il faudra lui réserver une zone assez large, aussi bien dans les Pyrénées et dans les Alpes, que dans une grande partie du Jura et dans les pays analogues.

Ce serait même une occasion de revendiquer, pour les éboulis, la place à laquelle leurs dimensions gigantesques leur donnent tous les droits. On sait leur rôle dans les montagnes actuelles et comment, procédant de la démolition des sommets, ils consti-

1. *Geological Magazine*, janvier 1902.
2. *L'Anthropologie*, livraison de mars 1902.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tuent si souvent, pour les parties basses, un manteau protecteur ; comment aussi ils introduisent, dans les travaux de géologie descriptive, une difficulté spéciale en masquant en même temps une grande partie de la surface des matériaux de tous âges dont les montagnes sont faites.

Aussi est-ce un motif d'étonnement que de constater le mutisme complet auquel se résignent tous les traités de géologie, relativement aux éboulis des âges anciens. Personne ne peut émettre l'opinion qu'ils n'aient été aussi abondants aux époques antérieures qu'à la nôtre et on peut s'imaginer ce qu'ils sont devenus, pendant les périodes qui les ont suivis. Beaucoup sont désagrégés par les intempéries ou par l'intervention de la mer dans les pays en voie de subsidence, mais il en est beaucoup aussi qui prennent l'apparence de brèches à ciment d'origine concrétionnée et bathydrique et qui sont représentés, par exemple, dans de nombreuses variétés de marbres de tous les âges. On les désigne souvent sous le nom de conglomérats calcaires ou polygéniques ; d'autres se risquent à les qualifier de *brèches de froissement*, et je me rappelle en avoir décrit une variété venant de Montgaillard, dans les Pyrénées, dont le nombre des roches collaboratrices, granit, calcaire marmoréen, micaschite et taleschiste, était exceptionnel. Je ne répugne pas actuellement à l'opinion qu'il s'agit là d'un éboulis provenant de l'érosion de quelque chaîne lithologiquement très compliquée.

Les galets striés que l'on rencontre dans les formations d'âges divers, appartiennent à ces éboulis. On en trouve, pour ainsi dire, à tous les niveaux et il est intéressant de signaler quelques cas de ce genre, afin de montrer leur uniformité et les méprises auxquelles ils ont donné lieu.

On peut commencer dès le terrain précambrien, où

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Hicks[1] et Ramsay après lui[2], frappés de l'abondance, dans le Pays de Galles et en Ecosse, des galets et des roches polies (comme nos rochers actuels de Bretagne), mais qu'ils appellent moutonnées, déclarent que l'époque dont il s'agit fut une époque froide[3]. C'est par le même raisonnement que J. Thompson croit voir des traces de glaciers cambriens à Islayer, en Ecosse[4]. Pour le silurien, les assertions du même genre sont vraiment innombrables. Dans son ouvrage intitulé : *The great ice Age* (p. 568), M. James Geikie diagnostique les formations glaciaires dans le silurien inférieur de l'Ecosse méridionale; Dawson émet la même conclusion pour la région du lac Supérieur[5]. Dans son *History of isle of Man*, publiée en 1841, Cumming compare les conglomérats du vieux grès rouge dévonien, aux produits de la cimentation du *boulder clay* quaternaire et il s'écrie : « Faut-il en conclure que ces étranges poissons (*Cocosteus*, *Pterichthys*, *Cephalaspis*) avaient à souffrir les atteintes des vagues glacées et à lutter contre la poussée des glaces flottantes? » C'est aussi à propos du dévonien de Kirkby, de Londsale et de Sedbergh que Ramsay écrit : « Nous avons trouvé beaucoup de pierres et de blocs nettement striés et, sur beaucoup d'autres, comme le fantôme de stries effacées par le temps. » Cette description s'applique au second conglomérat carbonifère de Dwyka, Afrique australe, que M. Dunn n'avait pas craint de regarder comme glaciaire[6].

M. le Dr Stapff a publié en 1889 dans le *Naturwis-*

1. *Geological magazine*, nouvelle série, III. 157 (1876).
2. *Nature*, XXII, 400. Londres (1880).
3. M. Edg. Martin a publié dans le *Compte rendu du Xe Congrès de Géologie* (Mexico 1906) des planches montrant que les galets striés du précambrien de l'Afrique australe sont identiques à ceux du quaternaire vaudois.
4. *British Association*. Rapport de 1870, p. 89.
5. *Canadian naturalist*, II, 6.
6. *Carte géologique de la colonie du Cap*, 1886.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

senschaftlichen Wochenschrift de Berlin, une gravure représentant un de ces galets et il a montré spirituellement l'invraisemblance de la découverte : « Man möchte, dit-il, an die chinesische Delikatesse « Eis in brennender Sauce » denken, wenn von einer Glazial formation des Kaplandes die Rese ist, zumal von einer des Karbonzeit angehorigen [1] ». Et il conclut que le conglomérat n'est aucunement glaciaire, malgré les stries dont il n'explique pas d'ailleurs la présence.

L'étude de semblables spécimens nous a démontré que les stries paraissent le fait, suivant les cas, de l'érosion souterraine, ou de l'écrasement des assises par les masses superposées qui déterminent en même temps la production de galets impressionnés. C'est d'ailleurs de tous côtés qu'on rencontre des conglomérats carbonifères supposés glaciaires : en France, par Godwin Austeen [2] ; en Ecosse, par James Geikie [3] ; en Irlande, par Haughton [4] ; en Nouvelle-Ecosse, par Dawson [5] ; aux Etats-Unis, par Orton [6] ; dans les Indes, par Blandford [7] ; par Oldham [8] et par d'autres encore.

Le terrain permien a conduit à des observations analogues de Ramsay pour le Staffordshire [9], de Hall pour l'Islande [10] de Sutherland [11] et de Stow [12] pour

1. « On peut penser à cette pâtisserie chinoise qualifiée de « glace frite » quand on songe que cette production glaciaire de la région du Cap date de l'époque carbonifère ».
2. *Quarterly Journal of Geological Society*, XII, 58, Londres (1856).
3. *Great ice age*, p. 568.
4. *Climate and Time*, p. 296 (1851).
5. *American naturalist*, VI, 416.
6. *Transactions of Manchester geological Society*, XIV, 417.
7. *Records of the Geological Survey of India*, XIX, 34.
8. *Geological Magazine* (n. s.), III, 303.
9. *British Association Report* (de 1854), p. 93.
10. *Geological Survey of Ireland*, p. 12 (1873).
11. *Quarterly Journal of Gealogical Society*, XVI, 515 (1870).
12. *British Association, Report* (1880).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

diverses régions du continent africain, de Koken pour l'Inde[1].

Mentionnons seulement à l'égard du trias, le mémoire de Ramsay sur le Rothliegend de Thurinngerwald[2] et celui de Wilkinson[3], sur le conglomérat de la série de Hawkesburg dans la Nouvelle-Galles du Sud. Judd[4] a regardé comme glaciaires des brèches de l'oolithe supérieure du nord de l'Ecosse. Escher de la Linth[5] a prétendu reconnaître des galets glaciaires dans le crétacé des Alpes, et Godwin Austen[6] dans celui de Croydon en Angleterre. Pour l'éocène, il suffira de mentionner Croll[7]; pour les bords du lac de Thoune et J. Martin[8] pour la Bavière et plusieurs points de la Suisse, et cela nous amène aux couches tertiaires supérieures où le phénomane glaciaire a laissé, comme dans le quaternaire, des traces qu'on ne peut discuter.

On voit, en somme, à quel point le sentiment unanime des géologues a été exactement résumé par ce curieux passage de Karl von Zittel, qui fut un esprit si judicieux et si indépendant[9] : « L'indice le plus infaillible de l'origine glaciaire d'une formation, se trouve dans la présence des cailloux striés. »

On ne rencontre que très rarement des stries sur des fragments de roches cristallisées, de grès quartzeux et de jaspe ; par contre, elles se font voir de la manière la plus reconnaissable sur les fragments cal-

1. *Newes Jahrbuch für Mineralogie Fesband*, (1907), p. 548.
2. *Philosophical Magazine*, 4e série, XXIX, 290.
3. *Philosophical Magazine*, 5e série, VIII, 287 (1881).
4. *Quarterly Journal of the Geological Society*, XXIX, Londres.
5. *Philosophical Magazine*, 4e série, XXIX, 290.
6. *Quaterly Journal of the Geological Society*, pour (1887).
7. *Climate and Time*, p. 305 (1851).
8. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e série, II, 271.
9. *Ueber Gletscher Ercheinungen in der bayerische Hochebene, Bulletin de l'Académie de Munich*, 1874, p. 225.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

caires de nuance sombre. Dans une moraine profonde qui n'a pas été remaniée et lavée par les eaux, presque tous les cailloux calcaires portent des stries, qui souvent sont aussi profondes que si elles avaient été gravées avec un burin.

La condition glaciaire sévissant partout à la fois, n'est pas seulement contraire aux faits bien observés : elle semble aussi en opposition avec le bel ordre que nous voyons régner dans la Nature et qui, tout en admettant des catastrophes partielles, individuelles, ne donne aucun exemple d'une calamité générale.

Le glacier joue son rôle dans le magnifique concert des harmonies naturelles : nos études viennent de nous montrer qu'il se présente, comme un appareil remarquablement défini dans sa constitution et son mode opératoire est certainement affecté à une destination particulière, à l'une des huit fonctions essentielles, qui font, de notre globe, un organisme complet, vivant, se développant sans cataclysmes universels, d'une façon continue, grâce à une activité incessante, dont le spectacle a donné lieu à une doctrine remplaçant celle déjà si féconde de l'*actualisme*, et qui a reçu le nom d'*activisme*[1].

Pour que l'on voie bien le glacier, appareil tellurique, à sa place et dans son importance, il est indiqué de faire comme un *schéma* de l'anatomie et de la physiologie de la Terre.

Des fonctions planétaires, trois sont rapportées à l'actif de la chaleur souterraine et cinq au compte du Soleil.

L'écorce terrestre, considérée indépendamment des caractères chimiques de sa substance, constitue avant tout cet écran, mauvais conducteur de la chaleur, qui met la surface du globe à l'abri d'une radia-

1. V. Stanislas Meunier. L'*Activisme*, in le *Naturaliste* du 1er avril 1902.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tion incompatible avec les phénomènes externes et spécialement avec les manifestations biologiques ; — qui ralentit aussi le rayonnement du noyau et qui, par suite, assure à l'évolution du globe, une durée plus longue, une transition plus ménagée entre ses degrés successifs.

L'écorce terrestre a aussi un autre rôle, qui est de se modeler constamment sur la surface sphéroïdale, au rayon sans cesse raccourci, par la contraction du noyau fluide qu'elle renferme. Incapable de se rétracter sur elle-même sans changer de forme, comme le fait tout naturellement le noyau à cause de sa fluidité, elle est apte, grâce à sa fragilité, à s'onduler (et c'est la cause des bossellements généraux, c'est-à-dire de la formation des continents et de la localisation des mers), à se contourner (et c'est la cause des chaînes de montagnes), à se briser (et c'est la causes des failles).

A ce triple égard, le modelé de la surface, auquel collaborent tant d'autres actions, et en particulier celle du glacier, doit la partie primordiale de son profil à la source d'énergie renfermée dans les abîmes souterrains. La *fonction corticale*, qui donne à la surface terrestre les allures d'une poitrine qui respire, par une sorte de mouvement péristaltique, une émigration continue des continents; elle déplace, au cours des temps, par une sorte de répulsion pour le pôle, les ridements montagneux vers des régions de plus en plus équatoriales et, du même coup, elle transporte, dans le même sens, les lignes de manifestations volcaniques.

Les montagnes sont, comme nous y avons insisté, une des deux conditions nécessaires du glacier.

Mais il faut distinguer de la fonction corticale, un ensemble de phénomènes qui se développent dans l'épaisseur de la croûte du globe. Ils nous offrent un premier exemple de ces circulations de matière, qui

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

donnent si visiblement à la planète, l'allure des êtres vivants. Il s'agit de la *fonction volcanique* qui consiste, avant tout, dans un irrésistible transport de substances empruntées aux zones profondes de l'écorce et rejetées dans l'atmosphère ou épanchées à la surface du sol et elle emprunte à la puissance mécanique qu'elle réclame pour parvenir à son but, un concours de conditions, qui dépendent les unes du jeu de l'activité corticale et les autres des propriétés physiques des zones périphériques de la Terre.

Les progrès du refroidissement spontané, qui avaient déjà déterminé la condensation des océans à la surface du sol, provoquent ultérieurement, dans ce même sol, la pénétration de l'eau liquide et lui permettent de parvenir jusqu'à une profondeur, à chaque instant réglée par la quantité de chaleur perdue par le globe. En conséquence, l'écorce se subdivise en deux zones superposées, dont la plus externe est pourvue de l'eau de pénétration, et dont la plus profonde est si chaude que, non seulement cette eau ne saurait y parvenir spontanément, mais que, si par une cause quelconque, elle y était introduite, sa volatilisation, sa dissociation peut-être, développeraient dans les laboratoires souterrains une puissance mécanique intense. Or, c'est par le jeu des refoulements corticaux, que cette introduction en profondeur est réalisée d'une façon tout à fait normale, fatale même, étant donné que l'ouverture des failles orogéniques et que la production des *rejets* dont elles sont inévitablement suivies, ramènent, par-dessus des zones pourvues d'eau, des assises venant de plus bas et dont la très haute température provoque le réchauffement en vase clos de la roche mouillée. Cette opération a pour premier résultat de contraindre l'eau, sous un état physique dont nous n'avons qu'une idée approximative, à s'incorporer dans la roche maintenant fluidifiée qu'elle ne faisait

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que mouiller auparavant. Par cette *occlusion*, elle lui procure les qualités *foisonnantes* grâce auxquelles la masse, désormais passée à l'état de lave, pourra surgir vers la surface du globe et même au-dessus, si la moindre fissure lui en ouvre le chemin.

On voit bien, par cette description trop rapide, le caractère circulatoire de la fonction volcanique : l'eau qui pénètre verticalement dans le sol, au fur et à mesure de son refroidissement, ferme le cycle ainsi commencé de haut en bas, en remontant après le réchauffement souterrain le long des cheminées volcaniques. Et dans ce trajet ascensionnel, elle entraîne avec elle, les matériaux profonds auxquels elle s'était provisoirement conjuguée et procure aux êtres qui vivent à sa surface une vraie contribution alimentaire. Le volcan, en effet est, non seulement la source initiale où se puisent le phosphore et bien d'autres éléments des tissus vivants ; c'est encore, et surtout, l'origine du carbone sans lequel aucune vie organique n'est possible.

Malgré les désastres qu'il cause en bien des régions qu'il rend d'ailleurs extrêmement fertiles, le volcan est un des organes les plus directement bienfaisants de la Terre. Suffisamment haut, il entre parfois en conflit avec les neiges et les glaces dont ses éruptions déterminent la fusion, ce qui donne lieu à la précipitation d'énormes torrents d'eau.

Comme les précédentes, la fonction *bathydrique* emprunte l'énergie qu'elle met en œuvre au foyer propre de la chaleur interne. Elle s'accomplit au moyen des eaux d'imprégnation dont sont fournies les assises souterraines profondes. Ces eaux constituent des nappes toujours en mouvement, dont la température est celle des masses rocheuses qui les enserrent et dépend, par conséquent, de leur profondeur et dont l'énergie chimique, réglée par la chaleur même de chaque point, les rend aptes à la réalisation

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'une foule de phénomènes chimiques. Grâce à elles, l'étoffe des couches du sol est en proie à une transformation continuelle. Nulle partie du globe terrestre n'a atteint une situation d'équilibre stable : par suite du refroidissement et, à cause de ses conséquences multiples, chaque point s'arrange à chaque instant d'une façon nouvelle, et l'agent principal de la transformation, c'est l'eau de circulation profonde. Cette eau, baignant les composés variés dont les roches sont formées, leur emprunte certains de ses éléments qui la *minéralisent* et son passage en des localités différentes suffit souvent pour qu'il s'y dépose des matières qu'elle tenait en dissolution, tantôt par le seul fait d'un changement de température, tantôt par la rencontre de quelque substance possédant des propriétés convenables. C'est à la fonction bathydrique que se rattachent le métamorphisme, la constitution des filons métallifères, la fossillisation et beaucoup d'autres phénomènes.

Les autres fonctions telluriques agissent au moyen de l'eau, du vent, de la pluie, sous l'influence du Soleil.

Il y a, tout d'abord, l'eau de surface réalisant la fonction épipolhydrique : c'est l'ensemble des ruissellements produits sur le sol par la pluie et des infiltrations qui imprègnent les régions les plus superficielles de l'écorce rocheuse : celles où les vicissitudes saisonnières de la température, se traduisent par des oscillations thermométriques.

Cette eau se déplace sans cesse, au contact des masses rocheuses, entraînant des particules délayables et extrayant des particules solubles, de façon à réaliser une érosion qui contribue avant tout à donner à la surface exondée, un profil tout à fait caractéristique. Sous ses trois formes d'eaux sauvages ou de ruissellements, d'eaux courantes et d'eaux souterraines, la nappe épipolhydrique réalise, avec des allu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

res périodiquement variables, d'énormes travaux érosifs et sédimentaires et elle mérite d'être classée parmi les agents géologiques de la surface.

Le glacier, c'est l'eau solide et nous avons vu qu'il fait tout ce qu'accomplit la rivière. Il a en outre un rôle distinct, que nous avons vu tout au long de ce livre et qu'il n'y a plus qu'à résumer en quelques lignes.

Il est étroitement lié à la fonction éolienne, celle de l'atmosphère dont on peut le considérer comme un régulateur, car bien que l'orage visite souvent les sommets neigeux, témoin le grand nombre de *pierres foudroyées* et que les vents soufflent parfois férocement dans les gorges remplies de glace, nous ne voyons dans nos montagnes rien de comparable à ces orages qui sévissent, par exemple, dans les Andes de l'Equateur, avec une régularité quotidienne et une violence épouvantable.

La fonction éolienne est, comme la fonction épipolhydrique et la fonction glaciaire, à la fois érosive et sédimentaire : elle est l'auteur des dunes, des limons, si fertilisants en Egypte et en Chine.

Quant à la mer, qui est au premier rang des appareils les mieux définis de l'anatomie planétaire, nous l'avons vue occupée par les glaces sur une notable partie de son étendue. En outre, le glacier qui y pousse son front et qui y essaime des isbergs contribue à uniformiser la température du fond, qui reste à zéro. Il concourt aux circulations ininterrompues, aux courants qui distribuent la chaleur et le froid aux diverses latitudes et qui en rendent le climat plus clément. Les flots sont donc des outils de trituration et de brassage, non seulement de particules rocheuses, mais même de fluides, puisque leur agitation est la raison de la dissolution dans l'eau de l'air nécessaire à la vie organique. Suivant les points, les produits de la sédimentation mécanique marine, se présentent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme de simples précipitations verticales de troubles précédemment tenus en suspension. Et nous avons vu, dans le grand phénomène erratique du Nord, des blocs et des isbergs sur le fond de l'Océan.

Enfin, la vie elle-même, la force biologique, la dernière apparue sur le globe, y remplit sa fonction à l'égal des autres énergies dynamiques : les animaux, les plantes, procèdent sans relâche à la désagrégation ou à la dissolution de masses rocheuses et remettent, par conséquent, en mouvement les éléments qui semblaient fixés. Et, d'autre part, les forces vivantes réalisent des générations de roches. Le lignite, la houille, l'anthracite représentent toutes les transformations végétales. Les diatomées, parmi les plantes, les radiolaires parmi les animaux, savent arrêter au passage dans l'eau de mer, la silice qui y est dissoute, en proportions presque impondérables, et par la continuité de ce pouvoir, ces êtres infimes arrivent à édifier des assises entières de substance silicieuse, sable biologique dont chaque grain est une carapace microscopique et qui modifient les contours des côtes. Des algues, des foraminifères, des mollusques fixent des montagnes de calcaire sous la forme de récifs et de couches arénacées ou cohérentes. Et le glacier, qui semble le domaine de la mort, n'est pas dépourvu de vie. Nous avons vu celle-ci fleurir dans des petits édens polaires, et l'algue invincible, qui ne recule devant rien, teinter de rouge de vastes surfaces des neiges des Alpes et des pôles.

Pour en revenir au glacier lui-même, sa fonction immédiate est de contribuer à l'aplanissement des reliefs du sol et au maintien de la forme sphéroïdale de la Terre. Non seulement, il désagrège les masses rocheuses et en charie les débris, mais encore il communique une énergie toute particulière aux agents de l'intempérisme : la pluie, la condensation des vapeurs aqueuses, l'abondance des ruisselle-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ments comme la fragilité de certaines roches sont accrues par lui dans des limites très larges. Par exemple, les arêtes rocheuses, et spécialement celles qui sont constituées par des masses schisteuses séparant l'un de l'autre deux bassins hydrographiques de glaciers, sont soumises à une dénudation incomparablement plus active que les régions montagneuses des bassins fluviaires. Et, en effet, la protection, ailleurs procurée aux flancs des vallées par l'accumulation des éboulis, n'est plus représentée par rien ; ici, les blocs descendus d'en haut et parvenus sur le dos du glacier y sont, à la vitesse près, emportés comme des fétus par une rivière, quelle que soit d'ailleurs leur densité par rapport à la glace.

Enfin, les glaciers continentaux interviennent de la manière la plus efficace sur la circulation de l'eau atmosphérique, et il n'y a certes pas de mécanisme plus admirable que celui qu'ils remplissent, de conservateurs des eaux tombées sur les reliefs montagneux, pour les dispenser, dans les régions basses, à l'époque des sécheresses : quand toutes les sources commencent à tarir, la fusion des glaces alimente les rivières.

Le spectacle de cette harmonie se présente à nous comme un exemple, dans une longue série de phénomènes qui, avec une apparence de conflit, concourent de la manière la plus continue, aux progrès de l'évolution terrestre.

FIN

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLE DES MATIERES

Pages

INTRODUCTION 1

Sommaire. — Le phénomène glaciaire n'est pas indépendant des autres fonctions du globe. — Continuité de l'évolution terrestre; activité incessante. — La statique n'existe pas dans la Nature. — Peu d'intérêt pris par les Anciens aux glaciers. — Les glacialistes.

AVANT-PROPOS 9

Sommaire. — Conditions essentielles du glacier. — Localités froides sans glaciers. — Le pôle du froid. — Le Mammouth et le *Rhinocéros tichorhinus*. — La toundra et les tarrinnes. — Les glacières naturelles.

CHAPITRE I. — **La Forme générale des Glaciers** 17

Sommaire. — La Mer de Glace, localité typique. — La vallée de Chamonix. — Le Montanvers. — Descente sur la moraine latérale. — Les crevasses et les eaux du glacier. — Pourquoi le nom de moraine. — Les tables ou champignons du glacier. — L'abrasion. — La moraine de la rive droite. — L'Arveiron; changements dans sa voûte. — Le mal de montagne. — Plaisanterie de guides. — « Péri au Mont Blanc. » — Structure des glaciers. — L'hôtel des Neuchâtelois. — Le tissu de la glace; sa stratification. — Différentes sortes de neige et de glace. — Composition minéralogique et biologie des glaciers.

CHAPITRE II. — **Conditions essentielles des localités à glaciers** 44

Sommaire. — Le froid. — Eau gazeuse dans l'atmosphère. — Eau liquide dans l'atmosphère. — Eau solide

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pages

dans l'atmosphère. — Limite des neiges perpétuelles. — Eau solide sur l'eau : banquises et isbergs. — Eau solide sur le sol. — Gélivité des pierres. — La pente. — L'origine des vallées de glaciers. — Géoclases et lames de charriage. — Géographie glaciaire. — Les Pyrénées. — Les Alpes. — Le Mont Blanc vu de la Flégère. — Première ascension du Mont Blanc. — Le massif vu du Cramont. — Le Valais. — Zermatt. — — Le Mont-Rose et le Cervin. — L'Oberland vu de l'Eggishorn : L'Aletschorn et le glacier d'Aletsch; le lac de Märjelen. — Le Saint-Gothard et le glacier du Rhône. — L'hospice du Grimsel. — Les glaciers de l'Aar. — Grindelwald et ses deux glaciers. — Le Finsteraarhorn, l'Eiger, le Mönch, la Jungfrau, etc. — Le Bernina. — Les Alpes tyroliennes. — Les Monts Scandinaves. — Les glaciers de la Laponie. — Les glaciers de l'Islande. — Le Caucase : l'Elbrouz, le Kasbek. — Le glacier de Devdorock. — L'Ararat et le glacier d'Argouri. — L'Himalaya et le Karakoroum. — Le plateau du Tibet. — Le Kilimaud'jaro. — Les glaciers d'Amérique. — Monts Saint-Elie, Baker, Rainier, etc. — Glacier tropical de la Sierra Nevada de Sainte-Marthe. — Les glaciers du Chili. — Les glaciers de la Nouvelle-Zélande. — Les glaciers de l'Antarctique. — Nouvelle-Zemble. — Spitzberg. — Gröenland. — La Terre Grinnell. — L'Alatska : glacier de Muir.

CHAPITRE III. — **L'Activité dynamique des Glaciers** . . . 111

Sommaire. — Opinion des montagnards sur les mouvements des glaciers. — Constatations scientifiques. — Progressions et reculs. — Observations des Neuchâtelois et autres glacialistes. — Les crevasses; leur classification. — Quelques exemples montrant l'anatomie des glaciers. — Etude expérimentale des crevasses. — Phénomènes de traction et de compression. Théories sur la progression des glaciers. — Le regel de Faraday et de Tyndall. — Rôle de l'eau liquide dans le glacier. — Le lac de Marjelen. — Torrents des glaciers. — Comparaison de la pâte glaciaire avec la pâte granitique. — La cataclase des glaciers.

CHAPITRE IV. —**Travaux géologiques des Glaciers**. . . . 145

Sommaire. — Erosion glaciaire. — Les roches moutonnées. — Les glaciers qui ont diminué de volume. — Comment le glacier agit sur les roches. — Com-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pages

paraison avec le travail du lapidaire. — Faux matériaux glaciaires. — Comparaison du travail des glaciers avec celui des cours d'eau. — Le travail du glacier est considérable. — La sédimentation des glaciers. — Les moraines. — Trois formes de dépôts glaciaires : accumulés, éparpillés, stratifiés. — Les avalanches : le glacier de Gétroz, le glacier de Tête-Rousse, le glacier de Devdorok. — Définition du glacier. — Le loess glaciaire. — Matériaux déposés par les glaces flottantes.

CHAPITRE V. — **Traces des Glaciers disparus** 177

Sommaire. — Le paysage morainique : exemple pris dans la Haute-Italie. — Les roches moutonnées ; comment elles ont été travaillées. — Roches moutonnées du lac Cornu, du Hasli et du Grimsel; des Pyrénées, de la Scandinavie, des Vosges. — Anciennes moraines dans les Alpes, dans les Vosges, dans les Pyrénées. — Terrain glaciaire éparpillé. — Blos erratiques. — « Le grand phénomène erratique du nord » : l'Allemagne, la Russie, la Finlande, le Nord de l'Amérique.

CHAPITRE VI. — **Hypothèse de l'Époque glaciaire** 196

Sommaire. — Les traces glaciaires ne peuvent pas persister depuis les anciens âges géologiques. — Fausse contemporanéité des manifestations glaciaires. — Hypothèses de plusieurs époques glaciaires : Desor, Geikie, etc. — Les causes du refroidissement d'après Agassiz, de Charpentier, Collomb, Suess, etc.

CHAPITRE VII. — **L'Évolution Glaciaire** 207

Sommaire. — Glaciers continentaux. — Les ballons-sondes. — Le stade tibétain. — Le refroidissement du noyau et les géoclases. — Le plateau tibétain n'a pas la structure montagneuse. — Les intempéries dégagent la montagne. — Stade alpin. — Stade vosgien. — Stades complémentaires. — Glaciers aboutissant à la mer. — Il en est qui s'en sont éloignés. — Rôle géologique des glaces flottantes. — Le Banc de Terre-Neuve. — Terrain éparpillé du Nouveau-Monde.

CHAPITRE VIII. — **La Capture des Glaciers**. 229

Sommaire. — La moraine d'Utznach. — Comparaison de l'économie interne des glaciers avec celle des ri-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pages

vières. — Regression de la source des rivières. — Observations de M. Morris Davis : la Somme-Soude fait prévoir la capture des glaciers. — Mécanisme de l'opération. — Les glaciers de Tacconnaz et des Bossons; du Brouillard et de Fresnay. — Observations de sir Martin Conway. Le Blumlisalp.

CONCLUSION 237

Sommaire. — Les galets striés ne font pas partie de l'histoire des glaciers. — Caractères et gisements de ces galtes. — Illusions des géologues à leur égard. — Ce sont des produits de l'érosion pluviaire. — Leur reproduction expérimentale. — Aire gigantesque occupée par les galets striés. — Témoignage de M. Marcellin Boule. — Les éboulis montagneux : importance de leur rôle. — Galets striés des anciennes époques géologiques; erreurs à leur sujet : Zittel. — Cartes géologiques à refaire. — Les harmonies naturelles et les fonctions du globe : fonction corticale. — Fonction volcanique. — Fonction bathydrique. — Fonction épipolhydrique. — Fonction éolienne. — Fonction océanique. — Fonction biologique. — Fonction glaciaire : comme les autres, elle concourt aux progrès de l'évolution terrestre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC