

TRAVELS THROUGH THE ALPS OF SAVOY, ETC.



VOYAGES
DANS LES ALPES DE LA SAVOIE

ET

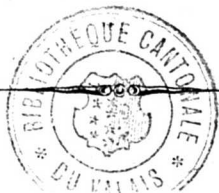
LES AUTRES PARTIES DE LA CHAÎNE PENNINE,

AVEC DES OBSERVATIONS SUR LES PHÉNOMÈNES
QUE PRÉSENTENT LES GLACIERS,

PAR

James-D. FORBES,

Professeur de Physique à l'Université d'Édimbourg, etc. etc.



Titre de la Bibliothèque Universelle de Genève.

(Mars 1844.)

PA 1983

Rh 1568

LE DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE

VOYAGES

DANS LES ALPES DE LA SAVOIE

LES ALPES FRANÇAISES DE LA GRANDE MONTAGNE

LES ALPES FRANÇAISES DE LA PETITE MONTAGNE

PAR

M. DE LAUNAY

PARIS, CHEZ LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉDITIONS SCIENTIFIQUES, ARTISTIQUES ET INDUSTRIELLES, 1855.

LES ALPES FRANÇAISES DE LA GRANDE MONTAGNE

PLATEAU DE LAVAL

L'ouvrage dont je viens rendre compte dans ce recueil me semble présenter de l'intérêt sous plusieurs rapports, et il en a particulièrement pour nous, à cause du voisinage où se trouve Genève de la région qui en fait le principal objet. Quoique le nombre des voyageurs qui visitent en été la vallée de Chamounix, les montagnes et les glaciers qui l'entourent, continue à être très-considérable, il y a longtemps qu'il n'a paru de voyage scientifique dans cette contrée, si remarquable par les phénomènes qu'elle présente. La plupart des touristes se bornent à un coup d'œil superficiel de simple curiosité, et quelques-uns à un hommage sincère d'admiration. Des littérateurs et des artistes ont continué, il est vrai, à faire ressortir, par de pittoresques descriptions, tout ce que cette nature alpestre présente de charmes et de beautés. Un petit nombre de savants ont fait, dans cette région, des observations sur divers points spéciaux ou sur quelques branches particulières. Mais personne, à ma connaissance, n'avait encore entrepris un ouvrage qui fût suite en quelque sorte aux *Voyages dans les Alpes* de

notre illustre compatriote de Saussure¹. Ce physicien et naturaliste si distingué avait embrassé un champ très-étendu dans ses recherches, et n'avait pu, par conséquent, les pousser toutes également loin. Ainsi, quoiqu'il se soit occupé des glaciers, il a laissé encore sur ce sujet beaucoup à faire à ses successeurs. D'habiles ingénieurs et naturalistes suisses, MM. Venetz, Hugi, de Charpentier et Agassiz, se sont, dans ces derniers temps, successivement occupés de ce sujet dans les Alpes helvétiques. On doit en particulier à Mr. Agassiz un ouvrage intéressant (*Etudes sur les glaciers*), accompagné d'un atlas de belles planches, et plusieurs mémoires scientifiques. C'est avec lui que Mr. Forbes a fait, en 1841, sa première campagne sur les glaciers, en séjournant pendant quelque temps sur le glacier inférieur de l'Aar; et il a fait à la même époque, avec Mr. Agassiz, une ascension sur la cime de la Jungfrau, dont Mr. Desor a rendu compte dans la *Bibl. Univ.* (tome XXXVI, nov. 1841). Mr. Forbes a publié, à la suite de ses premières observations, un petit mémoire sur la structure rubanée des glaciers, dans l'*Edinburgh philosophical Journal* de janvier 1842, dont un extrait a été donné dans le cahier de juin 1842 de la *Bibl. Univ.*; il a inséré dans l'*Edinburgh Review* d'avril 1842, un article plus étendu et fort intéressant sur les glaciers, dont il a paru une traduction française dans les cahiers d'octob. et de novemb. 1842 des *Annales de chimie et de physique*. Les environs du Mont-Blanc n'avaient pas été encore explorés de nouveau, sous le rapport des glaciers, avec le même soin que les Alpes suisses; et Mr. Forbes lui-même ne les avait encore visités que passagèrement. C'est dans l'été de 1842 qu'il est venu y faire un assez long séjour et diverses excursions, pour y étudier ce sujet d'une manière approfondie, et y lever

¹ Les *Etudes géologiques dans les Alpes*, par Mr. le professeur Louis Necker, petit-fils de de Saussure, sont un ouvrage qui pourrait être un peu du même genre : mais l'auteur n'en a encore publié que le premier volume, principalement relatif aux environs de Genève.

une carte topographique de la Mer de Glace. Il a adressé à cette époque, sur ses observations relatives aux glaciers, quatre lettres à Mr. le professeur Jameson, insérées dans l'*Ed. phil. Journ.*, et dont Mr. le prof. Macaire a donné la traduction française, accompagnée de quelques remarques, dans le cahier de décembre 1842 de la *Bibl. Univ.* Il a publié ensuite à Edimbourg, en juillet 1843, l'ouvrage actuel, dont je me trouve appelé à faire l'analyse, quoiqu'il soit relatif à un sujet assez nouveau pour moi. J'ai eu l'avantage d'entendre Mr. Forbes exposer lui-même de vive voix les principaux résultats de ses observations à son retour de Chamounix, dans une séance de la Société de physique et d'Histoire naturelle de Genève, qui le compte depuis longtemps au nombre de ses membres honoraires. Il a bien voulu me fournir aussi quelques renseignements sur ses observations ultérieures relatives aux glaciers, dans un nouveau voyage qu'il a fait en Suisse et à Chamounix vers la fin de l'été dernier.

Le premier chapitre de l'ouvrage renferme une sorte d'introduction sur les voyages et les voyageurs dans les Alpes. J'aimerais en citer plusieurs morceaux qui me semblent aussi bien exprimés que bien pensés, soit sur les travaux de de Saussure, auxquels Mr. Forbes rend un juste hommage, soit sur le charme que présentent les voyages dans les Alpes : mais je ne crois pas pouvoir m'y arrêter. Le chapitre second renferme un exposé général de ce qui constitue les glaciers, et des principales théories présentées jusqu'à présent pour l'explication de leurs mouvements. L'auteur continue le sujet dans le chapitre suivant, où il traite spécialement de l'action géologique des glaciers. Il y adopte l'opinion de MM. Venetz, de Charpentier et Agassiz, que les glaciers ont été anciennement beaucoup plus étendus qu'ils ne le sont maintenant, et que c'est à leur action qu'on doit attribuer les roches polies et striées qu'on trouve en grand nombre dans les Alpes, ainsi qu'une grande partie des dépôts pierreux, et en particulier les blocs erratiques, qu'on

rencontre au débouché des principales vallées qui partent des glaciers. Ces deux chapitres sont en partie tirés de l'article de l'auteur, inséré dans l'*Edinburgh Review*, que j'ai cité plus haut. Les chapitres 4 et 5 renferment une description détaillée de la Mer de Glace, depuis la vallée de Chamounix, où elle aboutit, jusqu'aux glaciers du Géant, de Léchaud et de Talèfre ses tributaires. Le chapitre suivant est consacré à l'exposition des opérations trigonométriques exécutées par l'auteur pour la construction de sa carte topographique de la Mer de Glace. Je m'y arrêterai quelques instants.

L'instrument avec lequel Mr. Forbes a effectué sa triangulation, est une espèce de théodolite, ou de petit cercle de hauteur et d'azimut, dit de Kater, construit pour l'auteur par Robinson. Il se compose d'un cercle horizontal et d'un cercle vertical, chacun de 4 1/2 pouces de diamètre, le premier muni de trois verniers et le second de deux. Le cercle horizontal est plus soigné dans son exécution que le vertical, et les lectures y sont plus précises. L'instrument porte deux lunettes, dont une fait fonction de lunette de sûreté; l'autre, destinée aux observations, est pourvue d'un oculaire prismatique, et a à son foyer cinq fils verticaux et un fil horizontal. Un bon niveau est fixé à l'instrument, qui repose sur un trépied portatif fort solide.

La base, qui a servi de fondement à la triangulation, a été mesurée par Mr. Forbes dans la vallée de Chamounix, vis-à-vis le glacier des Bois qui forme l'extrémité inférieure de la Mer de Glace, sur la route située entre les hameaux des Praz et des Tines. Sa longueur, mesurée deux fois le 14 et le 23 septembre, avec une chaîne de fer de dix mètres, comparée avec une échelle en tissu d'acier de Troughton, a été trouvée d'environ 2993 pieds anglais.

Il a été impossible, à cause de la forme et de la pente de la Mer de Glace, d'établir vers ses bords des triangles aussi bien conditionnés qu'on aurait pu le désirer: mais Mr. Forbes a cherché à y suppléer en mesurant, autant que possible, les trois an-

gles de chaque triangle ; et leur somme a rarement différé d'une minute de 180° , malgré la grande inclinaison qu'ont eue souvent les rayons visuels. Il est arrivé ainsi, au moyen de sept triangles, depuis la vallée de Chamounix jusque vers le haut du glacier de Léchaud, en une station distante de la base d'environ 28600 pieds.

Mr. Forbes a observé avec soin, outre les angles horizontaux, les angles de hauteur ou de dépression des diverses stations les unes relativement aux autres, en les rapportant au niveau du Montanvert. Il a trouvé la hauteur du sol du pavillon du Montanvert, au moyen de 27 observations barométriques qu'il y a faites, comparées à celles de Genève, de 6300 pieds anglais au-dessus du niveau de la mer. La base de sa triangulation était plus basse que le Montanvert d'environ 2750 pieds, et la dernière station, au haut du glacier de Léchaud, était plus élevée que le Montanvert de 1623 pieds ; ce qui fait 4373 pieds de différence de niveau, entre le point de départ et l'extrémité supérieure de la triangulation.

Mr. Forbes évalue, d'après ses mesures, la pente moyenne du glacier des Bois, depuis la source de l'Arveiron jusqu'à la hauteur du Chapeau, à environ $20^\circ 42'$. De là, jusqu'à la station la plus élevée, la pente de la Mer de Glace n'est plus que de 4 à 5° , sauf un peu au-dessus du Chapeau où elle est encore de 12° ; celle du glacier du Géant est d'environ $8^\circ \frac{3}{4}$. La longueur entière de la Mer de Glace, jusqu'au haut de ce dernier glacier, est de 47920 pieds, avec une différence de niveau de 7484 pieds : ce qui correspond à une pente moyenne de $8^\circ 52' 36''$, avec des parties fort escarpées vers le bas et vers le haut.

Comme Mr. Forbes n'avait, dans sa triangulation, que neuf hauteurs de stations rapportées au Montanvert à obtenir, et qu'il avait mesuré entre chaque station 21 angles de hauteur ou de dépression, dont 14 sont doubles, ou ont été mesurés de chacune des deux stations auxquelles ils se rapportent, cela

lui a permis de calculer, par la méthode des moindres carrés, la valeur la plus probable de ces 9 inconnues, au moyen des 21 équations de condition qu'il a pu former. Il en est résulté, pour chaque hauteur, des valeurs calculées, qui ne diffèrent que d'un très-petit nombre de pieds, et dans trois cas d'un dixième de pied seulement, des valeurs obtenues par l'observation immédiate, ce qui constitue un accord très-satisfaisant.

Les côtés de la triangulation précédente ont servi de bases pour mesurer la hauteur des montagnes adjacentes et des stations subsidiaires. Celles-ci ont été prises, soit pour déterminer le mouvement du glacier, soit pour former une triangulation du second ordre, destinée à compléter la détermination de la position des points compris dans la carte. Ces dernières opérations ont été exécutées soit avec le théodolite, soit avec une petite boussole à la Kater, dont Mr. Forbes a trouvé l'emploi très-commode et avantageux dans les localités de ce genre. Le froid prématuré qui a eu lieu au mois de septembre 1842, ne lui a pas permis de compléter, comme il l'aurait désiré; la topographie de la partie supérieure du glacier du Géant.

La carte de la Mer de Glace, qui est le résultat final des opérations trigonométriques, des levés et des dessins topographiques de Mr. Forbes, a été construite par lui à l'échelle d'un 25000^e, et orientée par la boussole, en admettant en ce lieu une déclinaison de l'aiguille aimantée de 19°, qui est, à très-peu de chose près, celle qui a été déterminée à Genève vers la même époque par Mr. le prof. Plantamour, avec un grand magnétomètre de Meyerstein de Göttingue. La carte embrasse la partie de la vallée de Chamounix comprise entre le Prieuré et le bas du glacier des Bois, ainsi que les montagnes adjacentes à la Mer de Glace, savoir : la cime du Mont-Blanc, ses flancs et ses aiguilles orientales, ainsi que les autres aiguilles situées au fond et de chaque côté de la Mer de Glace, avec les glaciers qui en descendent¹.

¹ Mr. Agassiz a fait faire aussi, dans l'été de 1842, par Mr. l'ingénieur

Le résultat des opérations de Mr. Forbes lui a donné les hauteurs suivantes, pour quelques-unes de ces sommités¹ :

	Hauteurs au-dessus de la mer en pieds anglais.
Grande-Jorasse.	13496
Aiguille Verte.	13432
Aiguille du Géant.	13099
Mont-Mallet.	13068
Petite-Jorasse.	12246
Aiguille du Dru, n° 1 (visible du Montanvert). . .	12178
» n° 2 (invis. depuis le Montanvert).	12245
Tours des Courtes.	12119
Aiguille du Moine.	11109
Mont Tacul (cime orientale).	11002
Aiguille de Charmoz.	10944
Aiguille de L'échaud.	10914
Jardin (point le plus élevé).	9893
Croix de Flégère.	6188 ²

La hauteur ci-dessus de l'aiguille du Géant est plus petite de 776 pieds que celle qui avait été adoptée par de Saussure ; et celle de la Grande-Jorasse est plus grande de 303 pieds que celle que Pictet avait déterminée. Au reste, Mr. Forbes est loin de présenter comme parfaitement exactes les valeurs qu'il a obtenues (quoiqu'il ait vérifié avec un soin particulier les deux que je viens de citer). Il regarde, par exemple, comme possible que le Mont Mallet, situé entre la Grande-Jorasse et l'aiguille du Géant, soit aussi élevé que cette dernière.

Wild de Zurich, une carte topographique du glacier de l'Aar, construite à l'échelle du dix-millième, et qui est d'une très-belle exécution. Elle fera partie d'un nouvel ouvrage sur les glaciers, qui doit être publié par Mr. Agassiz. (Voyez *Bibl. Univ.*, mai 1843, p. 131.)

¹ Ces mesures et les suivantes sont exprimées en pieds anglais, qui sont les 15/16 du pied français, et correspondent en mètres à 0^m,30479. Le pied suisse (de 0^m,3) est bien près d'être égal au pied anglais.

² Mr. Forbes évalue, d'après les ingénieurs français, la hauteur du Mont-Blanc à 15744 pieds angl., et celle de Chamounix, par la moyenne de diverses déterminations, à 3425 pieds.

La position géographique de la contrée comprise dans la carte de Mr. Forbes peut être déduite avec exactitude de celle de la cime du Mont-Blanc, telle qu'elle a été déterminée par les ingénieurs français. Sa latitude, d'après la Table des positions géographiques de la *Connaissance des Temps* pour 1846, est de. 45°49'58"
 Sa longitude à l'est de Paris, de. 4°31'30"
 Et sa hauteur au-dessus de la mer de 4811 mètres.

Mr. Forbes a déterminé lui-même, en 1832, avec son théodolite, et un chronomètre comparé à la pendule de l'Observatoire de Genève, la position suivante pour le Prieuré de Chamounix¹:

Lat. 45°55'54"; long. à l'E. de Paris 4°30'51".

Le chapitre 7 de son ouvrage comprend l'exposé de ses expériences sur le mouvement de la Mer de Glace. C'était un des points les plus importants pour lui à déterminer avec précision. Aussi, dès les premiers jours de son séjour dans le pavillon du Montanvert, où il arriva le 24 juin 1842, il commença des observations de ce genre, en perçant un trou vertical d'environ deux pieds dans la glace, vers le bord de la partie de la Mer de Glace située près d'un promontoire de rocher dit de l'*Angle*, un peu au-dessus du Montanvert. Il établit ensuite son théodolite sur la verticale du centre de ce trou, et après l'avoir nivelé, il en dirigea la lunette sur la face verticale du roc adjacent, pour déterminer la hauteur relative de la surface du glacier, ainsi que la partie du bord fixe à laquelle correspondait alors le trou percé. Afin que cette observation donnât aussi exactement que possible le mouvement de la glace dans le sens de la longueur du glacier, la lunette était d'abord dirigée sur un point fixe éloigné qui fût à peu près dans la direction de la pente du glacier; puis on la plaçait, au moyen du cercle azimutal, exactement à angle droit de cette direc-

¹ Voyez *Bibl. Univ.*, 1^{re} série, tome LI, p. 113, année 1832.

tion, de manière à pointer sur le roc vif des bords du glacier. L'aide de Mr. Forbes, Auguste Balmat, stationnait là avec un morceau de papier blanc qu'il remuait, d'après les indications de Mr. Forbes, jusqu'à ce que le bord vertical du papier coïncidât exactement avec le fil vertical de la lunette. La position du papier était alors marquée sur la pierre avec un crayon, et les lignes successives ainsi tracées étaient soigneusement mesurées de jour en jour avec l'échelle de Troughton. Des marques correspondantes à ces lignes étaient taillées dans le roc et peintes en rouge à l'huile, avec la date de chaque observation. Mr. Forbes croit que ces marques pourront se conserver pendant plusieurs années. Cette première station sur la glace était distante du roc de 250 pieds; en répétant souvent l'observation, il a trouvé qu'on pouvait compter sur son exactitude à environ un quart ou un tiers de pouce près.

On pourrait croire, au premier coup d'œil, que des trous verticaux ainsi pratiqués dans la glace, doivent très-vite s'altérer et se déformer, par l'effet de la fonte de la glace et de la filtration journalière de l'eau, et qu'ils ne présentent pas la permanence convenable pour des observations suivies. Mais Mr. Forbes constata promptement que de tels trous étaient réellement de bons points de repère, plus permanents quelquefois que de grands blocs de pierre reposant sur la glace, ces derniers étant susceptibles de changer à la longue de position relative sur le glacier, par la fonte graduelle de la glace qui les entoure. Cette fonte fait paraître peu à peu ces blocs comme élevés sur un piédestal de glace, et occasionne ensuite leur chute dans quelque crevasse, ainsi que Mr. Forbes l'a vérifié pour une énorme masse de ce genre, en forme de table, située au bas du glacier de Talèfre, et qu'il a représentée dans une planche placée en tête de son ouvrage.

Il y aurait eu encore une troisième coordonnée à déterminer fréquemment, savoir la distance comprise entre la station sur la glace et le bord du glacier, pour constater s'il y a aussi

des changements dans ce sens. Mr. Forbes n'a pas trouvé de moyen prompt et exact de s'en assurer, mais il croit que, dans la plupart des cas, il n'y a pas de raison de douter que le mouvement de la glace est sensiblement parallèle à la longueur du glacier. La direction de ce mouvement est indiquée par celle des moraines sur le glacier, et c'est celle qu'il a suivie quand il l'a trouvée bien marquée.

Dès le 27 juin, Mr. Forbes vérifia que sa station sur la glace s'était avancée de $16 \frac{1}{2}$ pouces en 26 heures, du côté du bas du glacier. Le 28, il trouva une avance de 17,4 p. en $25 \frac{1}{2}$ heures. Il constata que le mouvement avait été de 8 pouces en 12 heures dans la nuit du 28 au 29, tandis qu'il avait été de $9 \frac{1}{2}$ pouces dans les 12 heures de la journée du 28. Il détermina dans la même journée une avance sensible du glacier, au bout d'un intervalle d'une heure et un quart seulement. La continuité du mouvement était ainsi indubitable, et son augmentation paraissait correspondre à l'accroissement de la chaleur, ce qui a été confirmé par les observations subséquentes; ces résultats étaient d'autant plus intéressants, que la station choisie sur la glace était fortement crevassée, et que, malgré cette dislocation, le mouvement était régulier et continu.

Dans la dernière semaine de juin, où le temps fut très-favorable, et où Mr. Forbes passa journellement de 12 à 14 heures sur le glacier, il perça deux nouveaux trous dans la glace, un peu au-dessous du Montanvert, l'un près du bord du glacier, l'autre près du centre. Le mouvement en 24 heures du premier fut de $17 \frac{1}{2}$ pouces, celui du second de 27,1 p. : ce qui prouvait que, contrairement à l'opinion assez généralement reçue jusqu'alors, le mouvement du glacier, analogue à celui d'une rivière, était plus rapide vers son centre que vers ses bords, l'effet du frottement étant plus sensible en ces derniers points.

Mr. Forbes a étendu ses observations, soit sur d'autres points de la même section de la Mer de Glace, soit sur des points plus

élevés, en procédant de diverses manières suivant les localités. Il a vérifié que vers le bas des glaciers de Léchaud et de Talèfre, le mouvement de la glace en 24 heures n'était à la même époque que de $10 \frac{1}{5}$ pouces. Vers la fin de juillet, il a établi deux points de mire vers le haut du glacier de Léchaud, et a obtenu en cette station un mouvement en 24 heures de 11 à 14 pouces vers le bord du glacier, et de $13 \frac{1}{2}$ à $16 \frac{1}{5}$ vers son centre. Les observations de ce genre ont été continuées depuis le milieu jusque vers la fin de septembre. Il y a eu alors, pendant quelques jours, un notable refroidissement, qui a occasionné une diminution sensible dans le mouvement du glacier. Il n'était plus en 24 heures que de 11 pouces à la première station de l'Angle, de 13 à celle au-dessous, vers le bord, de 20 vers le centre. On n'a pas pu, à cause de la neige, mesurer fréquemment le mouvement de la glace dans les stations supérieures : mais on avait constaté auparavant qu'il avait déjà un peu diminué avec l'abaissement de la température. Le temps s'étant radouci dans les derniers jours de septembre, le mouvement s'est accru de nouveau dans les stations où l'on a pu le mesurer, et il a été encore, du 26 au 28 septembre, de plus de 25 pouces en 24 heures au milieu du glacier, dans la section située au-dessous du Montanvert.

Le mouvement des parties élevées de la Mer de Glace est plus lent que celui de la plus basse, mais le mouvement de la région moyenne est moins rapide que celui des deux autres. Mr. Forbes attribue ce dernier fait à la plus grande largeur de cette région moyenne et à ce qu'elle se termine par une issue assez étroite. Ce ralentissement peut tenir aussi à la diminution de la pente.

Auguste Balmat a continué, pendant l'hiver et le printemps de 1843, à faire de temps en temps des observations sur le mouvement de la Mer de Glace, en suivant les progrès d'un grand bloc de pierre placé sur la glace au-dessous du Montanvert.

Il a trouvé, du 20 octobre au 12 décembre 1842, sa vi-

tesse moyenne en 24 heures, en pouces anglais, de . . . 15,8
ou à peu près la même qu'en été.

Du 12 décembre 1842 au 17 février 1843, elle n'a
plus été en moyenne que de 13,6
Du 17 février au 4 avril, elle a été de 17,2
Du 4 avril au 8 juin de 16,3

Ce bloc est tombé dès lors dans l'espèce de précipice situé vers le bas du glacier, et n'a plus pu servir à la continuation des observations.

D'après l'ensemble de ces observations, Mr. Forbes évalue le mouvement total de la partie latérale de la Mer de Glace au Montanvert, du 29 juin 1842 au 8 juin 1843, c'est-à-dire en 322 jours, à 432 pieds anglais, ce qui correspondrait pour l'année à près de 490 pieds.

Il a constaté lui-même que la grande pierre plate située au bas du glacier de Talèfre, dont j'ai parlé plus haut, avait parcouru du 27 juin 1842 au 12 septembre 1843, soit en 442 jours, un espace de 320 pieds, ce qui correspond à 264 pieds en 365 jours et à 8,7 pouces par jour : valeur qui ne diffère pas beaucoup du mouvement de la glace dans la saison chaude sur cette partie du glacier¹.

Je n'ai parlé jusqu'à présent que des mesures relatives au mouvement du glacier dans le sens de sa longueur. Mr. Forbes

¹ Mr. Forbes raconte dans le chapitre V de son ouvrage (p. 86), que Joseph-Marie Coutet lui montra, en 1832, sur la Mer de Glace, vis-à-vis des Moulins, ou chutes d'eau, situées entre Trélaporte et le Couvercle, quelques fragments de bois, qu'il lui assura provenir de l'échelle dont de Saussure avait fait usage 44 ans auparavant, pendant son séjour au col du Géant. Après examen, il est disposé à regarder ce fait comme exact, et à admettre que cette échelle est descendue, entre 1788 et 1832, de l'Aiguille de la Noire au point en question, où elle reparut à cette dernière époque. En adoptant 16500 pieds pour la distance intermédiaire, y compris les sinuosités du glacier, cela donnerait 375 pieds pour le moyen mouvement annuel de cette partie du glacier dans cet intervalle. C'est vers la région où ont été trouvés ces débris de bois que le glacier est le plus profond, et les guides ont dit à Mr. Forbes y avoir sondé un moulin de plus de 350 pieds de profondeur.

a constaté aussi un abaissement de niveau très-sensible, qui s'est effectué à la surface de la Mer de Glace dans le courant de l'été. Cet abaissement a été de $24 \frac{1}{2}$ pieds du 30 juin au 16 septembre, à raison d'environ 4 pouces par jour vers la première époque, et de $2 \frac{1}{2}$ vers la dernière.

Le chapitre huitième de l'ouvrage de Mr. Forbes est relatif à la structure de la glace des glaciers, et de la Mer de Glace en particulier. L'existence de bandes ou veines de glace alternativement blanche et bleue, dans les glaciers, dont les premières sont formées de glace plus poreuse et plus mélangée de sable et de bulles d'air que les autres, avait été déjà remarquée, à ce qu'il paraît, dès 1820, par Mr. Zumstein, sur le Mont-Rose¹, et en 1838 sur le glacier de Gries, par Mr. Guyot de Neuchâtel. Mr. Forbes l'a découverte aussi, de son côté, en 1841, sur le glacier de l'Aar, et en a le premier apprécié l'étendue et l'importance. Il entre dans beaucoup de détails au sujet de cette structure rubanée; elle se manifeste particulièrement dans quelques parties de la Mer de Glace, où toute la surface paraît striée par des lignes fines, qui sont surtout évidentes après la pluie. Ces bandes sont à peu près parallèles à la direction de la longueur du glacier, presque verticales vers son milieu, et s'inclinant contre ses bords. Vers le bas des glaciers, elles décrivent des courbes ovales sur la surface bombée de la glace; et la direction des sections qu'elles forment dans l'intérieur, au lieu d'être verticale, se rapproche de plus en plus de l'horizontale.

Outre ces petites bandes qui règnent dans tout le glacier, Mr. Forbes en a découvert d'autres beaucoup plus espacées entre elles. Le 24 juillet au soir, il se trouvait sur une hauteur située sur le flanc de l'aiguille de Charmoz, à six ou sept cents pieds au-dessus du Montanvert, et à environ mille pieds au-dessus du niveau de la Mer de Glace. Les teintes superbes du soleil couchant coloraient les montagnes éloignées, pendant

¹ Voyez *Bibl. Univ.*, août 1843, p. 330.

que le glacier était comparativement dans l'ombre. Cette demi-illumination était beaucoup plus favorable que le plein jour pour distinguer de faibles nuances de couleur, sur une surface très-blanche comme celle d'un glacier. C'est alors qu'il aperçut, pour la première fois, sur la surface de la glace, une série de bandes curvilignes brunes, présentant chacune une courbure presque hyperbolique, dont le sommet était tourné vers le bas du glacier, et dont les deux branches se confondaient avec ses moraines : l'ensemble formant comme une succession de grandes vagues, distantes entre elles de quelques centaines de pieds. En examinant le lendemain la surface de la glace, Mr. Forbes constata que quoique, d'après les inégalités de cette surface et les effets locaux de lumière, il eût été presque impossible de tracer ces courbes dans toute leur étendue, les bandes avaient une position déterminée et régulière sur le glacier; elles correspondaient à une sorte de décoloration de la glace, provenant de ce que les particules de terre, de sable et de débris de rochers, que les vents, les avalanches et les courants d'eau répandent sur toute la surface du glacier, trouvaient à se loger dans ces espèces de veines de structure particulièrement poreuse. Il en a compté depuis la station des Charmoz dix-huit, comprises entre le précipice de glace près du Chapeau et le promontoire de Trélaporte, et il les a tracées avec soin sur sa carte. L'intervalle moyen compris entre deux des bandes contiguës, dans la partie inférieure du glacier, est de 711 pieds; mais ces intervalles ne sont pas tous égaux entre eux et diffèrent sensiblement à l'œil. La distance comprise entre les sommets des deux bandes situées vis-à-vis de la station au-dessous du Montanvert a été trouvée trigonométriquement de 667 pieds.

Mr. Forbes a déterminé, l'été dernier, le nombre de ces bandes situées dans la partie supérieure de la Mer de Glace comprise entre Trélaporte et l'aiguille de la Noire. Il a compté dix-neuf intervalles dans un espace de 12600 pieds, ce qui cor-

respond à un intervalle moyen de 666 pieds. Ce qui lui a fait distinguer les bandes dans cette partie du glacier, c'est que la neige de l'hiver précédent n'ayant pas complètement fondu dans les petits creux correspondant à ces bandes, elles ont été marquées par des lignes brillantes, visibles depuis une certaine hauteur, et offrant une régularité parfaite. Ainsi, ces grandes bandes n'existent pas seulement en plan à la surface du glacier, mais aussi en relief, et elles correspondent à de petites concavités.

Mr. Forbes s'est assuré, en 1842, en infiltrant des liquides colorés dans un trou pratiqué dans la partie la plus compacte de la glace, près du Montanvert, que les glaciers sont pénétrés en été, à une grande profondeur, par l'eau qui sature tous leurs pores. Il s'est également convaincu que cette eau ne gèle jamais en été, et ne gèle qu'en partie pendant l'hiver. Il résulte de là qu'un glacier ne constitue pas une masse de glace solide, mais un composé de glace et d'eau, qui cède plus ou moins suivant son état d'humidité et d'infiltration.

C'est en rapprochant ces divers faits, que Mr. Forbes est arrivé à son explication du mouvement des glaciers.

Les formes des courbes superficielles dont j'ai parlé plus haut, ressemblent tout à fait aux lignes ou rides que présente l'écume à la surface d'un fluide visqueux, qui serait poussé le long d'une auge ou d'un bassin incliné. La cause de cette forme est due à la rapidité du centre, plus grande que celle des côtés, les molécules de liquide ayant entre elles moins d'adhésion que n'en a le fluide avec le vase dans lequel il est contenu. Une masse à demi-rigide, comme celle d'un glacier, une fois qu'elle ne se meut pas dans toutes ses parties parallèlement à elle-même, doit éprouver une solution de continuité entre les parties adjacentes de la glace, afin de permettre à la partie du milieu de se mouvoir plus vite que les côtés. La glace doit donc être déchirée par d'innombrables fissures, dont la direction générale sera parallèle à son mouvement; et ces fissures étant

remplies d'eau et se gelant finalement pendant l'hiver, donneront lieu à l'apparence des petites bandes bleues, traversant la masse générale de la glace et ayant une texture différente.

Quant à la succession de lits, de structure plus ou moins poreuse, qui donne lieu au phénomène des grandes vagues sur la surface du glacier, Mr. Forbes ne regarde pas comme improbable que ce phénomène dépende en quelque manière de l'époque de la première consolidation de ces lits dans la partie la plus élevée du glacier, en sorte que ces bandes poreuses comprendraient entre elles l'accroissement annuel du glacier, leurs intervalles correspondant aussi, en chaque point, à son mouvement annuel. « Si l'on pouvait, ajoute-t-il, rendre un compte satisfaisant de la formation originelle de ces bandes dans la partie supérieure du glacier, la forme allongée des couches vers leur extrémité inférieure devrait être exactement celle que doit produire la différence de vitesse dans les parties centrale et latérales du glacier ; et la courbure peu sensible des plans de structure au haut du glacier confirme cette opinion. On doit convenir, cependant, qu'il y a encore diverses difficultés à résoudre relativement au retour successif de ces lits poreux, et la structure précédente n'a aucune connexion avec la stratification du *névé*. »

Après être entré dans quelques détails au sujet des chapitres précédents, relatifs aux travaux les plus importants de Mr. Forbes sur la Mer de Glace, et à ses idées sur la constitution et le mouvement des glaciers, je serai forcé, par le défaut d'espace, de passer beaucoup plus rapidement sur la partie suivante de son ouvrage, qui comprend, dans douze chapitres, le récit de diverses courses scientifiques exécutées par lui, en juillet et août 1842, soit autour du Mont-Blanc, soit autour du Mont-Rose.

L'auteur décrit d'abord la route de Chamounix à Cour-

mayeur, par Saint-Gervais, le Col du Bonhomme et l'Allée-Blanche, en donnant divers détails sur les glaciers qui descendent du Mont-Blanc le long de cette route, ainsi que sur les divers phénomènes, géologiques ou autres, qui s'y sont présentés à lui. Il consacre un chapitre particulier aux grands glaciers du Miage et de la Brenva, qu'il a examinés en détail, et dont il donne des vues et des dessins topographiques. J'en citerai seulement un passage (p. 203), dans lequel Mr. Forbes raconte que son ami Mr. le chanoine Carrel d'Aoste, avec lequel il a fait quelques excursions aux environs de Courmayeur, découvrit sur une espèce de promontoire de rochers, formé par le pied du Mont Chétif, au bas du glacier de la Brenva, un point de contact entre la roche calcaire et la glace, qui permettait d'examiner l'action immédiate de l'une sur l'autre. Après avoir enlevé la glace qui formait une sorte de protubérance, les observateurs trouvèrent une couche de boue fine couvrant le roc, composée non-seulement de boue calcaire, mais aussi de sable dur provenant des moraines granitiques du glacier de l'autre côté de la vallée. En examinant la face de la glace qui était en contact avec le roc, ils la trouvèrent tout entourée de fragments angulaires aigus de la même espèce de roche, depuis la dimension d'un grain de sable jusqu'à celle d'une cerise ou plus, si fermement fixés dans la glace, qu'il était impossible qu'une telle surface fût poussée en avant sans user et sillonner tout corps comparativement moins dur situé au-dessous. Il ne fut pas difficile, en effet, de découvrir dans la roche calcaire les rainures et les traces d'action corrodante que venait d'y produire la pression de la glace et des fragments de pierre qu'elle renfermait. Après avoir lavé la surface calcaire, ils la trouvèrent délicatement polie, et en outre sillonnée ou rayée dans la direction du mouvement du glacier, et contre la pente de la colline. MM. Forbes et Carrel réussirent à enlever avec des marteaux quelques fragments de roc, ayant encore du sable dur qui y adhérait, et un ouvrier maçon leur détacha plus

tard quelques échantillons des surfaces striées ou polies. Il est impossible, dit Mr. Forbes, de prendre plus complètement la nature sur le fait que cela n'a eu lieu en cette occasion.

Le glacier de la Brenva, ainsi qu'un grand nombre d'autres, a pris un développement très considérable pendant les cinq années qui ont précédé 1818 ; et cependant Mr. Forbes remarque que la température moyenne de Genève dans ces cinq ans a été de 7°,61 de l'échelle de Réaumur, tandis que celle des quarante dernières années a été de 7°,75 d'après Mr. Dove. Il regarde comme très-probable que l'accroissement des glaciers à cette époque a beaucoup plus dépendu d'une plus grande chute de neige que d'un changement de température.

Mr. Forbes est monté avec Mr. Carrel sur la cime du Cramont, pour y faire des expériences sur l'action calorifique des rayons solaires, avec deux Actinomètres de sir J. Herschel, dans une station sans neige permanente, quoique élevée de 9081 p. anglais ou de 2768 mètres, et où de Saussure avait déjà fait, en 1774, quelques observations intéressantes du même genre. Mais, quoique le temps fût beau et brillant pendant la journée où Mr. Forbes a fait ses expériences toutes les heures, depuis 8 h. du matin jusqu'à 5 h. du soir, il y a eu assez de nuages pour en rendre les résultats incertains. Il n'a, en conséquence, fait usage que de ses observations actinométriques antérieures, dans son mémoire *sur la transparence de l'atmosphère et sur la loi d'extinction des rayons solaires qui la traversent*, inséré dans la deuxième partie des *Transactions philosophiques* pour 1842 : mémoire qui a mérité à Mr. Forbes une médaille d'or, que lui a décernée la Société royale de Londres en novembre 1843.

Mr. Forbes, après avoir été avec Mr. Airy de Courmayeur à Turin, pour y observer l'éclipse totale de soleil du 8 juillet¹, est revenu promptement à Courmayeur pour retourner sur la Mer de Glace, et il a choisi pour y arriver le passage le

¹ Voyez *Bibl. Univ.* décembre 1843 (tome XLVIII), p. 361.

plus direct de beaucoup, mais aussi le plus difficile, celui du Col du Géant, qu'il a effectué avec Jean-Marie Coutet et un guide de Courmayeur¹. Il est parti de ce lieu le 23 juillet, à 1 $\frac{1}{2}$ h. du matin, et il est arrivé au sommet du col à 7 h. 20 m., sans aucune difficulté particulière. « L'atmosphère, dit-il, était trop claire pour indiquer un beau temps stable; on n'y voyait pas un nuage ni une vapeur, l'air était parfaitement tranquille. Jamais je n'ai vu des montagnes éloignées aussi distinctement que dans ce moment-là. Les Alpes s'élevaient devant nous, étage par étage, à l'est, au sud et à l'ouest, avec une parfaite netteté jusqu'à l'extrême limite de l'horizon visuel. À l'est, paraissait le Mont-Cervin avec sa forme d'obélisque sur laquelle on ne peut se méprendre; un peu à droite la dent d'Erin, puis la masse du Mont-Rose avec toutes ses têtes presque d'égale hauteur; venaient ensuite la chaîne sauvage de Cogne, au midi d'Aoste, puis la vaste masse du Mont-Iseran qui cachait le Mont-Viso, puis les montagnes de la vallée de l'Isère, parmi lesquelles se trouve l'aiguille de la Vanoise, entre Moutiers et Lans-le-Bourg, l'une des plus élégantes de toute la chaîne. Plus loin, paraissaient le Mont-Thabor et le Mont-Pelvoux en Dauphiné, la plus haute montagne entre le Mont-Blanc et la Méditerranée, dont j'avais fait le tour en 1841 avec Mr. Heath. La masse adjacente des grandes Rousses, s'inclinant vers Grenoble, terminait de ce côté-là cet admirable panorama, qui était ainsi coupé au point où il serait devenu peu intéressant, par la masse colossale du Mont-Blanc, avec sa sentinelle escarpée, le Mont-Péteret, cette vaste aiguille de rocher située du côté de l'Allée blanche.

« Le sommet du Mont-Blanc paraît tout proche depuis le Col du Géant, et son élévation, de 4600 pieds au-dessus de l'obser-

¹ D'après 24 observations barométriques faites par Mr. Forbes à Courmayeur, comparées avec celles de Genève qui leur correspondent, il a trouvé la hauteur de ce lieu de 876 $\frac{1}{2}$ mètres au-dessus de Genève, ou de 4211 pieds anglais au-dessus de la mer.

vateur, perd un peu de sa grandeur par l'effet de cette proximité apparente. La chaîne des aiguilles du Midi, de Blaitière, Grépon et Charmoz, qui sépare cette partie supérieure de la Mer de Glace de la vallée de Chamounix, borne la vue au nord, sans s'élever à une grande hauteur au-dessus de l'œil. La grande aiguille du Géant, en forme de dent, s'élevait majestueusement à droite, soutenue par un massif qui faisait obstacle à la vue du côté de l'est. La partie peut-être la plus frappante de l'aspect du côté du nord, était la masse éblouissante du glacier, commençant à quelques pas de notre station et occupant le bassin situé à plusieurs mille pieds au-dessous de nous, entremêlée de quelques proéminences escarpées, qui çà et là se liaient avec les flancs des sommités adjacentes, ou formaient de petits îlots au milieu d'une vaste surface blanche.

« Mon baromètre de Bünten marquait, à 8 heures du matin, 507^{mm},9; le thermomètre attaché étant à +0°,6 cent., et le therm. libre à —1°,0. En comparant ces données avec les observations faites à Genève au même moment, j'ai trouvé 9803 pieds¹ pour la hauteur du Col du Géant au-dessus de Genève, et 11146 pieds pour sa hauteur au-dessus de la mer. Le Col du Géant, d'après les observations que j'ai faites en arrivant au Montanvert, est élevé de 4841 pieds au-dessus de cette dernière station, résultat qui s'accorde avec la comparaison directe entre ce col et Genève.

« Le roc sous lequel nous avons déjeuné, avait supporté la cabane de de Saussure pendant son mémorable séjour sur ce col, en juillet 1788. J'ai eu du plaisir à contempler une planche, faisant partie de son habitation, qui était encore sur place, ainsi qu'une grande quantité de paille, située sous les pierres qui en avaient formé les murs. Les gelées de cette station l'avaient ainsi conservée depuis plus d'un demi-siècle. Il y

¹ Nous devons répéter que cette mesure et toutes les suivantes sont en pieds anglais.

avait aussi une bouteille vide encore entière, qui était peut-être une trace du passage dans ces lieux (en 1835) d'un autre hôte illustre, Mr. Elie de Beaumont. »

Mr. Forbes a pris occasion de son passage sur le Col du Géant pour donner un excellent résumé, que je regrette fort de ne pouvoir insérer en entier ici, des observations faites par MM. de Saussure père et fils pendant leur résidence dans cette station. « Si nous considérons, dit-il, ce qui a été accompli par ces infatigables observateurs, nous trouverons que l'ensemble de leurs résultats est tout à fait proportionné avec les efforts faits pour les obtenir. Il y a à peine un point dans la physique du globe qui n'ait fait l'objet d'expériences intéressantes pendant ce séjour. La géologie, la météorologie et le magnétisme sont au nombre des plus remarquables. Les résultats obtenus relativement à la météorologie ont encore maintenant un intérêt permanent et presque unique dans la science. Il serait vraiment à désirer que les registres originaux de ces observations fussent publiés en entier... Mr. de Saussure le père avait alors environ 50 ans; et avec la seule assistance de son fils aîné, âgé de 18 ans, il remplit activement le rôle d'un géologue, d'un naturaliste et d'un physicien, pendant 17 jours et 17 nuits, à une hauteur qui, peu d'années auparavant, était regardée comme inaccessible en Europe, et où l'on pouvait mettre en doute qu'aucun être humain pût continuer à vivre. Si l'ascension de de Saussure sur le Mont-Blanc a toujours été considérée comme son titre bien mérité de renommée le plus populaire, les annales de la science doivent enregistrer sa résidence sur le Col du Géant comme le plus remarquable et le plus utile. »

La descente du Col du Géant du côté du glacier offre de grandes difficultés, sa pente formant une espèce de précipice dans la partie où il est le plus étroit, et présentant d'immenses fissures qu'il paraît d'abord impossible de franchir. Nos voyageurs, attachés les uns aux autres par des cordes, finirent ce-

pendant par passer sans accident près du pied de l'aiguille de la Noire, en suivant autant que possible les traces d'un chamois, animal très-hardi dans ses sauts sur la glace, mais fort timide sur un glacier couvert de neige, la forme de ses pieds ne lui permettant pas de faire aucune résistance quand il s'agit de traverser des crevasses cachées. Ils arrivèrent heureusement au Montanvert un peu avant quatre heures de l'après-midi.

L'auteur décrit, dans le chapitre suivant, la route de Courmayeur à Chamounix par le Col Ferret et le Col de Balme, qu'il avait parcourue précédemment, en donnant divers détails sur les glaciers près desquels elle passe, et en particulier sur le grand glacier d'Argentière, situé au nord de l'aiguille Verte.

Mr. Forbes repartit le 11 août de Chamounix, avec un jeune guide nommé Victor Tairraz, pour se rendre à l'hospice du Grand-Saint-Bernard, où il avait donné rendez-vous à son ami Mr. le professeur Bernard Studer de Berne, savant géologue auquel il a dédié son ouvrage, afin de faire de là avec lui une excursion autour du Mont-Rose. Ils traversèrent d'abord la vallée de Bagnes, où Mr. Forbes remarqua, sur des roches calcaires polies le long de ses flancs, de longues rainures peu inclinées, analogues à celles qui sont produites par l'action corrodante des glaciers; puis par-dessus ces rainures, continues sur une longueur de plusieurs toises, des traces d'usure plus fortes, mais courtes et irrégulières, inclinées comme le lit de la rivière, et qu'on peut attribuer à l'effet des eaux, lors de la terrible débacle qui a eu lieu dans cette vallée en 1818.

Nos voyageurs passèrent ensuite facilement le Col de Fenêtres, situé à 9213 pieds au-dessus de la mer sur le grand glacier de Chermontane, et arrivèrent dans le val Peline, non loin d'Aoste¹. Puis ils remontèrent le long de cette vallée dans

¹ Il paraît que c'est par ce passage du col de Fenêtres, que Calvin échappa à la persécution à laquelle il était exposé à Aoste. Cet événement se passa probablement vers la fin de 1535, d'après l'*Histoire littéraire de Genève* de Senebier; on érigea à Aoste, en 1541, une colonne pour en perpétuer le souvenir.

la région des glaciers ; ils traversèrent le Col de Collon , situé sur le glacier d'Arolla , à 10333 pieds au-dessus de la mer, et atteignirent Evolena , au haut du Val d'Erin en Valais. Ils rencontrèrent sur la neige , au haut du passage , le corps d'un homme mort, qui était resté là depuis le mois d'octobre de l'année précédente , où un terrible orage l'avait surpris, au moment où il se disposait à passer en Piémont avec onze personnes , dont deux autres succombèrent aussi de fatigue et de froid. Nos voyageurs prirent des mesures pour que les derniers devoirs fussent rendus à la dépouille mortelle de ce pauvre homme ; et Mr. Forbes peint d'une manière intéressante l'effet électrique de terreur religieuse que produisit , sur ses compagnons et sur lui , cette lugubre rencontre, dans ce désert de neige et de glace.

MM. Studer et Forbes se séparèrent momentanément à Evolena, en se donnant rendez-vous à Zermatt , où le premier devait se rendre par les vallées d'Anniviers et de Saint-Nicolas , et le second directement par les glaciers de Ferpècle et de Zmutt. Le chapitre 16 de l'ouvrage, consacré à ce dernier passage, est un des plus intéressants sous le rapport pittoresque et dramatique. Mr. Venetz cite ce passage, à la page 7 de son *Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse* (inséré dans la seconde partie du tome I^{er} du Recueil de la Société helvétique des Sciences naturelles), comme ayant été autrefois très-fréquenté, mais comme étant devenu si dangereux par l'augmentation des glaciers , que les chasseurs les plus hardis ont de la peine à pénétrer d'une vallée à l'autre, et qu'il ne connaissait (en 1821) qu'une seule personne qui l'eût traversé de nos jours. Mr. Forbes y a rencontré, en effet, une espèce de précipice à franchir (appelé en allemand *Bergschrund*), qui, d'après les détails qu'il en donne, p. 305, et la vignette qui y est jointe , était très-périlleux. Mais il a eu le bonheur de s'en tirer sans accident, ainsi que ses compagnons ; et il n'a pas rencontré d'autres difficultés dans sa route, qu'il a

parcourue dans un peu moins de 13 heures, depuis les derniers chalets d'Abriolla jusqu'à Zermatt, et en près de 15 h. depuis Evolena.

Mr. Forbes a donné le nom de Stockhorn du Col d'Erin au point culminant de sa route, situé au-dessus du glacier de Ferpécle, immédiatement avant le dangereux passage dont je viens de parler, qui conduit dans la partie supérieure du glacier de Zmutt. Il arriva à 9 heures du matin, ou en 7 heures depuis Evolena, à ce point culminant. Son baromètre de Bünten s'étant cassé au commencement d'août, et Mr. Studer ayant emporté le sien avec lui, ce n'est qu'avec un Sympiesomètre, ou petit baromètre de poche à colonne d'air, et avec un appareil à bouillir l'eau, qu'il a pu déterminer les hauteurs dans cette course. Il considère ce dernier moyen comme plus exact que l'autre, et comme donnant des résultats qui ne s'écartent pas plus de 50 pieds de la vérité¹. Il a obtenu par ce procédé, et par comparaison avec le baromètre observé à Genève, la hauteur du Stockhorn d'Erin de 11770 pieds au-dessus de la mer, ou de 600 pieds plus grande que celle du Col du Géant.

« De tous les points de vue que j'ai contemplés dans les Hautes-Alpes, dit-il, il n'y en a aucun que je puisse comparer avec celui qu'on a de ce lieu. La masse entière du Mont-Rose s'y détache sur l'horizon avec la plus grande netteté². Le soleil du

¹ Mr. Forbes a publié, dans le tome XV des *Transactions de la Société royale d'Edimbourg*, un mémoire sur ce sujet, dont il a paru un extrait dans le Bulletin scientifique de décembre 1843 de la *Bibl. Univ.* Il a trouvé que le point d'ébullition de l'eau descend uniformément, à toutes les hauteurs, d'un degré Fahr. pour 550 pieds d'élévation, soit d'un degré centigrade pour environ 300 mètres.

² Le pic le plus élevé du Mont-Rose, obélisque de rocher inaccessible, a, d'après le baron de Welden, 14222 pieds français de hauteur, soit 15158 pieds anglais. Il y a trois autres pics qui ne diffèrent guère de celui-là de plus de 200 pieds. Le massif du Mont-Rose présente encore du côté du midi trois sommités un peu moins élevées, et à l'ouest celles de Lyskamm, du Breithorn et du petit Mont Cervin.

matin brillait sur ces sommités couvertes de neiges éternelles, et sur la vaste surface du glacier de Zmutt situé à nos pieds. Nous étions tout près, et presque à la même distance, de trois sommités de plus de quatorze mille pieds anglais de hauteur absolue, la Dent Blanche, qui, vue ainsi sur une face escarpée du haut en bas, avait une magnifique apparence, la dent d'Erin et le Mont Cervin ; ce dernier, dont la cime est tout à fait inaccessible, et a, d'après Mr. Berchtold, 14750 pieds de hauteur, est, sans comparaison, par sa forme pyramidale, l'objet le plus frappant qu'il y ait dans les Alpes. Nous avons encore en vue deux autres sommités aussi élevées, le Weisshorn qui a 14812 pieds d'après Mr. Berchtold, et la Dent de Jazi ou Stralhorn.... Comparée à la vue qu'on a du Col du Géant, celle du Col d'Erin est plus vaste et plus sauvage, et les objets individuels en sont plus beaux et plus rapprochés : mais la perspective éloignée qu'on a de la chaîne des Alpes donne à la première un charme particulier. »

Mr. Forbes a redressé diverses erreurs que présentaient les cartes géographiques de cette région qui ont paru jusqu'à présent. Les esquisses topographiques qu'il en a dessinées et publiées dans son ouvrage serviront à la faire mieux connaître. Il y a joint aussi une petite carte, sur une échelle fort réduite, de toute la partie des Alpes dont il parle dans ce volume.

Le chapitre suivant est consacré à la description des environs de Zermatt et de la vallée de Saint-Nicolas, au haut de laquelle se trouve ce village. Mr. Forbes, qui l'a visitée en 1841, parle, entre autres choses, d'amas de blocs provenant évidemment de torrents d'eau, qu'il y a remarqués entre Saint-Nicolas et Randa, et qui lui ont paru avoir une ressemblance frappante avec les moraines des glaciers. Je cite ce fait en passant, comme tendant à faire voir qu'il ne faut pas se borner à un seul agent dans l'explication des phénomènes de ce genre.

Mr. Forbes est monté sur le Riffelberg, montagne près de Zermatt, d'où l'on a une fort belle vue sur le grand glacier du

Mont-Rose, appelé aussi glacier de Gœrner ou de Zermatt, ainsi que sur les divers pics du Mont-Rose, sur le Mont-Cervin et sur d'autres sommités très-élevées. « Cette vue, dit-il, correspond à celle qu'on a depuis le Montanvert près de Chamounix. Quoique beaucoup plus vaste, je doute que l'impression du glacier et de la chaîne au delà soit tout à fait aussi intéressante. Le Mont-Rose est bien haut et bien étendu, mais il présente trop de pointes et de masses presque d'égale hauteur ; la vue manque de concentration et de variété de forme pour la peinture. J'en excepte cependant le Mont-Cervin ou Matterhorn, situé dans une direction opposée à celle du Mont-Rose : cet obélisque inaccessible de roc, plus bas que le Mont-Blanc de moins de mille pieds, et que j'ai déjà cité comme étant, sans contredit, l'objet naturel le plus frappant que j'aie vu. » On trouve dans l'ouvrage de Mr. Forbes une vue du Mont-Cervin, dessinée par lui depuis la cime du Riffelberg. Il a constaté, avec ses deux boussoles, qu'il y avait en cette même station, qui est un espace raboteux très-étroit, un effet d'attraction locale considérable sur l'aiguille aimantée, qui y produit une déviation d'environ 65° dans la déclinaison de l'aiguille. Il croit que cela peut tenir à ce que les couches d'ardoise de cette montagne sont très-magnétiques, probablement par l'effet du fer octaèdre qu'elle contient, et dont on trouve de larges cristaux dans le voisinage, sur le glacier de Findelen.

Le chapitre 18 contient le récit de la route faite par MM. Forbes et Studer de Zermatt à Gressonay, par le Col du Mont-Cervin ou le glacier de Saint-Théodule, élevé, d'après leurs observations, comparées à celles de Genève et du Saint-Bernard, de 10938 pieds au-dessus de la mer. Le chapitre suivant est relatif aux vallées de Gressonay, Sesia et Anzasca, situées au pied du Mont-Rose, dans les états du roi de Sardaigne, et dont les parties supérieures sont habitées par une race toute germanique. Mr. Forbes a vu en cette occasion Mr. Zumstein, natif de ces vallées, et connu par ses diverses tentatives pour

atteindre la cime la plus élevée du Mont-Rose. On a donné son nom à celle sur laquelle il est parvenu le premier.

Le chapitre 20 comprend la route suivie par Mr. Forbes pour compléter le tour du Mont-Rose, depuis Gressonay jusqu'à Viège en Valais. Il a visité et dessiné avec soin sur cette route le grand glacier de Macugnaga, qui descend du Mont-Rose, et qui offre, ainsi que d'autres, la même structure et les mêmes bandes que la Mer de Glace. Il est rentré ensuite dans le Valais par le Mont-Moro, qui est le passage de la grande chaîne des Alpes le plus facile entre le Grand-Saint-Bernard et le Simplon, sans être cependant praticable actuellement pour des chevaux et des mulets, tandis qu'il était très-fréquenté dans le quinzième et le seizième siècles. La hauteur de ce Col au-dessus de la mer, trouvée par Mr. Forbes, est de 9641 pieds, et celle de Macugnaga, de 4369. On a à sa gauche, en descendant ce Col du côté de Saas, le *Saas-Grat*, chaîne de pics inaccessibles situés entre les vallées de Saas et de Saint-Nicolas, dont le point culminant a 14574 pieds anglais de hauteur au-dessus de la mer, d'après Mr. Berchtold. On traverse quatre glaciers dans ce passage, dont le dernier, le glacier d'Al-lalcin, a une structure très-développée et régulière. Une rivière provenant d'un petit lac le traverse vers le bas, comme cela a lieu pour le glacier de la Brenva. La direction des crevasses y est radiale, ou perpendiculaire à celle des bandes de structure, ainsi que cela a lieu assez généralement. Mr. Forbes a trouvé des traces verticales, ou stries, sur l'argile récemment mise à découvert par la fonte du glacier, exactement comme cela aurait eu lieu sur le roc, et dans la même direction que celles du bas du glacier de la Brenva dont j'ai parlé plus haut. C'est à la moraine de ce glacier qu'on attribue les blocs bien connus de Gabbro ou diallage, contenant de la smaragdite, qu'on trouve en assez grand nombre dans les plaines de la Suisse, et qui n'ont aucun autre lieu natal connu dans les Alpes que

les hauteurs inaccessibles du Saasgrat, où l'on ne pourra probablement jamais les aller chercher en place¹.

J'arrive maintenant au vingt-et-unième et dernier chapitre de l'ouvrage de Mr. Forbes, qui a pour titre : *Essai d'explication des principaux phénomènes des glaciers*. L'auteur y examine d'abord la théorie de la *dilatation*, présentée originairement par Scheuchzer et soutenue récemment par MM. de Charpentier et Agassiz, dans laquelle on attribue le mouvement continu des glaciers à la force d'expansion résultant de la congélation de l'eau qu'ils contiennent dans leur intérieur. Mr. Forbes conclut de ses observations, que l'eau renfermée dans un glacier est rarement au point de congélation. Il croit que cela n'a lieu qu'à la fin de l'hiver; et c'est alors que la surface supérieure du glacier reprend son niveau que les fontes de l'été avaient graduellement abaissé². Les congélations qui ont lieu, en été, sur les glaciers, n'atteignent guère que cette surface et ne s'étendent qu'à une très-petite profondeur; Mr. Forbes l'a constaté, même au haut de la Mer de Glace, à l'époque du refroidissement et de la chute de neige qui eurent lieu vers le milieu

¹ On conçoit facilement que je n'ai pu faire ici qu'une analyse bien rapide et incomplète de ce qui m'a paru offrir le plus d'intérêt dans l'ouvrage de Mr. Forbes. J'ai dû renoncer, entre autres, à parler de ce qui concerne la géologie, quoique l'auteur ait fait diverses observations de ce genre dignes de remarque. Il a constaté, par exemple, du côté de Courmayeur, l'existence de couches calcaires inclinées, plongeant au-dessous des granites de la Grande-Jorassé et du Mont-Blanc, et qui correspondent à celles du même genre qu'on observe près de Chamounix: de manière à présenter dans leur ensemble, pour une section transversale, une espèce d'éventail, dont le centre et la partie supérieure sont occupés par le granite, et dont les côtés sont formés par les couches calcaires.

² La tendance naturelle des glaciers est de s'accumuler vers leur partie inférieure et de croître en profondeur, par l'effet de la pression supérieure à laquelle leur masse est soumise. En hiver, où ils sont couverts de neige, il n'y a plus de déperdition superficielle, le gonflement du glacier, résultant de cette pression, a tout son effet; et Mr. Forbes admet qu'il peut être accru aussi par la congélation de l'eau infiltrée jusqu'à une certaine profondeur.

de septembre 1842, où le thermomètre centigrade descendit à $-6^{\circ},7$. A cette même époque, le mouvement du glacier, loin d'être accéléré, fut sensiblement retardé, comme nous l'avons vu plus haut. L'auteur passe en revue un grand nombre d'autres circonstances de ce mouvement, et en particulier la loi qu'il suit dans toute l'étendue du glacier, qui n'est point celle qu'occasionnerait l'expansion d'un corps allongé, retenu à l'une de ses extrémités et poussé le long de son lit. Il conclut de là que l'explication du mouvement des glaciers par la dilatation ne peut être soutenue d'après les faits.

Il considère ensuite la théorie du *glissement*, présentée par Gruner et adoptée par de Saussure, dans laquelle on admet que la glace rigide du glacier glisse sur son lit à la manière des corps solides, par le fait de la pente et de la pression. Mr. Forbes remarque que l'inclinaison du lit est rarement suffisante pour pouvoir rendre raison d'un pareil mouvement, que la glace des glaciers ne se meut pas comme un corps solide, et ne glisse pas uniformément dans les différentes parties de ses sections. Les changements dans le mouvement, qui ont lieu d'une saison à l'autre, ne peuvent guère non plus être expliqués de cette manière. En considérant les glaciers comme tout à fait rigides, il croit que dans le plus grand nombre des cas ils ne pourraient avoir de mouvement; et que, quand ils en auraient, ce serait un mouvement accéléré, analogue à celui qui produit les avalanches.

L'auteur reproduit alors avec plus d'étendue sa propre théorie, dont j'ai déjà parlé plus haut d'après les chapitres précédents, dans laquelle il assimile un glacier à un corps visqueux et plastique, qui est poussé sur des pentes un peu inclinées par la pression mutuelle de ses parties. Il en développe les principes et en fait l'application détaillée aux divers phénomènes qu'il a observés. Enfin, il en présente une confirmation importante, par le résultat d'expériences directes qu'il a faites sur des liquides visqueux diversement colorés, versés dans de petits ca-

naux inclinés, et qui ont présenté dans la disposition de leurs couches, après leur consolidation, une très grande analogie de structure avec les veines et les bandes observées dans les glaciers. Je dois renvoyer, pour plus de détails sur ce chapitre, à l'extrait qu'en a donné Mr. Macaire, dans le Bulletin du cahier de janvier 1844 de la *Bibl. Univ.*

Mr. Forbes a adressé dernièrement d'Italie à Mr. le professeur Jameson deux nouvelles lettres sur les glaciers, qui paraîtront probablement dans le cahier d'avril 1844 de l'*Edinb. Phil. Journ.* Il y rend compte de ses observations de 1843 sur la Mer de Glace, dont j'ai fait mention plus haut, et de celles qu'il a faites aussi sur les deux glaciers du Grindelwald. Il a trouvé le cours et la configuration de ces glaciers tels qu'ils les aurait tracés à l'avance avec une carte détaillée des localités, et il y a observé des bandes analogues à celles de la Mer de Glace. Il parle aussi, dans ces lettres, de quelques analogies qu'il a trouvées, sur le Vésuve, entre le mouvement des glaciers et celui des coulées de lave. Enfin, il répond à une objection qu'on a faite à sa théorie, et dont il avait déjà dit quelques mots dans son ouvrage : c'est que si le frottement retarde le mouvement de la glace vers les bords des glaciers, il doit produire aussi le même effet vers leur fond; il semble alors que les crevasses naturelles, ainsi que les trous artificiels qu'on pratique dans l'intérieur des glaciers, ne devraient pas conserver leur verticalité, mais s'incliner en arrière avec le temps à mesure qu'ils deviennent plus profonds, ce qui n'a pas été constaté jusqu'à présent. Mr. Forbes remarque d'abord que, dans l'une des expériences de Mr. Agassiz relative à des trous percés dans la glace (*Bibl. Univ.*, avril 1843, p. 346), on s'aperçut que le trou de sonde s'était tordu pendant la nuit, de manière qu'on ne put plus y enfiler le matin suivant l'outil en fer qui servait à le percer. Il observe ensuite que l'effet de frottement du fond d'un glacier doit être presque insensible à une profondeur qui n'est qu'une petite fraction de la hauteur totale. Pour un glacier

tel que celui de l'Aar, qui a probablement au moins 800 pieds de profondeur, on ne doit guère en voir d'effet dans la première centaine de pieds à partir de la surface supérieure. Or il paraît que les expériences délicates, qui pourraient servir à constater le degré de parallélisme du mouvement d'un glacier dans son intérieur, n'ont pas été faites jusqu'à présent à plus de 25 pieds de profondeur.

L'idée de regarder la glace des glaciers comme étant en quelque sorte dans un état de mollesse, semble d'abord en opposition directe avec les apparences et les propriétés ordinaires de cette substance. Mais Mr. le chanoine Rendu, actuellement évêque d'Annecy, avait déjà remarqué, dans un passage d'un mémoire sur la théorie des glaciers de la Savoie cité par Mr. Forbes¹, que, malgré la rigidité apparente de la glace, une foule de faits semblent faire croire que la substance des glaciers jouit d'une espèce de ductilité, qui lui permet de se modeler sur la localité qu'elle occupe, de s'amincir, de se rétrécir et de s'étendre, comme le ferait une pâte molle. Mr. Forbes admet bien, cependant, qu'il peut y avoir des moments où les glaciers sont rigides et n'ont plus que la faculté de glisser sur leur fond. Il pense aussi qu'il y a de petits glaciers, très-élevés, qui sont presque solides, ayant leur surface inférieure adhérente au roc par la gelée et se maintenant ainsi.

On peut dire, sous un certain point de vue, que la théorie de Mr. Forbes pour expliquer le mouvement des glaciers n'est que le développement de celle adoptée par de Saussure, puisqu'elles reposent l'une et l'autre sur la réunion des effets mécaniques de la pression et de la pente. Les seules différences considérables qui existent entre elles, consistent : 1° En ce que Mr. Forbes a introduit dans la sienne l'idée de la non rigidité absolue des glaciers, et l'influence de l'eau qui les pénètre et

¹ Ce mémoire, dont Mr. Forbes n'a eu connaissance qu'après avoir établi lui-même son opinion sur le sujet des glaciers, fait partie du tome X de ceux de la Société royale académique de Savoie.

en facilite beaucoup les mouvements ; 2° en ce qu'il a examiné les faits en grand détail , et en a rendu raison d'une manière beaucoup plus complète que ne l'avait fait de Saussure. Quoique les savants qui se sont occupés dans ces derniers temps de ce sujet paraissent maintenant bien d'accord sur les faits principaux, ils ne le sont pas tous encore sur l'explication qu'ils leur donnent, et chacun d'eux cherche à faire prévaloir les idées qu'il a adoptées. J'ai lieu de croire, cependant, que les vues de Mr. Forbes ont déjà trouvé faveur auprès de bon nombre de savants d'Angleterre, de France, de Suisse et d'Allemagne les plus compétents pour les apprécier. Sans doute, il reste encore bien des choses à vérifier ou à confirmer dans cette théorie, et il y a divers points de détail qui réclament des observations ultérieures, particulièrement en ce qui concerne les phénomènes qui ont lieu en hiver et au printemps, époques où les glaciers sont couverts de neige et très-difficiles à étudier. Mais il me paraît incontestable que Mr. Forbes a beaucoup avancé l'état de nos connaissances sur le sujet des glaciers. Ses recherches me semblent avoir fort contribué à établir sur ce sujet un corps de doctrine scientifique, et à en former, pour ainsi dire, une nouvelle branche de la physique mécanique de notre globe. Il a déployé tout à la fois dans ses excursions et ses travaux l'intrépidité un peu téméraire du chasseur de chamois, l'habileté de l'ingénieur expérimenté, la science et la sagacité du physicien et du naturaliste. Il a fait lui-même tous les dessins insérés dans son ouvrage, et a mis une grande activité, soit dans l'exécution de ses travaux, soit dans leur publication¹. C'est avec un seul aide, Auguste Balmat, que Mr. Forbes a exécuté toutes ses opérations sur la Mer de Glace. Il rend un juste hommage aux qualités intellectuelles et morales de ce digne successeur des premiers Balmat, qui est

¹ On peut se procurer, à Genève, l'ouvrage original de Mr. Forbes, à la librairie Cherbuliez.

actuellement syndic de la commune de Chamounix. Il paie aussi un tribut de remerciements à Mr. Lanvers, curé de Chamounix, pour la bienveillance qu'il lui a montrée.

L'ouvrage de Mr. Forbes porte l'empreinte du goût et du sentiment avec lesquels l'auteur apprécie les beautés de la nature; il n'y a pas négligé les occasions de jeter en passant quelques fleurs sur sa route, et d'entrer dans quelques détails non scientifiques, propres à mettre de la variété dans ses récits et à leur donner de l'intérêt pour une nombreuse classe de lecteurs. Je citerai, en fait de fragments de ce genre, le morceau suivant, qui sert comme d'épilogue à l'ouvrage, et où l'on trouve des idées élevées, présentées sous une forme emblématique.

« Les poètes et les philosophes se sont plu à comparer le cours de la vie humaine à celui d'une rivière : peut-être pourrait-on l'assimiler, avec plus de justesse encore, à celui d'un glacier. Il descend du ciel par son origine, mais il reçoit son moule et sa conformation dans le sein des montagnes d'où il sort. D'abord tendre et ductile, il acquiert un caractère et une fermeté propres, à mesure qu'une inévitable destinée le pousse en avant dans sa carrière. Contraint par les obstacles et les inégalités de la route qui lui est prescrite, contenu entre des barrières infranchissables qui limitent ses mouvements, il cède avec peine à son destin ; il avance cependant, tout en portant les traces des luttes qu'il a eues à soutenir contre les obstacles qui se sont opposés à lui. Quoiqu'il diminue dans cet intervalle, il est renouvelé par un pouvoir invisible, il s'évapore sans se détruire. Il porte à sa surface les dépouilles qu'il s'est appropriées sur sa route, et qui présentent souvent de pesantes masses sans beauté ni valeur, mais où brillent quelquefois des pierres et des métaux précieux. Ayant, enfin, atteint sa plus grande largeur et tout son développement, il commande l'admiration par sa beauté et sa puissance. Il perd, cependant, alors plus qu'il ne reçoit, et les sources vitales commencent à lui manquer. Il se courbe dans une attitude de décrépitude, laisse tomber un à

un les fardeaux qu'il a portés orgueilleusement ; sa dissolution est inévitable. Mais à mesure qu'il se résout dans ses éléments, il prend tout à la fois une force nouvelle, plus vive et plus dégagée. Du sein de la destruction, on voit apparaître une autre substance, qui est, cependant, au fond toujours la même. Une source abondante et rapide franchit aisément tous les obstacles, traverse à la hâte de fertiles vallées, pour atteindre une existence plus libre, et se réunir finalement à un Océan sans limites et sans fin. »

Il est difficile d'étudier un peu le sujet des glaciers, sans être frappé de la manière dont s'y déploient la puissance et la sagesse du Créateur, pour l'alimentation des cours d'eau qui jouent un rôle si important dans l'économie et l'industrie humaines. Ces vues augmentent beaucoup l'intérêt attaché à l'examen de ces phénomènes et en agrandissent considérablement la portée. On peut répéter, à ce sujet, ce que disait, avec beaucoup de justesse, Mr. Michel Chevalier, dans un article inséré dans le *Journal des Débats* du 10 janvier de cette année, à l'occasion de la grande carte géologique de France construite par MM. Dufrenoy et Elie de Beaumont : « Les glaciers, où sont emmagasinées les neiges éternelles qui se renouvellent tous les ans..... ces réservoirs inépuisables, miraculeusement suspendus aux flancs des montagnes, sont au nombre des plus étonnantes harmonies de la nature. Auprès d'eux, que deviennent les jets d'eau des jardins aériens de Sémiramis, dont notre orgueil a fait une des merveilles du monde ! »

Alfred GAUTIER.



Fig. 1.



Fig 2.

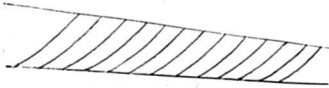


Fig. 4

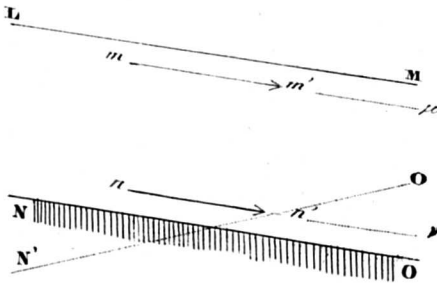


Fig. 6.

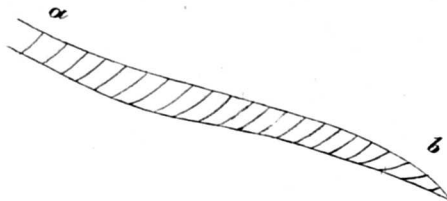


PLANCHE I.

Fig 5.

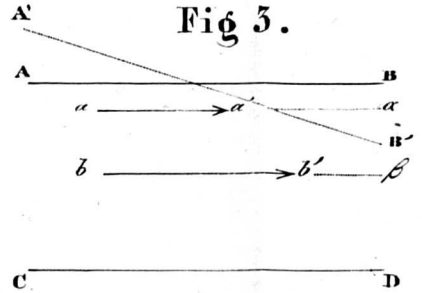
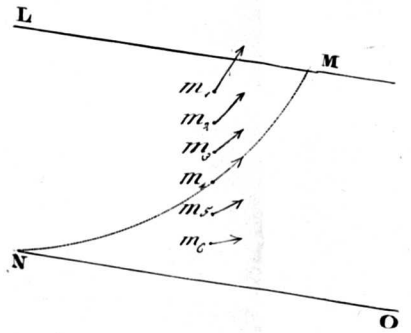


Fig. 5.



THÉORIE

DE LA

STRUCTURE VEINÉE DE LA GLACE.



Tré de la Bibliothèque Universelle de Genève.

(Juin 1844.)

SUR LA THÉORIE DE LA STRUCTURE VEINÉE DE LA GLACE.

Septième lettre sur les glaciers adressée au Révér. docteur Whewell, à Cambridge, par Mr. le professeur FORBES¹.

Salerne, 18 mai 1844.

..... Vous objectez que les fissures ou veines du glacier, qui sont dues à la rupture opérée entre ses parties par le frottement considérable qu'il éprouve, devraient toutes être parallèles aux côtés et à la base de la vallée dans laquelle il est encaissé, au lieu d'être inclinées vers le centre, du dehors en dedans et en avant, comme le montre la fig. 1², et de la base en haut et en avant comme dans la fig. 2. — Vous verrez que j'ai cherché à expliquer cela dans le dernier chapitre de mes Voyages; mais n'ayant pas l'ouvrage sous la main, je ne puis vous citer les passages spéciaux qui s'y rapportent. Le point en question est certainement la portion la plus difficile de la théorie des glaciers et celle qui se présente le moins clairement à l'esprit; mais, comme je n'ai aucun doute sur la vérité de l'explication que je propose, cette difficulté, une fois résolue, aura une influence d'autant plus grande pour faire obtenir à cette théorie l'adhésion des personnes accoutumées à la solution théorique des questions de mécanique. Il est difficile de rendre l'explication facile à comprendre pour les lecteurs ordinaires, et c'est là le motif qui m'a engagé à en traiter peut-être d'une manière trop brève, dans le chapitre auquel j'ai fait allusion.

¹ Voyez *Bibl. Univ.*, décembre 1842 (vol. XLII), p. 338, et janvier 1844 (vol. XLIX), p. 170).

² Voyez la planche ci-joint.

Vous admettez, sans doute, aisément que si je parviens à démontrer qu'il existe des raisons spéciales et distinctes pour chacune des deux structures représentées dans les fig. 1 et 2, dont la première offre un plan et la seconde une section du glacier, le résultat devra être la structure en forme de coquille ou de cuiller que j'ai montré exister dans les glaciers.

1° La séparation violente des particules du glacier due au frottement sur les côtés est très-près d'être parallèle à ses flancs, mais ne l'est pas entièrement. La raison en est que les lignes de plus grande tension sont déterminées non pas seulement par la force de la pesanteur qui précipite les particules de glace en avant, mais aussi en partie par une attraction vers le centre de la masse descendante, due à ce que c'est là que se trouve la plus grande vitesse. Soit AB (fig. 3) le côté d'un glacier, et supposons que, pendant que la particule a située près du bord se rend en a' , la particule b située au centre arrive en b' : il devra en résulter, en raison de la force de cohésion qui réunit les particules a et b , une tension oblique à l'axe du glacier. Considérez le sujet sous ce point de vue : le mouvement du courant de glace (envisagé seulement ici en ce qui concerne sa surface) s'effectue en opposition à une résistance variable ; la ligne de particules dans la direction $a\alpha$ présente une plus grande force de résistance au mouvement de la particule a que la ligne de particules $b\beta$ n'en offre au mouvement de b . Cela est dû à ce que le frottement latéral, qui tend à les retarder l'une et l'autre, agit d'une manière plus puissante sur la première que sur la seconde. En conséquence, la paroi virtuelle du glacier, soit le lieu de la résistance la plus complète, ne suivra pas la ligne AB , mais elle sera inclinée, en ce qui concerne la particule a par exemple, selon la ligne $A'B'$.

Si mon raisonnement a besoin d'être appuyé par des expériences, c'est facile à obtenir. Dans une note annexée à mon dernier chapitre, j'ai décrit une expérience dans laquelle on répand de la poussière sur un courant visqueux en mouvement, et notre

ami Mr. Heath a maintenant entre ses mains un échantillon du résultat qui montre les lignes de séparation courant dans la direction que j'ai établie¹. Le même effet peut s'observer d'une manière très-remarquable sur un cours d'eau qui présente une surface passablement de niveau, par exemple un canal de moulin. Quoique le mouvement de l'eau, comme le démontrent les corps que l'on fait flotter à sa surface, soit dans une direction à peu près parallèle aux côtés et même complètement parallèle pour de petites vitesses, néanmoins la différence de vitesse entre les côtés et le centre du courant crée une ride ou une rupture moléculaire qui est inclinée en avant, des côtés vers le centre du courant, et qui forme avec son axe un angle dont la valeur dépend de la grandeur de la différence qui existe entre la vitesse latérale et la vitesse centrale. La structure veinée de la glace correspond à cette ride de l'eau ; c'est une discontinuité moléculaire dont la mesure n'est pas comparable à la vitesse actuelle de la glace, et par conséquent le mouvement général du glacier, tel qu'il est marqué par ses moraines, reste sensiblement parallèle à ses parois.

J'ai récemment observé une analogie complète dans la structure superficielle d'un courant de lave de l'Etna, qui, près de ses bords, se divisait en bandes longitudinales inclinées vers le centre du courant, où la vitesse était le plus forte.

2° Si je me suis expliqué clairement en ce qui concerne les fissures produites par les frottements latéraux, il y aura peu de difficulté à appliquer le même raisonnement à l'existence du plongement frontal représenté dans la fig. 2. Lorsqu'un fluide ou une matière demi-fluide sont très-visqueux, il existe une grande résistance à leur mouvement progressif dans la direction vers laquelle les sollicitent la pesanteur et la pente du lit qui les contient.

Soient *LM* (fig. 4) représentant la surface du glacier, *NO* le

¹ Mr. le professeur Studer, à Berne, possède aussi maintenant une série de ces modèles.

fond du lit : la force résultante est ordinairement supposée agir sur les particules mn dans les directions mm' , nn' parallèles au fond du glacier. Mais si nous réfléchissons qu'en raison de la longueur du glacier et de la ténacité ou consistance de sa masse, la résistance des particules n est énorme, le plan de résistance absolue NO sera virtuellement détourné dans la direction $N'O'$, et les particules tendront à être poussées *en avant et en haut* ce qui devra nécessairement produire le plongement frontal.

3° Mais il existe dans le plan vertical une particularité qui n'existait pas pour le plan horizontal. Dans le cas que nous avons considéré le premier, la structure veinée se présente presque entièrement dans le voisinage des parois du glacier et se perd vers le centre, parce qu'elle est due à l'influence du frottement qui varie avec la distance de la paroi ; aussi la partie centrale $efgh$ (fig. 1), recevant un mouvement presque uniforme, cesse de présenter un arrangement linéaire. Dans le second cas, au contraire, la ligne courbe est complète du fond à la surface, en raison de l'influence du lit combinée à la résistance de la masse du glacier dans sa partie frontale, influence qui doit s'exercer jusqu'à la surface, comme un peu d'attention suffit pour le démontrer. En effet, reprenons la construction de la fig. 4. Puisque toutes les particules m', m'' etc. (fig. 5) contenues dans la série $m' \dots m^6$ sont soumises à l'action d'une force de la nature de celle qu'exerce une pression hydrostatique provenant d'une grande hauteur, il en résulte que chacune d'elles a la tendance de se mouvoir en avant dans la direction où la pression est le plus forte. Or, il est clair qu'en raison du rapport existant entre le poids des particules supérieures et la résistance frontale, rapport qui doit aller en diminuant de bas en haut, la direction dans laquelle les particules tendront à glisser les unes sur les autres ou à produire des fissures se rapprochera d'une ligne verticale à la surface, et dans l'ensemble tendra à former la ligne de disjonction Nm^4M .

4° En considérant le glacier sur divers points de sa longueur, il devient évident, à l'aide d'un raisonnement semblable, que près de la région du névé a (fig. 6), le plongement frontal sera presque vertical, parce que là la résistance est énorme, tandis qu'à l'extrémité inférieure b , où elle tend à devenir insensible, les fissures deviendront presque parallèles au lit du glacier.

Il est presque inutile d'ajouter que le mouvement relatif des particules du glacier les unes sur les autres, qui produit la rupture, ne doit pas être confondu avec leur mouvement absolu dans le glacier. Je dois toutefois faire observer que comme la tendance de chaque particule de glace doit être, sous l'influence de la pression hydrostatique, de parcourir dans le sein du glacier toute la courbe Nm^4M (fig. 5), cela peut expliquer quelques faits que présente l'histoire des glaciers. Ainsi on pourrait, de cette manière, rendre raison des apparences réelles ou supposées qui ont fait admettre dans la glace une tendance à rejeter à la surface les corps étrangers engagés dans son intérieur; ainsi on expliquerait soit la convexité que présente en tout temps la surface du glacier, soit le renflement qu'on y observe spécialement pendant l'hiver.

Enfin la destruction de la surface du glacier par la fusion de la glace, qui s'opère pendant sa descente des régions du névé à son extrémité inférieure, doit tendre continuellement à donner aux veines superficielles la forme allongée qu'on y observe en coupant obliquement les fissures intérieures qui les produisent.

Je suis, etc.



