Zeitschrift: Bulletins des séances de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 7 (1860-1863)

Heft: 49

Artikel: Quelques réflexions déduites de l'observation vulgaire, sur la question des glaciers

Autor: La Harpe, J. de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-253528

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

QUELQUES RÉFLEXIONS

déduites de l'observation vulgaire,

SUR LA QUESTION DES GLACIERS

Par J. DELAHARPE, doct.-méd.

(Séances des 18 décembre 1861 et 19 février 1862.)

On a beaucoup écrit et beaucoup disserté sur les glaciers depuis que l'ouvrage classique de M. de Charpentier vint attirer sur eux l'attention générale. (Essai sur les glaciers, etc., 1841.) Des savants distingués, des observateurs du premier mérite, ont pris part aux discussions et ont entrepris des recherches. Il peut dès lors sembler qu'il n'y ait plus lieu à s'entretenir de pareil sujet, dès que l'on répugne à éterniser des débats sans issue, ou à remanier des matériaux épuisés par la critique. Faudra-t-il donc abandonner ces questions aux solutions fortuites et attendre que des révélations imprévues viennent jeter un jour décisif dans le pêle-mêle des opinions contradictoires? Ou bien reprendra-t-on un à un, avec patience, les faits cités pour les soumettre à une nouvelle épuration? J'ai de la peine à accepter la première alternative; je n'ai ni le temps ni le courage de subir la seconde. On cherche d'ailleurs souvent fort loin ce qui se trouve sous nos pas, et la simplicité d'une solution la rend parfois suspecte aux habiles. Dans les sciences physiques, un engin gradué jouit trop souvent d'un privilége abusif, comme s'il était seul capable de livrer des résultats positifs, ou qu'une phrase chiffrée fût indispensable pour leur expression. Qui oserait parler météorologie sans accompagnement de baromètre, de thermomètre, d'hygromètre et de psychromètre? Devrons-nous donc renoncer à tout jamais à l'observation banale, à l'usage primitif de nos cinq sens, et bannir du sanctuaire le gros bon sens du commun des mortels?

Et, pour rester dans la question, ne serait-il pas possible que ces montagnards, élevés tout à côté des glaciers, qui chaque jour les observent ou les parcourent, qui les voient croître et décroître, se former et se déformer, se dresser, s'ébranler et s'abîmer..... ne serait-il pas possible, dis-je, que ces hommes incultes, mais généralement fins observateurs, possédassent sur ce point des notions

plus justes que les plus habiles expérimentateurs de nos laboratoires? — N'oublions pas qu'un montagnard de l'Entremont eut la première idée du transport des blocs erratiques par les glaciers. (De Charpentier, loc. cit., p. v et 241). Si nos ingénieurs de chemins de fer eussent été moins convaincus de la toute-puissance de leurs instruments et de l'étendue de leurs connaissances, ils se fussent épargnés plus d'une bévue en accueillant les avis de nos paysans.

L'étude du mouvement des glaciers qui a particulièrement préoccupé nos savants, ne peut être isolée de celle de leur formation. Tout glacier forme un ensemble, je dirais presque un organisme, une masse en perpétuel état de composition et de décomposition, dont chaque portion est liée à l'ensemble. Le marin parle souvent de son vaisseau comme d'autres de leur cheval ou de la dame de leurs pensées, tant ses allures et ses mouvements lui rappellent ceux de la vie. Quelque chose de pareil se passe pour le glacier. De loin image de la mort, de près apparence de la vie. Ecoutez ces bruits ondoyants qui le parcourent, ces craquements sourds, le murmure balancé des eaux qui l'arrosent, son silence interrompu à chaque instant par la chûte de quelque objet ou le rare grondement de la crevasse; une vie cachée ne semble-t-elle pas l'animer? Noter tous les faits isolément ne suffit donc pas à cette étude; il faut tenir compte de l'ensemble des phénomènes et de leurs relations complexes.

Que l'on veuille bien dès l'abord me dispenser de faire de la pédagogie. Je m'adresse à des personnes qui savent ce que c'est qu'un névé, un glacier, une crevasse, une moraine frontale ou latérale; qui ont vu comment un glacier se meut; qui n'ignorent pas qu'à leur progression se rattachent plusieurs phénomènes intéressants; qui enfin ont tout au moins ouï parler des théories proposées pour expliquer ce mouvement et ses effets. Si ces personnes sont familiarisées avec les discussions soulevées par ces questions, je leur demanderai, avec M. le prof^r Mousson (Jahresschrift der naturhistor. Gesellschaft von Zürich. III ann., 3 cah.) d'accorder assez peu d'attention aux expériences faites en petit et aux déductions qu'on en a tirées. Il s'agit ici de masses et non de fragments, d'immenses mouvements d'ensemble.

Je n'ai d'ailleurs pas l'intention de traiter sous tous ses points de vue le sujet qui m'occupe, encore moins de le faire dans les formes didactiques. Les jalons principaux une fois posés et admis, chacun tracera aisément le plan qui les relie.

Commençons par les *névés*. Dans le fait les masses de neige accumulées durant l'hiver dans nos vallons, ne diffèrent des névés que par leur courte durée et le peu d'épaisseur des monceaux. A tous autres égards la neige des névés ne se comporte pas autrement que ne le ferait celle de nos vallons dans des conditions semblables. Le

fait de disparaître toutes les années ou de persister un temps indéfini sur le même point, ne leur donne pas de caractères particuliers.

Je ne vois pas même comment on distinguerait un névé de la neige accumulée par les avalanches; celle-ci sans doute est ordinairement salie par de la terre et mêlée de pierres et de débris végétaux; sa densité est plus grande par l'effet de la pression subie; mais c'est là tout. Il y a d'ailleurs tel haut névé qui est formé et entretenu par des avalanches périodiques. Les neiges des avalanches ne se comportent pas autrement que les névés.

On distingue des hauts et des bas névés; distinction arbitraire. Pourquoi n'y aurait-il pas alors des névés moyens? La formation, la constitution et la marche des uns et des autres est la même; l'été est trop court pour faire disparaître les hauts névés, les moyens fondent ou ne fondent pas suivant la chaleur de l'été; les bas névés disparaissent chaque année.

On a fait jouer aux névés qui couronnent les glaciers ou aboutissent à leur partie supérieure un rôle passablement imaginaire. On a prétendu qu'ils étaient en quelque sorte les sources des glaciers, les racines d'où le tronc tirait sa puissance. Nul doute qu'un grand nombre de hauts névés, situés sur des plans fort inclinés, ne déversent par avalanches, la majeure partie de leur neige sur le glacier placé au-dessous d'eux et qu'ils ne contribuent de la sorte à leur accroissement. Il est même certains glaciers situés au bas d'un long couloir, par lequel chaque hiver les neiges se précipitent, qui ne sont alimentés que par ces neiges-là et cesseraient d'exister dès que les avalanches n'auraient plus lieu. On peut citer comme exemple de pareils glaciers celui qui existe au pied du flanc oriental de la Dent du Midi.

En retour il est des glaciers encaissés qui ont de forts petits névés supérieurs quoique leur masse soit respectable. Les deux glaciers de Plan-Névé, surtout celui du nord, celui de Paneyrossaz, sont dans ce cas. Mais comment expliquer par des névés l'existence des glaciers situés sur les plateaux et les cols. Le glacier de Champfleuron, qui couronne de sa masse puissante et presque horizontale le sommet du massif des Diablerets, dans une étendue de trois lieues sur une et demie, n'est dominé par aucun névé. Cet énorme champ de glace n'est alimenté que par la neige qui tombe sur lui.

D'ailleurs les hauts névés lors même qu'ils recouvrent des champs de glace assez étendus, mais d'une faible épaisseur, n'ont que peu ou point de mouvement, aussi les voit-on chaque année, au moment que la fonte s'accélère, se séparer des glaciers contigus par de larges et profondes crevasses. Le glacier s'affaisse, se met en mouvement, mais le névé reste en place immobile sur le flanc de la montagne. Tant que le névé n'a pas atteint une épaisseur considérable et qu'il ne s'est pas formé au-dessous de lui une masse de glace suffisante

pour obéir à l'influence de la pesanteur, l'immobilité persiste et le névé ne se crevasse pas.

Si l'on examine, durant l'été, un amas un peu considérable de neige, situé à une hauteur de 5000 pieds au moins, on le trouve entièrement formé de neige grenue, à gros grains; la nuit pour l'ordinaire, il gèle, mais à sa surface seulement; en tous cas il se dessèche par la cessation de la fusion. Le jour il se ramollit et, si la température le permet, il s'humecte par la reprise de cette dernière.

Le terrain sur lequel la neige repose n'est jamais gelé quoique la surface de la neige puisse l'être notablement; le gel ne parvient pas à durcir la neige au-delà de quelques pouces de profondeur. Même durant l'hiver sur nos Alpes moyennes, le sol subjacent à la neige ne gèle point, pour le préserver du gel il suffit qu'il soit recouvert de 3 à 4 pouces de neige.

Dans les régions très élevées (10 à 15,000′) le gel peut sans doute pénétrer plus profondément par suite d'un froid très vif et prolongé et de la chute de neiges à une température bien au-dessous de zéro; mais cette profondeur atteignît-elle quelques mètres, que sera-t-elle encore pour des masses dont l'épaisseur se mesure par centaines de mètres.

Voici ce que m'écrit un correspondant qui habite le Jura, où le froid de l'hiver est généralement plus intense que dans les Alpes.

« Je me suis informé d'une manière aussi exacte que possible de ce qui a lieu relativement au gel. On m'a affirmé que 3 pouces de neige suffisent pour empêcher le sol de geler. Si donc le sol n'est pas gelé quand la neige tombe et qu'il survienne *au moins* 3 pouces de celle-ci, puis du gel, le sol ne gèle pas. Deux des personnes que j'ai consultées prétendent même que sous une certaine épaisseur de neige, le sol gelé, dégèle. Celui qui creuse les fosses du cimetière n'est cependant pas de cet avis. »

Les informations que j'ai prises dans les Alpes m'ont procuré la même réponse. — En Sibérie, dans les grands froids, les paysans surpris par la nuit, se préservent du gel durant leur sommeil, en se couchant sous la neige.

La végétation nous tient un langage semblable. Beaucoup de plantes de nos Alpes (l'Auricule, le Rhododendron, les Saxifrages, la Grassette, quelques Violettes, les Soldanelles, etc.,) ne se conservent en hiver dans nos jardins qu'en les garantissant du froid. Un gel de quelques degrés les fait périr. Elles supportent déjà fort mal les pluies froides de l'arrière saison, si la neige ne vient pas les recouvrir de bonne heure. C'est même à cause de cela que ces plantes, fort communes au-delà d'une certaine altitude (3 à 4000′), ne parviennent pas à se perpétuer au-dessous; il y fait trop froid pour elles en hiver. Elles ont besoin d'être recouvertes de bonne heure en automne; la neige les garantit du gel pendant les deux tiers de

l'année environ. — La Soldanelle, l'Ornithogalle, le Safran, fleurissent aussitôt que le sol est dépouillé de neige, et avant qu'il ait eu le temps de se revêtir de verdure ; s'il eût été gelé pendant l'hiver, la végétation qui le recouvre promptement ne serait pas si hâtive, ainsi que le prouve ce qui se passe chaque printemps dans nos vergers.

Les semailles se font en général dans nos montagnes aussi tard que possible, non que le grain craigne le gel; mais afin que la jeune plante trop tôt développée ne pourrisse pas par un long séjour sous la neige. Si le sol était gelé sous la neige le blé en souffrirait fort peu; les paysans du nord de l'Europe le savent très bien.

Les mulots, très nombreux sur les Alpes, nous fournissent des renseignements identiques. Partout où la neige séjourne on voit ces animaux se réfugier sous son abri et creuser leurs terriers à fleur terre, immédiatement au-dessous de la neige, soit parce que la terre n'y est pas gelée, soit aussi que les racines dont ils se nourrissent s'y trouvent intactes et succulentes.

Le fait de la non congélation du sol subjacent à la neige dans les Alpes reconnu, comment se fait-il que la transformation de celle-ci en glace se montre sur la couche inférieure des *nevés* et que la glace se forme, non à leur partie supérieure, qui seule gèle, mais au contraire dans celle qui repose immédiatement sur le sol? Ne doit-on pas en conclure que le froid est plus intense à la base de la masse de neige et que par conséquent le sol subjacent est habituellement gelé?.... Avant de nous prononcer, examinons les circonstances dans lesquelles cette congélation se produit.

Dès qu'un *névé*, quelle que soit sa puissance, repose sur un sol rocailleux, très perméable, ou sur une pente fortement inclinée, il n'offre pas de couche de glace à sa base. Dans ce dernier cas il ne s'en forme, s'il en existe, qu'à sa partie la plus déclive vers laquelle se dirige l'écoulement des infiltrations. — Lorsqu'au contraire le névé repose sur le roc, sur la terre compacte, sur des schistes argileux en décomposition, ou sur le gazon et qu'en même temps le sol peu incliné ne favorise pas l'écoulement des eaux de fusion ou de pluie, on peut être assuré qu'il se forme de la glace dans ses couches inférieures. L'épaisseur de cette glace variera suivant l'état du sol, l'exposition solaire, la hauteur barométrique, la fréquence des pluies et la rapidité de la fusion.

Il est surtout une circonstance qui favorise singulièrement la formation de la glace dans les névés, c'est leur arrosement constant par l'eau. Pour s'en convaincre, il faut examiner les amas de neige formés au pied des parois de rochers qui suintent. Montez, par exemple, dans le mois de juillet tandis que les hauts névés fondent, au pied méridional de la Dent de Morcles, à 8000 pieds de hauteur. Là se forment chaque année, des amas pyramidaux de neige situés immédiatement au pied d'une paroi verticale et en partie engagés

sous elle à la faveur de l'excavation de la roche. Ces cônes paraissent entièrement composés de neige en fusion, cependant si l'on essaye d'y enfoncer le bâton ou de marcher sur eux on est surpris de les trouver transformés en glace dès la profondeur de quelques pouces. On pourrait croire que ces amas de glace recouverts de neige sont autant de petits glaciers permanents; il n'en est rien; chaque année ils disparaissent entièrement. Leur transformation en glace est évidemment due à l'arrosement des eaux qui suintent le long du rocher et tombent sur eux*.

Pour se convaincre de la vérité de l'explication, il suffit de comparer ces petits névés glacés avec ceux du voisinage qui ne sont pas dans les mêmes conditions et surtout avec ceux qui sont moins exposés qu'eux au soleil. Ces derniers n'offrent pas trace de glace dans leur intérieur quoique soumis à des causes de dégel moins actives.

Je citerai des faits analogues en parlant de la transformation de la neige en glace, à la surface des glaciers. Ceux que je viens d'énumérer suffisent, je pense, à prouver que ce n'est pas le *froid*, la *congélation*, qui transforme la neige en glace dans les névés, mais que c'est au contraire le DÉGEL SEUL, *l'imbibition de l'eau*. Je dis le dégel seul, et non, comme on l'a dit, le dégel suivi de la congélation de l'eau imbibée.

Lorsqu'on a prétendu que le froid faisait passer, sur nos Alpes, la neige, de l'état pulvérulent à l'état compacte, on a oublié ce que savent tous nos gamins sur ce sujet**. En hiver plus le gel est vif

* Ces névés, et ce que nous avons dit jusqu'ici, pourraient prouver, au besoin, que la fonte des neiges sur nos Alpes, loin d'être en majeure partie le résultat de l'échauffement du sol, ainsi que l'affirme M. Martins (Album de Combe-Varin, pag. 82), s'opère au contraire très exceptionnellement sous cette influence. Exposés en plein midi, aux rayons perpendiculaires du soleil durant le jour entier, à 8000 pieds de hauteur, étendus sur un talus formé de menus débris de schistes noirs, abrités par une paroi au sommet d'un immense précipice incessamment chauffé par le soleil, les bords amincis de ces amas de neige restent cependant *appliqués sur le sol*. S'ils se fondaient par l'effet de la chaleur du sol, ces bords resteraient d'autant plus aisément élevés au-dessus du sol qu'ils sont entièrement transformés en glace. Ce dernier fait, sur lequel s'appuie M. Martins, est d'ailleurs relativement rare. Je ne l'ai observé que sur les bords des névés étendus sur un lit de cailloux ou de gravier très perméable à l'air. Partout où le névé repose sur un sol qui retient les eaux de fonte il n'en est point ainsi. Le lit du névé incessamment humecté reste à la température de la glace fondante. La nuit, les bords de ce lit gèlent quelque peu. Dans le jour la forte évaporation jointe à la fonte de la neige, le maintiennent à cette même température.

** Dans l'été de 1861, au mois de juillet, j'ai pu observer les effets du gel sur la neige soustraite à l'action du soleil et de la pluie. Dans une sorte de caverne peu profonde, dont le sol était fort incliné et qui était surmontée par un large avant-toit de rochers, la neige chassée par les vents s'était accumulée au point de remplir l'excavation. Celle-ci tournée au nord et envi-

plus il est difficile de mouler la neige en pelottes; au-dessous de 3 à 4° environ, cela n'est pas possible, à moins de réchauffer de ses mains la neige que l'on malaxe : elle est trop farineuse, disent alors les enfants. Le dégel survient-il, aussitôt cette même neige s'aglutine sous la main et se tasse spontanément sur le sol par son propre poids. Prenez de la neige remplie d'eau, vous en ferez des pelottes aussi dures que la glace en les comprimant. Une pelotte de neige trop poreuse parce qu'elle est trop froide encore et partant trop sèche, se transforme à l'instant en boule de glace dès qu'on la trempe dans une fontaine. Nos enfants connaissent aussi cette expérience-là.

Que signifie ce phénomène ? si ce n'est que la neige dès qu'elle est à son point de fusion ne passe pas brusquement de l'état solide absolu à l'état liquide; qu'en se fondant elle se comporte comme les autres corps solides, les métaux, les résines par exemple; qu'avant de revêtir l'état de fluidité elle se ramollit et devient ductile; qu'enfin, dans cet état intermédiaire entre la fluidité et la solidité elle a, comme les métaux encore, la propriété de s'agglutiner, de se *souder*, si ce n'est avec d'autres corps solides, du moins avec elle-même.

Que l'on appelle ce phénomène *plasticité, viscosité*, peu importe, pourvu que l'on s'entende. Pour les métaux on se sert des expressions ductilité, malléabilité, flexibilité, pourquoi en chercher d'autres pour la glace ? Qu'il soit seulement bien entendu que pour la ductilité du fer par exemple comparée à celle de la glace, il existe une échelle fort étendue; et que s'il fallait rapporter les degrés de cette échelle à ceux du thermomètre centigrade, on devrait se servir pour la glace de *centièmes* de degrés, là où, pour le fer, on ferait usage de *centaines*. Qu'importe le nombre et l'amplitude des degrés thermométriques parcourus si le phénomène est au fond identique dans les deux corps. M. le professeur Mousson (loc. cit., page 273) admet aussi qu'il n'y a pas de différence essentielle entre la *viscosité* d'un liquide et la ductilité d'un métal. La différence n'est, dit-il, qu'une affaire de degrés.

ronnée de parois à pic, ne pouvait pas recevoir les rayons du soleil; la pluie ne pouvait y arriver que poussée par le vent. La caverne était située à près de 8000 pieds d'élévation et au-dessus d'un glacier. Peu de jours avant mon passage (le temps était sec et chaud depuis plusieurs jours) une partie de la masse de neige s'était détachée et précipitée sur le glacier. Cette neige avait un aspect tout différent de celle des névés voisins La masse était excessivement sèche, spongieuse et légère, son grain était très fin, sa résistance prononcée ; le pied ne pouvait en aucune façon la comprimer, il ne l'entamait que difficilement en la réduisant en poussière. Tel serait l'arpect de nos hauts névés, si le soleil et la pluie n'avaient aucune action snr eux et si le gel seul les transformait en masse solide. A coup sûr ils ne passeraient *jamais à l'état de glacier*.

Revenons au passage spontané de la glace de l'état pulvérulent à l'état solide. S'il est une fois bien acquis que ce passage n'est point dû, comme on l'a cru, à l'action du froid, ni de la seule pression, mais qu'il est au contraire la conséquence d'un premier degré de fusion; s'il est démontré que les monceaux de neige passent à l'état de glace non point de haut en bas ou de dehors en dedans, comme on l'a cru, mais de bas en haut et de dedans en dehors, il devient aisé de se rendre compte de la formation des glaciers au moyen de la neige.

Observons d'abord que les glaciers moins élevés, se forment dans des vallons, dans des cirques, ou au pied de hautes parois de montagnes, tout autant de lieux où les neiges s'amoncellent de préférence. Notons encore que les glaciers en plaine ou en dôme, qui couvrent les cols, les croupes ou les arêtes des hautes montagnes, ne peuvent se former qu'à la hauteur où les neiges ne fondent jamais complétement en été.

Dans le premier cas la disposition des lieux favorise, durant l'hiver, l'amoncellement des neiges, dans le second l'été est trop court pour les faire disparaître, quoiqu'elles ne soient pas amoncelées par les vents ou les avalanches. Ces neiges au moment où se formèrent les glaciers furent pénétrées par les eaux des pluies et par celles de leur fonte et se transformèrent un jour en glace à la faveur de leur ramollissement ou de leur demi-fusion. L'hiver survint qui suspendit la fonte avant que la masse eût disparu, dès lors le glacier était formé. Sa présence favorisait la répétition du même phénomène pour l'année suivante, non que le glacier constituât, au-dessous des neiges qui le recouvraient, un foyer de froid; mais parce qu'il leur offrait désormais un plancher peu perméable sur lequel les neiges pénétrées d'eau se transformaient plus aisément en glace qu'elles ne l'eussent fait sur le sol. D'année en année la répétition du même phénomène produisit ces masses de glace qui nous étonnent aujourd'hui et qui s'accroîtraient indéfiniment si, grâce à leur ductilité, elles ne descendaient pas dans les vallées où la température permet à la glace de se fondre en entier chaque année.

Les masses de neige qui recouvrent les glaciers chaque hiver sont pour eux un vêtement épais, un abri qui les *garantit du froid* et les conserve à la température de la glace fondante à peu près comme nous conservons la glace sous une couche de tan, de charbon ou de paille. Chaque nouvelle couche de neige augmente l'épaisseur de l'abri et conserve l'uniformité de température. S'il vient à pleuvoir l'eau s'infiltre dans la masse et ne s'y gèle point comme on l'imagine, mais elle y commence la transformation de la neige en glace en agglutinant les particules de neige. De là l'aspect grenu de la glace qui a essuié les pluies ou l'action liquéfiante du soleil. Plus tard les grains s'aglutinant formeront la glace massive.

Quelle action peut avoir sur la neige ou la glace la température du bassin sur lequel il repose? Nous venons de voir que le froid ne l'atteint pas en hiver parce que de fort bonne heure il est recouvert par les neiges; que la pluie et la chaleur atmosphérique ne l'atteignent que superficiellement en été; transforment en glace une partie des neiges qui le recouvrent, et dissolvent l'autre. La chaleur du sol aurait-elle un effet sur lui? Cet effet ne saurait être nul puisque le glacier fournit de l'eau toute l'année. On ne peut admettre qu'au printemps, alors que depuis des mois le glacier est recouvert et que la fusion des neiges supérieures n'a pas commencé, les torrents des glaciers proviennent uniquement de l'égoût, ou en d'autres termes que le glacier soit encore une éponge qui peu à peu laisse écouler l'eau imbibée. Une partie sans doute de l'eau provient de cette source-là, mais il arrive, dans les mois d'avril ou de mai, quelquefois de juin, un instant plus ou moins long, où l'écoulement devient *stationnaire* en même temps qu'il a atteint son minimum. Si l'eau ne provenait que du dessèchement de la glace, elle irait sans cesse en diminuant jusqu'au moment où elle augmenterait par la fonte. A cette époque stationnaire l'eau fournie représente presque entièrement la fonte de la glace produite par la chaleur terrestre. Cette quantité est petite sans doute : à en juger très approximativement, les torrents des glaciers, au printemps, ne fournissent pas la vingtième partie de l'eau qu'ils donnent, en moyenne, pendant la fusion lente des étés froids.

Il serait intéressant d'opérer des jaugeages comparatifs dans les diverses saisons, sur quelqu'un de nos affluents de glaciers : on pourrait déterminer par là approximativement quelle quantité de chaleur la croûte terrestre émet; car le glacier, à l'époque où sa fusion est stationnaire, représente un grand calorimètre de Lavoisier.

On objectera peut-être que des sources sous-glacières peuvent induire en erreur; cela peut se faire, mais ce ne sera point fréquent. Dans les hautes Alpes le sol ruisselle de sources tandis que les neiges supérieures fondent; toutes ces sources tarissent avec la cessation de la fonte. Les sources permanentes sortent des prairies marécageuses, des forêts et surtout des amas de débris qui recouvrent le pied des escarpements. Sous les glaciers il n'existe pas de débris; au contraire, partout la glace repose sur le roc nu et poli et ses anfractuosités sont tapissées par les boues glacières comme par un ciment imperméable.

Cette chaleur terrestre aurait-elle peut-être sa source dans l'échauffement annuel du sol par le soleil? Je ne le pense pas. Des expériences faites en Belgique, en France, ont démontré que cet échauffement pénètre lentement jusqu'à 27 mètres de profondeur. Que seraient 27 mètres pour le plus petit bassin de glacier? une petite fraction de sa profondeur. Mais il y a plus; l'été dans les hautes Alpes dure à peine *trois* mois et le sol n'est découvert de

neige que pendant *deux* mois environ. Ajoutons que toutes les fois que l'atmosphère se refroidit il tombe de la neige; que les nuits sont toujours froides; que toutes les sources élevées y conservent une température de 1 à 3 degrés*; que les rochers sont mauvais conducteurs de la chaleur; que l'évaporation y est fort abondante; qu'enfin s'il est des escarpements qui se chauffent fortement, il en est tout autant qui ne le font jamais. Toutes circonstances qui doivent considérablement diminuer la profondeur de l'échauffement annuel du sol dans les Alpes et la réduire *peut-être à quelques mètres.*

Mais revenons à notre point de départ, à la température moyenne probable des neiges et des glaces. Si d'une part le froid de l'atmosphère ne les atteint pas durant l'hiver, si de l'autre la chaleur de l'été est absorbée par la fonte, si enfin le bassin sur lequel elles reposent les maintient dans l'état de lente et faible *fusion*, ces masses, pour se transformer en eau, n'auraient besoin que d'une très faible élévation de température. Elles se liquéfieraient même promptement si pour passer de l'état solide à l'état liquide, elles ne devaient pas absorber une énorme quantité de calorique. En supposant que la glace pût se transformer en eau sans absorber de calorique, la fusion des glaciers s'opèrerait instantanément. L'absence de calorique suffisant perpétue seule les glaciers; nullement l'action du froid de l'atmosphère. Ils sont et demeurent, été et hiver, à l'état de *glace fondante*. J'insiste sur ce point parce que sans lui il n'est pas possible de se rendre compte des phénomènes.

En affirmant que la neige qui recouvre les glaciers doit être envisagée comme un manteau protecteur, il ne faudrait pas en conclure cependant que toujours et dans tous les cas, elle préserve les masses qu'elle recouvre contre la pénétration du froid atmosphérique. Elle n'est un abri constant contre le froid que dans la région inférieure des glaciers. Dans les régions très élevées elle peut et par les mêmes raisons, devenir un abri contre la chaleur atmosphérique. Sa propriété d'être mauvaise conductrice du calorique lui permet de garantir, dans certaines circonstances, le sol contre le gel; et dans d'autres de conserver le froid dont peuvent être pénétrées des glaces ou des masses de neiges tombées sous une forte baisse du thermomètre. De là vient que la surface des neiges dans ces régions peut donner à l'instrument, tantôt un chiffre plus bas, tantôt un chiffre plus élevé que celui des couches subjacentes.

L'équilibre tendra sans doute sans cesse à s'établir entre ces di-

* Les sources qui jaillissent du pied des hautes chaînes centrales ont généralement une température de 6 à 8 C°. Celles qui apparaissent au pied des cimes, non loin des neiges ou des glaciers, et qui ne traversent pas (cela va sans dire) des débris chauffés par le soleil, ont 1, 2 et 3 C° au plus.

verses températures superposées; mais il ne le fera que lentement. Ajoutons qu'il ne le fera qu'à la surface. Entre le sol qui ne peut être pour le glacier qu'une source de chaleur et l'atmosphère qui tantôt lui communique de la chaleur, tantôt lui en soustrait, l'épaisse couche de glace et de neige qui compose un glacier doit subir des oscillations de température; oscillations qui seront d'autant plus marquées que l'on s'approche de la surface, d'autant moins sensible que l'on pénètrera dans la profondeur; disons plutôt que ces variations resteront toujours très superficielles.

Les eaux de pluie et de fusion infiltrées feraient pénétrer avec elles dans la profondeur la température de la surface si elles n'étaient elles-mêmes promptement ramenées à la température de la glace fondante, température qu'elles conserveront en s'infiltrant. Observons même en passant que la présence constante de l'eau à l'état liquide dans les glaciers est la meilleure preuve de la permanence de leur température à zéro et par conséquent du peu d'importance pour lui des variations de température que sa superficie ou ses bords (seules parties accessibles à nos instruments) peuvent offrir de leur côté. Un observateur anglais a constaté que la glace la plus compacte arrachée des profondeurs où les rayons du soleil ne pénètrent ni directement ni par réflexion, puis examinée à la loupe, renferme une multitude de cellules arrondies et aplaties contenant de l'eau avec un peu d'air.

Ces divers points acquis nous donnent, à ce que j'estime, la clef de plusieurs phénomènes. — Ils expliquent d'abord le minimum de fonte placée au printemps (mai et juin) et non en hiver. Il pourrait sembler qu'avec l'arrivée des pluies du printemps et la fonte des premières neiges, l'émission de l'eau du glacier dût augmenter; il n'en est rien cependant, parce que d'une part le glacier est aussi asséché qu'il peut l'être par ses égouttures et que de l'autre les eaux de pluie et de fusion sont toutes retenues par les neiges qui se transforment peu à peu, d'abord en neige grenue, puis en glace massive.

Un autre fait remarquable trouve son explication dans l'époque où s'opère la transformation des névés en glace. Plus l'été approche plus cette transformation est rapide; plus les pluies sont fréquentes (non les chutes de neige) plus elle est prompte. J'ai souvent été frappé de la manière dont disparaissent les neiges qui recouvrent les glaciers. Si l'on visite un glacier dans le mois de juillet on le trouve pour l'ordinaire recouvert d'une couche épaisse de neige. On peut juger de l'épaisseur par la profondeur à laquelle pénètre un bâton; il est rare qu'en l'enfonçant il soit possible d'atteindre la glace subjacente, surtout si l'on exécute ce sondage dans le haut du glacier. Ailleurs vous trouverez les bords du glacier qui, l'automne précédent, offraient d'énormes crevasses, de vastes entonnoirs, des excavations infranchissables, maintenant complètement recouverts

d'une couche uniforme de neige qui cache entièrement ces ruines et ces abîmes; vous pourrez y pratiquer des sondages avec le bâton, partout vous ne trouverez que neige amoncelée. Retournez sur ce même glacier 15 jours, 3 semaines plus tard, tout sera changé; plus trace de neige, rien que de la glace et de la glace telle que vous l'aviez vue l'année précédente. Tout à côté du glacier vous observerez des névés inclinés, épais de quelques pieds, exposés peut-être au soleil, qui auraient dû, semble-t-il, disparaître bien plus tôt que la neige située sur la glace et cependant ils ne l'ont point fait.

Pourquoi, demandons-nous, la neige disparaît-elle sur le glacier, beaucoup plus rapidement que sur le sol, même sur un sol incliné? La raison en est bien simple. La neige du glacier s'est en majeure partie transformée en glace, celle du névé ne l'a pas fait. La première reposait sur un corps qui retenait l'eau de fusion et de pluie, la seconde ne s'imbibait point d'eau à sa partie inférieure, parce que l'écoulement de celle-ci était trop prompt. Au lieu de neige, sur le glacier, vous avez maintenant de la glace, sur le névé vous avez encore de la neige.

Il serait intéressant, non pas tant d'observer cette transformation qui sera plus ou moins étendue suivant les circonstances, mais bien de connaître, dans un point donné et observé pendant quelques années, combien de glace le glacier acquiert ainsi chaque printemps, en rapport avec l'épaisseur de la couche de neige qui le couvrait avant le dégel. On estimerait ainsi aisément l'augmentation annuelle d'un glacier suivant l'épaisseur de la couche de neige de l'hiver. Il faudrait cependant se garder de déduire de là des conclusions trop rigoureuses, soit parce que les amas de neige ne se répartissent pas chaque année de la même façon, soit parce que la moyenne de la neige tombée peut varier beaucoup suivent les contrées et les localités, soit enfin parce que la quantité de glace formée dépend pour beaucoup de l'abondance des pluies d'été. Des estimations prises au moyen de niveaux ou de repères placés sur des points fixes, pourraient encore induire en erreur à cause des mouvements du glacier et de son affaissement, l'un et l'autre très variables, suivant les années et l'état de l'atmosphère, dans chaque saison.

Un troisième fait important pour l'histoire des glaciers qui découle de ce qui précède, c'est le peu d'abaissement de la température moyenne de l'année qui serait nécessaire à l'accroissement indéfini de leur masse. On s'imagine souvent qu'une grande diminution de la température fut indispensable pour produire ces immenses glaciers qui couvrirent autrefois notre sol. On s'étonne dès lors que tout-à-coup la croûte terrestre ou l'atmosphère ambiant aient pu, dans nos latitudes, se réfroidir subitement après la période tertiaire, relativement chaude, pour ensuite passer à la période actuelle relativement moins froide. Comment est-il possible d'admettre que dans nos régions des siècles de chaleur plus grande aient été suivis de

siècles froids, puis ensuite de siècles moins froids? Le globe ne se réfroidit-il pas très insensiblement?

Toutes ces difficultés se résolvent dès que l'on sait qu'il suffirait avec notre température actuelle, d'une série de siècles humides et brumeux, pour rendre aux glaciers une partie de l'ampleur qu'ils offrirent au commencement de l'époque actuelle et qu'il n'est nullement besoin pour cela des frimats de la Sibérie. Aussi l'homme a-t-il très bien pu vivre au pied des grands glaciers de nos Alpes, sans être forcé d'adopter la vie des Esquimaux. Il a pu se faire, dirai-je encore, que des brouillards et des brumes habituels venant à se dissiper brusquement, une fonte rapide des glaciers et d'immenses inondations aient eu lieu, sans une élévation bien marquée dans la température de l'atmosphère.

Des glaciers en particulier. Les glaciers ne naissent pas seulement de la neige transformée en glace par l'eau; ils se forment aussi, dans bien des cas, par la glace les uns des autres; je m'explique: Nous voyons de grandes coulées de glace, descendre des sommités les plus élevées, arriver jusques dans les vallées inférieures et dans la région des pâturages et là, malgré l'abaissement de leur niveau, continuer à subsister et à s'étendre quoiqu'elles soient soumises à une température moyenne qui partout ailleurs ne permettrait pas leur existence. Ces glaciers sont faiblement entretenus par les neiges qui les recouvrent chaque hiver, ils le sont essentiellement par les glaces qui, venues d'autres glaciers, descendent sur eux des hauteurs voisines. On peut constater ce fait sur la plupart des grands glaciers des hautes Alpes.

Prenons pour exemple le glacier du Rhône. Là une coulée de glace descend incessamment par une pente escarpée où elle se fragmente et se brise; arrivée au bas de la pente elle s'amoncelle, s'étend dans la vallée, change entièrement d'allures, prend sur ce nouveau lit la forme d'un immense pain, enfin s'y perpétue, entretenue qu'elle est par les glaces brisées qui s'amoncellent en s'aglutinant. C'est bien en quelque sorte un glacier produit par une succession d'autres glaciers, quoique non séparés les uns des autres.

Mais il se peut faire que les deux glaciers, le supérieur et l'inférieur, soient distants l'un de l'autre et complètement isolés. C'est ce qui a lieu, exemple unique peut-être, pour le glacier du Giétroz, au-dessus du pont de Mauvoisin, vallée de Bagnes; le fait vaut la peine d'être exposé avec détail.

Au revers sud du mont Pleureur existe un grand glacier, fort élevé, qui descend avec une pente modérée le long du pied méridional du mont, en se déversant au couchant. Il parvient ainsi au bord très escarpé du flanc droit de la vallée de Bagnes et là, ne pouvant continuer à descendre sans se briser, il se précipite incessamment en fragments menus avec l'eau qui s'en échappe. La glace et

l'eau descendent ensemble, par une pente presque verticale et très accidentée, et arrivent de chute en chute jusques au fond de la vallée, en parcourant une distance de plusieurs centaines de mètres. Le torrent qui coule au fond de la vallée ne parvient point à entraîner la glace au fur et à mesure qu'elle se précipite, quoique dans certaines années très rares et exceptionnelles, le glacier inférieur disparaisse et la glace qui tombe arrive ainsi jusqu'à lui. Mais à l'ordinaire la glace descendue s'accumule en hiver avec les neiges et forme un pont sous lequel le torrent continue à couler comme cela s'observe fréquemment ailleurs dans les Alpes. Le pont une fois formé se trouve incessamment arrosé par les eaux du glacier supérieur; l'eau s'écoule et les fragments isolés de glace se transforment rapidement en masse solide. La glace continuant à descendre, entraînée par l'eau, forme une sorte de cône de déjection qui s'accroît incessamment. Ce cône se transforme, en s'épâtant, en glacier compacte, de plusieurs centaines de pieds de hauteur et de largeur: sous lui passe la Dranse. Il suffit dès lors, disons-le en passant, que la voûte vienne accidentellement à s'obstruer pour que les eaux du torrent s'accumulent en amont du glacier, forment un vaste lac qui reproduit par son écoulement subit les désastres dont la vallée de Bagnes fut désolée en 1818.

Le cône de déjection du Giétroz, formé de fragments de glace, ne se comporte point, ainsi qu'on pourrait le croire, comme le ferait un amas de graviers. A peine ces fragments, incessamment arrosés par l'eau, sont-ils amoncelés qu'ils se soudent en une masse compacte dans laquelle leur forme fragmentaire primitive disparaît complètement. Cette agglutination a lieu indépendamment de la température de l'atmosphère; car durant les mois de juillet et d'août, où la température moyenne de la localité se trouve au-dessus de zéro, elle n'en continue pas moins à être très active. Aussitôt que les menus débris du glacier forment une masse unique, ils ne se disposent point en colonne solide et verticale, au contraire *ils s'épâtent en tout sens.* La base du cône de déjection s'élargit, s'étend peu à peu, et en se confondant avec le glacier lui-même, forme une masse qui affecte la forme d'un pain et remplit le fond de la vallée en s'appuyant sur ses deux flancs. Ce pain de glace dont la coupe verticale représente une demi-ellipse rappelle immédiatement à l'observateur, la portion inférieure du glacier du Rhône. Là aussi la glace qui a repris son état compacte et massif, *s'épâte* dans la vallée en forme de large pain demi-elliptique; seulement, au glacier du Rhône, la largeur de la vallée permet à la glace de s'étendre à l'aise et d'affecter une forme plus aplatie quoiqu'identique. Il est donc évident que soit que le glacier se forme au moyen des neiges accumulées sur lui, soit qu'il doive son origine à un amoncellement de glace, le procédé est le même; dans l'un ou l'autre cas, la neige ou la glace, incessamment humectées par l'eau se transforment en glacier solide.

Le gel n'a rien à faire ici; et j'estime même que loin de favoriser la formation de la glace massive, il s'y opposerait en arrêtant les infiltrations d'eau et en maintenant immobiles les grains de neige ou les fragments de glace appelés à se souder à la *seule température de la glace fondante*.

Il va sans dire, du reste, que dans la solidification des neiges ou de la glace la pression des masses sur elles-mêmes joue un certain rôle, il suffit d'en faire mention.

Puisque nous avons parlé du glacier du Giétroz, il nous fournira un nouvel et péremptoire argument en faveur de l'état de *non congélation* de la glace dans les glaciers. — Lorsqu'en 1818 la vallée de Bagnes et les environs de Martigny furent balayés par les eaux qui s'étaient accumulées derrière le barrage formé par le glacier, toute la Confédération prit une vive part à ce sinistre, des collectes eurent lieu dans tous les cantons et une partie de l'argent recueilli fut consacré à prévenir, si possible, le retour de pareil malheur. Divers plans furent tour à tour proposés, puis écartés. Après examen celui de M. Venetz, si je ne me trompe, obtint la préférence. Ce plan consistait à empêcher la glace de s'amonceler outre mesure du côté de l'entrée supérieure de la galerie qui reçoit les eaux de la Dranse.

Dans ce but son auteur conseillait d'amener sur le glacier, durant l'été, les eaux réchauffées par le soleil, qui découlent des pentes voisines et de faire servir ces eaux, distribuées en filets par des conduits mobiles, à tailler dans le glacier des coupures propres à détacher de grands blocs de glace sur l'entrée de l'acqueduc que l'on désirait maintenir libre. Ce procédé réussit, autant du moins que la brièveté de l'été permettait de s'attaquer avec succès, par un moyen aussi lent, aux masses qu'il fallait détacher. Il est de toute évidence qu'il eût entièrement échoué si le glacier au lieu de représenter une masse en fusion se fût trouvé à l'état de congélation. Dans ce cas, lors même que l'on fût parvenu durant les jours chauds, à pratiquer des rainures dans la glace au moyen de l'eau moins froide versée sur elle, toujours est-il que pendant la nuit et dans les jours couverts ce travail eût été non-seulement nul, mais nuisible. Si le glacier, en effet, eût représenté une masse congelée, l'eau d'irrigation possédant une température fort peu élevée au-dessus de zéro, eût produit le même effet que la pluie tombant sur le sol gelé. Il ne faut pas oublier qu'à pareille élévation les eaux découlant des neiges en fusion comme celles que l'on employait, ont toujours une température fort basse. — Ignore-t-on que des pommes de terre gelées placées dans un baquet d'eau s'y recouvrent aussitôt d'une couche de glace. Le rapport existant entre la petite quantité de chaleur transportée par de minces filets d'eau et la masse énorme de la glace à attaquer, était trop faible pour que l'eau ne passât pas bien vite à l'état de glace et ne contribuât ainsi à accroître le glacier au lieu de l'amoin-

drir. — Eh bien ce résultat n'eut pas lieu : j'ai vu moi-même en 1839 de profondes tranchées pratiquées par ce moyen dans toute l'épaisseur du glacier et d'énormes blocs de glace détachés gisant sur le sol. De là à diminuer notablement la masse entière du colosse il y avait loin sans doute, mais enfin l'eau coupait la glace et élargissait l'entrée du tunnel et c'était là tout ce que l'on désirait. Un fait restait en même temps démontré, *l'eau, à une basse température, dissout le glacier sur lequel on la verse et ne se congèle pas;* donc, devait-on conclure dès lors et bien avant l'émission des théories sur la formation des glaciers, que le glacier n'est pas une masse en état de congélation, mais un corps solide arrivé à son point de fusion.

Quoique j'aie déjà parlé à plusieurs reprises de la température des glaciers, cette question est si importante que je dois y revenir. Il est fâcheux que la permanence de la température à 0°, dans les amas de neige ou de glace, ou si l'on veut leur état de glace fondante, ne puisse pas se prouver par des mesures thermométriques directes et qu'il faille l'admettre comme une *probabilité*. On connaît il est vrai la température des glaciers et des névés par les recherches de plusieurs savants; il suffit de citer ici MM. Agassiz et Martins. Ces estimations s'appliquant à des points très restreints de la superficie ne sauraient établir la température moyenne des masses. Il faudrait pouvoir plonger l'instrument dans les profondeurs des neiges et des glaces, il le faudrait faire surtout en hiver, alors que le glacier a revêtu sa fourrure et demeure stationnaire. En été la fonte des neiges, l'action du soleil, des vents et des pluies, celle de l'évaporation et du rayonnement, l'écoulement des eaux supérieures, etc., peuvent modifier l'état thermométrique habituel de la glace. Les trous pratiqués dans un glacier pour y enfoncer un thermomètre se remplissent immédiatement d'eau et cette eau n'a pas nécessairement la température de la masse.

Si les instruments n'ont pas pu répondre à la question de la température d'une manière suffisante, ne serait-il pas possible d'obtenir la solution par une autre voie ? Je le pense et voici pourquoi :

1° J'ai déjà fait observer que la fonte du glacier continue durant l'hiver, en sorte que quelque soit la température de l'atmosphère au-dessous de 0°, le glacier doit demeurer à l'état de glace fondante.

2° J'ai dit encore que la neige qui le recouvre de bonne heure a pour effet de conserver cette dernière température loin de l'abaisser et que par conséquent il ne peut pas plus être sous elle en état de congélation que ne l'est le sol recouvert par un névé : le glacier reste à *l'état de fusion*, s'il ne fond pas c'est faute de savoir où prendre le calorique nécessaire.

3° Les flaques et les amas d'eau que l'on rencontre fréquemment sur les glaciers en été, gèlent volontiers durant la nuit à leur surface, mais dès que leur profondeur dépasse quelques pouces, et surtout

dès qu'ils sont encaissés par la glace, ils ne gèlent pas, malgré un froid de quelques degrés. La glace qui peut les recouvrir est mince. Dans les profondes crevasses l'eau ne gèle pas, quoique immobile.

4° Si l'on fait un trou dans la glace et surtout si ce trou a quelques pieds de profondeur, il ne manque pas de se remplir d'eau quelle que soit la température de l'air ambiant. La glace du glacier est toujours imprégnée d'eau.

5° D'où proviendrait le froid qui doit dit-on pénétrer sa masse? De la croûte terrestre sur laquelle il repose? Mais il en recevrait plutôt de la chaleur : il est plus que probable que c'est à cette chaleur qu'il faut attribuer la fonte constante des glaciers. — Des neiges qui le recouvrent? mais pour peu qu'elles atteignent une épaisseur de quelques pouces elles contribueront, non pas à abaisser sa température, mais à la maintenir à sa moyenne habituelle. — De l'atmosphère? Son action est trop superficielle, trop variable; d'ailleurs, dans la saison où l'atmosphère peut atteindre le glacier elle lui abandonne (soleil, vents, pluies) plus de calorique qu'elle ne lui en soustrait et à l'époque de l'année où le froid règne il se trouve préservé de son contact. En hiver si le froid congelait le glacier il ne pourrait le faire que par quelques orifices inférieurs, parfois béans, qui donnent issue aux eaux ; voie bien étroite, bien insuffisante, bien exceptionnelle pour modifier en quoi que ce soit la température de la masse.

6° Je citerai ici derechef la fusion de la glace par l'eau de source employée pour diviser le glacier du Giétroz.

Ces faits ne nous autorisent-ils pas à conclure *que la température constante du glacier est celle de la glace fondante?* Je crois même que nulle part dans la nature il ne serait possible de trouver pour l'échelle thermométrique un *zéro* plus assuré que celui-là; ce qui n'est peut-être pas toujours le cas dans nos laboratoires.

Si, en effet, un glacier, à quelque moment qu'on le prenne, représente, non pas une masse en congélation, mais au contraire une masse *en état de fusion;* il est dès là même démontré que la théorie, disons plutôt l'hypothèse, de la progression par dilatation est erronée. Examinons si les faits par lesquels on a cherché à l'étayer sont ou non suffisamment probans.

On a dit par exemple que toutes les nuits, même au fort de l'été, l'eau se congèle à la surface du glacier et on a conclu que le glacier en était la cause. Je ne puis admettre cette explication. L'eau répandue sur la surface d'un glacier gèle en effet toutes les nuits ; mais si l'on observe la glace qui se forme alors, on voit qu'elle ne procède pas des parois des cavités où elle séjourne, mais qu'elle existe seulement à la surface des flaques d'eau. Souvent l'eau des flaques recouverte d'une couche de glace, s'imbibe dans le glacier durant la nuit et la glace reste en l'air comme elle le ferait sur un

chemin boueux par un léger froid. Si le glacier congelait l'eau elle se prendrait en entier et ne s'infiltrerait pas. N'est-il pas plus naturel d'expliquer le fait de la congélation de l'eau par le froid résultant de l'évaporation et de l'irradiation, toujours très fortes à de grandes hauteurs, froid agissant sur des flaques d'eau à 0°.

On a voulu voir dans la glace *bleue* un effet de la congélation parce que cette glace a une apparence plus compacte, autre erreur. La couleur bleue n'est pas due à une plus grande densité de la glace, mais à sa plus grande humidité ; aussi s'observe-t-elle surtout dans les parties déclives du glacier où l'eau abonde. Au dégel chacun peut observer que les glaçons suspendus à une paroi humide sont tantôt blancs, tantôt bleuâtres ; les premiers ne se trouvent pas sous le courant d'un filet d'eau aussi abondant que les seconds. Dans les crevasses profondes remplies d'eau la glace est toujours bleue. Les parties supérieures du glacier, surtout les blocs de glace détachés, les aiguilles minces et isolées, sont toujours blanches et très poreuses.

On a affirmé que le sol sur lequel repose le glacier est habituellement gelé ; ici encore on a mal interprété les faits. De ce que la glace des glaciers qui reposent sur le sable ou les cailloux (glaciers du Rhône, de Mac-Mar, du Giétroz, etc.) empâte les pierres subjacentes et fait corps avec elles on en a conclu que l'eau interposée se congèle et forme ces conglomérats de glace et de cailloux. Nous pensons que le fait doit s'expliquer non par la congélation de l'eau interposée mais par l'empâtement de la glace fondante et plastique, sous la pression de la masse. S'il est avéré, comme nous le verrons ci-après, que la glace fondante est ductile, *plastique* (admettons cette expression), il n'y aura rien de surprenant à la voir empâter des pierres et même des blocs de rochers, les incorporer à sa masse et les entraîner ainsi avec elle. Il est même plus que probable que tel fut le procédé par lequel les glaciers déblayèrent si complètement les vallées qui leur servirent autrefois de lit.

Si le gravier sur lequel repose un glacier pouvait être aggloméré par le gel il ferait corps avec le sol, et le glacier dans ses mouvements se séparerait de lui, par une fente, ce qui n'a point lieu. Le glacier se meut avec le gravier empâté subjacent, et c'est même par le moyen de ces pierres empâtées qu'il strie et polit les surfaces de frottement.

On a fait observer qu'au Giétroz le torrent qui passe sous le glacier coule aussi sur la glace et se fraie ainsi une galerie dans la glace même, parce que, dit-on, le sol gelé fait corps avec le glacier. Le fait est vrai mais l'interprétation ne l'est pas. Le glacier en se fondant lentement par sa base, s'affaisse ; cet affaissement amène de toutes parts la glace au contact de l'eau courante ; celle-ci, plus chaude que la glace, la dissout surtout dans le sens de sa plus grande

vitesse, c'est-à-dire à la partie supérieure du courant. Ainsi se conservent ces galeries dans la glace pratiquées par les torrents et dans lesquelles on a cru voir des *ponts*, quoiqu'il n'en existe réellement pas. Les galets qui recouvrent le fond de ces galeries sont amenés par le torrent, et l'eau coule sur un lit de galets, quoique renfermée de toutes parts dans le glacier lui-même et non point entre le sol et la glace.

Dans le haut de la vallée de Bagnes, en face de la montagne de Chermontanne, existe un petit lac sur lequel s'avance un glacier, en le recouvrant en grande partie. Sur ce lac, à moitié sous-glaciaire, nagent incessamment des blocs de glace en fusion. Ses eaux sont donc à la température de la glace fondante. Pourquoi ce lac ne reste-t-il pas constamment gelé? Pourquoi dégèle-t-il en été si vraiment un glacier est une masse congelée.

Sur le grand glacier du Görner, vallée de Zermatten, existe en été un petit lac peu profond, une flaque d'eau assez étendue; pourquoi cette eau reste-t-elle stagnante à la surface de la glace, si le lit sur lequel elle repose est en état de congélation? Sa présence ne prouve-t-elle pas au contraire que la température du glacier est celle de la glace en fusion.

On a voulu encore expliquer par la congélation du terrain sur lequel le glacier repose, la conservation des plantes et des semences (blé, par exemple) que les glaciers recouvrent parfois durant deux années sans les faire périr. Le fait est exact, il m'a été affirmé très positivement à Zermatten en 1822 : si ma mémoire ne fait pas défaut il eut lieu en 1818; mais la conséquence que l'on en tire ne l'est pas. Il faut une température de quelques degrés au-dessus de zéro pour entraîner la pourriture; à la température de la glace fondante elle n'a pas lieu; et chacun sait que le gel n'est pas nécessaire pour conserver des plantes avec leurs semences pendant plus d'une année. Il arrive parfois que des névés persistent pendant tout un été et ne disparaissent que l'été suivant; sous eux jamais le sol n'est gelé et cependant les plantes et les semences n'y pourrissent pas. Faut-il qu'il en soit autrement sous le glacier pour les conserver?

Les partisans de la théorie de la congélation la voyant de toutes parts menacée, ont imaginé pour la sauver, une sorte de juste milieu entr'elle et celle de la *plasticité* et l'ont appelée théorie de la *recongélation*. Ils reconnaissent (Vierteljahresschrift der Naturforsch. Gesellsch. in Zürich, 3e ann. 3 cah. pag. 273) que la présence de l'eau dans le glacier est démontrée; or cette eau ne pouvant, pour eux, être le produit de l'imbibition, puisque, d'après la théorie, le glacier est sous l'empire du gel et non du dégel ou de la fusion, il faut lui trouver une autre origine. Sa présence constante nécessite l'existence d'une source de chaleur constante. Cette source ils la trouvent dans le mouvement du glacier et la pression que les mollé-

cules subissent sous le poids des masses. Le mouvement étant continu et la pression considérable il en résulte, disent-ils, un dégagement de calorique qui se traduit par la formation d'eau interstitielle. Mais comme cette eau, aussitôt produite, se trouve en contact et à l'état de lames minces, avec des mollécules de glace elle se *recongèle* immédiatement et réunit derechef entr'elles les mollécules séparées l'instant auparavant. Ainsi se maintient, ajoute-t-on, la solidité de la masse glaciaire dont les mollécules sont néanmoins mobiles les unes sur les autres.

Cette théorie me paraît quelque peu complexe pour ne pas dire subtile. J'ai de la peine à admettre ce passage incessant et continu de la glace à l'état liquide (eau interstitielle), puis à l'état solide (recongélation), puis derechef à l'état liquide; ou plutôt de cette eau constamment et à la fois, solide et liquide. Un corps peut-il dans le même instant et sur le même point passer à l'état liquide et à l'état solide? Un glacier serait-il donc une masse de glace oscillant sans cesse entre la fusion et la congélation? Et ces oscillations seraient-elles tellement courtes que la fusion et la congélation auraient lieu simultanément?

Pour être conséquent, il faut aussi admettre que le fer chauffé au rouge blanc doit sa malléabilité à une portion de fer fondu, et la poix de Bourgogne sa plasticité à une petite proportion de poix liquide, logées l'une entre les mollécules du fer rouge, l'autre entre celles de la poix. N'est-il pas plus rationnel d'admettre une propriété d'aglutination, de pénétration réciproque des mollécules, chez les corps ductiles? Que nous comprenions mal comment un corps solide et cassant peut encore être ductile, cela est possible; mais il vaut mieux l'ignorer que de se payer de subtilités abstraites, alors surtout que nos interprétations des faits ne sont rien moins qu'assurées.

Nous avons fait un premier pas dans l'examen de la question du mouvement des glaciers, en constatant leur état habituel de *fusion*, de *non congélation*. Nous devons en faire un second, qui en dépend, et établir que dans cet état les propriétés de la glace ne sont pas complétement les mêmes qu'à l'état de congélation.

Si les propriétés physiques de la neige se modifient lorsqu'elle approche de son point de fusion et surtout lorsqu'elle s'imprègne d'eau, celles de la glace le font aussi et de la même manière, il ne peut en être autrement. La glace en état de congélation au-dessous de *zéro*, est d'autant plus dure, cassante, inflexible que sa température est plus basse. Au point de fusion l'inflexibilité cesse, la fragilité et la résistance diminuent sensiblement. Sous ce rapport la glace loin de se distinguer des autres corps solides, cristallisés ou non, des métaux, du verre, des résines, etc., présente des phénomènes analogues à ceux offerts par ces divers corps. Elle ne fait

pas sur ce point une *exception* ainsi que des hommes fort habiles du reste, l'ont implicitement admis dans l'explication qu'ils donnent du mouvement des glaciers par *tension* et *congélation*.

Un fait m'aidera à exprimer la différence qui existe entre ces états de la glace. Une nappe d'eau sert chaque année, dans nos environs, au divertissement du public. La glace y était, un hiver et par un froid vif, superbe, épaisse, polie comme un miroir et résistante comme le verre. Tout-à-coup survient le dégel avec un peu de pluie. Les patineurs veulent nonobstant se procurer un dernier moment de plaisir. Arrivés sur la glace ils la trouvent molle, tendre, spongieuse ; grâce à son épaisseur elle pouvait encore supporter le poids des personnes. Le patin n'enfonçait point ; la glace résistait encore en fléchissant ; nous nous divertissions à la voir se ployer et onduler sous notre poids. Partout où l'un de nous passait il se formait une dépression, une vague, sans que pour cela la glace se rompît. En d'autres termes la glace était flexible comme un ais ; quoiqu'en la frappant avec une pierre elle résistât comme le roc. La glace est donc légèrement flexible lorsqu'elle approche de son point de fusion. Le verre, le fer et d'autres métaux le sont encore bien davantage.

Il y a plus, cette flexibilité due à un premier degré de fusion, implique une certaine *malléabilité, extensibilité*, ou si l'on veut *plasticité*. La glace, sans doute, n'arrive jamais à l'état *pâteux* comme le verre ou les résines en fusion. Chez elle la flexibilité est tellement faible qu'elle ne peut se constater sur de petites pièces ; elle n'est visible que sur les grandes masses ; mais pour cela elle n'en existe pas moins. La fragilité de la glace, sa résistance et son inflexibilité sous le marteau ne sont point en contradiction avec cette flexibilité en grand. Il existe des corps durs, cassants et fragiles qui abandonnés, même en petites masses, à leur propre poids se montrent doués d'une extensibilité surprenante. Un bloc de poix jaune, dite de Bourgogne, ne tarde pas, à la température moyenne de l'atmosphère d'été, à s'épâter en tous sens, dès qu'on l'abandonne à lui-même. Le gâteau large et aplati qu'il forme alors ferait supposer que la poix a passé à l'état liquide pour s'étendre de la sorte, il n'en est cependant rien. Ce même gâteau frappé avec le marteau se montrera cassant et résistant ; il faudra l'exposer à une chaleur plus élevée pour qu'il devienne pâteux et puisse par exemple recevoir l'impression du doigt. Quoique cassant il est flexible, pourvu qu'on le ploie très lentement.

Pourquoi la glace n'offrirait-elle pas quelque chose de cette plasticité de la poix ; très marquée chez celle-ci, très faible chez celle-là. Les phénomènes présentés par les glaciers en mouvement ne peuvent s'expliquer sans l'admettre. Passons en revue quelques-uns d'eux.

Un premier effet de l'affaissement qui s'opère dans le glacier après que la neige de l'hiver s'est en bonne partie transformée, est son

détachement du lit sur lequel il repose. Ce détachement n'est appréciable que sur ses bords. Ceux-ci, s'ils sont encaissés, s'infléchissent quelque peu en dedans en paraissant se relever, parce que la masse s'affaisse proportionnellement davantage dans son centre que sur ses bords. Cet affaissement est surtout sensible au point où le glacier se confond avec de grands névés ou avec des champs de glace supérieurs et peu épais. Là il se forme toujours, entre le névé et le glacier, une profonde crevasse. Cette crevasse est d'habitude plus étroite à sa partie supérieure et s'élargit par le bas ; son bord supérieur est constamment plus élevé que l'inférieur. Deux dispositions qui indiquent assez l'affaissement dont je parle.

On citera aisément des faits en apparence contraires à cette assertion ; des points où certain glacier loin de s'affaisser sur lui-même se relève, recouvre ses moraines latérales, les dépasse même, pour s'étendre sur les gazons adjacents. J'ai vu en 1822 le glacier du Mac-Mar (vallée de Saas) envahir le flanc de la montagne contre laquelle il butte, labourer ses gazons et soulever devant lui les blocs détachés, comme le soc d'une puissante charrue, mais en y regardant de près on pouvait se convaincre que ce relèvement était dû à l'impulsion communiquée de plus haut par les masses descendant sur lui. Ces faits n'infirment donc en rien l'affaissement général, affaissement qu'il faut surtout observer sur les glaciers peu inclinés, renfermés dans des bassins, et dont le mouvement de propulsion est peu prononcé.

Dans ses mouvements, le glacier ne se comporte point comme une masse rigide, qui au lieu de ployer se rompt ou s'arqueboute contre les obstacles, mais comme un tout *flexible* qui se prête, dans une certaine mesure, aux accidents du sol sur lequel il repose et *s'infléchit* devant les obstacles. De là les ondulations multiples à la surface, les coudes, les plans inclinés divers qui se forment et se déforment sans fractures ; les bassins, les monticules, accidents de la surface qui tous sont un reflet éloigné de l'affaissement que subit la masse, en s'adaptant aux contours du lit sur lequel elle repose, et des mouvements qui lui sont imprimés par sa propre pesanteur.

On l'a dit, un glacier n'est jamais en repos ; sans cesse il s'étend, il se crevasse, il se fléchit, il s'épâte ; plus le sol sur lequel il repose est incliné plus rapidement il se meut en suivant les pentes. Ces mouvements ne peuvent être expliqués que par une espèce de flexibilité, une plasticité, sans laquelle il ne pourrait que s'écrouler ou se briser sur place, comme une roche en décomposition, ou bien se fondre sans changer de position.

L'*écoulement* (qu'on me permette cette expression) lent des glaciers, en suivant le thalweg des vallées et les divers plans inclinés de son lit, est à mes yeux une démonstration évidente de leur flexibilité, ou de la consistance demi-pâteuse de leur masse. Nous savons tous comment s'éboulent les monceaux de terre ou de sable sur une

pente inclinée; or le glacier n'offre rien absolument de semblable. Les éboulements de terre détrempée d'eau ont aussi leurs allures; d'autant plus voisines de celles de l'eau que leur consistance se rapproche davantage de celle de la boue; mais le glacier ne s'éboule ni comme la terre humide, ni comme la boue. S'il est flexible, plastique en grand, il conserve la majeure partie de sa rigidité et se fracture aisément. Il a son écoulement *sui generis* et ce mode de locomotion spontanée correspond à des propriétés physiques de consistance et d'adhésion qui sont aussi *sui generis*.

Le glacier, enfin, dans ses mouvements, conserve en majeure partie son homogénéité, son unité de masse. On ne saurait y voir un amas de mollécules quelque peu indépendantes les uns des autres, et qui exécutent, chacune pour elle, des évolutions partielles comme le ferait un monceau de glace empâté. Dans le glacier toutes les parties constituantes dépendent les unes des autres, font un corps commun, en d'autres termes l'adhésion, l'agglutination des éléments y joue un grand rôle.

Cette agglutination, nous l'avons reconnue d'une manière frappante, dans le procédé selon lequel le glacier du Rhône et surtout celui du Giétroz inférieur, se reproduit et se perpétue. Il serait superflu de citer d'autres faits. Nous la constatons encore dans la manière dont les masses de glace abandonnées à elles-mêmes se comportent sur un plan ou un encaissement horizontal. Dans ces conditions statiques-là, au lieu de s'amonceler comme le feraient des blocs de rochers éboulés et de demeurer sans cohérence mutuelle, les fragments de glace se soudent les uns aux autres pour former une masse homogène. Cette masse en se formant perd rapidement les traces extérieures des blocs qui la composèrent pour constituer une espèce de *pain* qui s'étale en s'élargissant en tout sens, comme le ferait une masse demi-pâteuse. L'exemple le plus frappant des mouvements intérieurs que subit un glacier placé sur une surface presque horizontale, est celui, déjà cité, du glacier inférieur du Rhône. Il peut servir de type et de mesure de la plasticité de la glace, et sa coupe, déterminée géométriquement, donnerait la formule de la courbe selon laquelle la glace en fusion s'infléchit en s'épâtant. Les éléments de cette courbe nous fourniraient en même temps le rapport qui existe entre la puissance de cohésion et l'action de la pesanteur dans la glace à zéro.

Dans cet examen critique, quelque peu décousu, de la question glaciaire, je n'ai point eu la prétention d'énoncer des idées nouvelles, encore moins de mettre au jour des faits ignorés. J'accepte le reproche de n'avoir rien dit que l'on ne sût déjà. Bien loin de chercher à augmenter la masse des observations enregistrées, je voudrais plutôt en élaguer un bon nombre. Nous souffrons ici d'exubérence,

Tableaux graphiques de conversion de mesures.

Fig. 1.

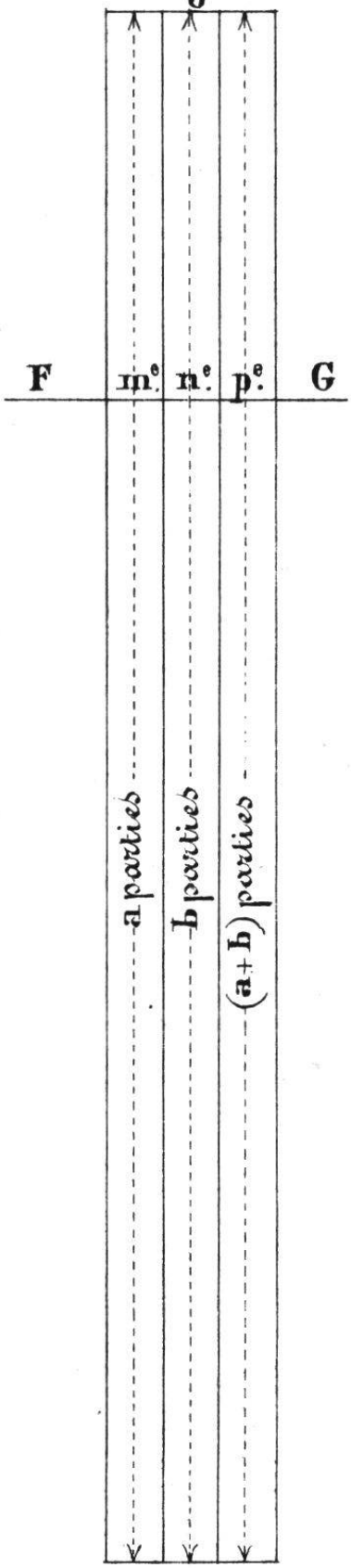


Fig. 2.

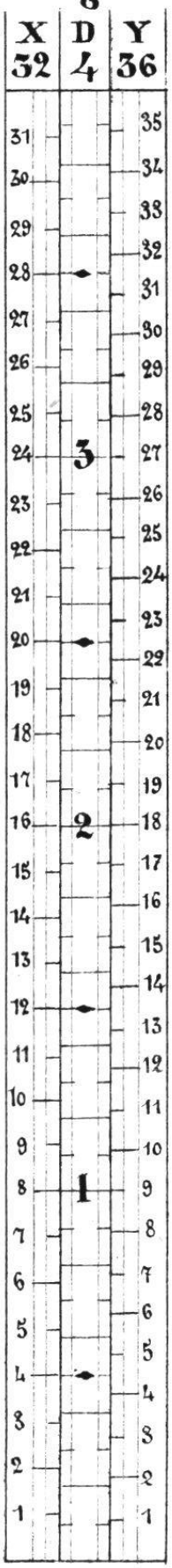


Fig. 3.

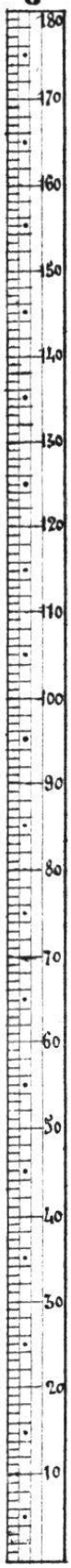
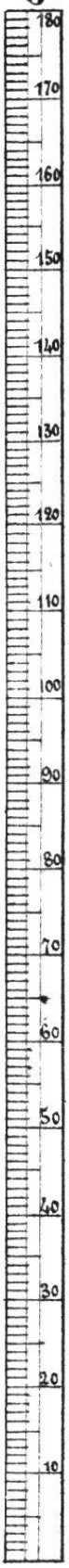


Fig. 4.



J. F. P.

J. Blanchard lith.

d'embarras de richesses, et non de pénurie. Je ne crains pas d'affirmer qu'une bonne partie des difficultés et des divergences d'opinion proviennent de l'accumulation de matériaux plus ou moins ébauchés. Chacun a vu quelque chose, parce que chacun a voulu, au moins une fois en sa vie, courrir les hautes Alpes et respirer leur air à pleine poitrine; mais beaucoup ont observé en courant ou tout au moins sur un espace trop restreint et à une seule époque de l'année.

Là où l'observation banale suffisait, la science s'est exercée à éplucher des questions de détail, à grand renfort d'instruments et de chiffres; puis vinrent les théories et les hypothèses, plus pernicieuses souvent que l'ignorance : la justification de ces enfants gâtés de l'amour propre absorba dès lors l'attention générale et concentra les débats.

TABLEAUX GRAPHIQUES DE CONVERSION DE MESURES.

Par M' PICCARD, commissaire-général.

(Séance du 1er mai 1861.)

Lorsque trois lignes de même longueur, représentées par les trois colonnes de la fig. 1, sont juxta-posées et divisées respectivement en a, b, et $(a + b)$ parties égales, si l'on coupe les trois colonnes à un point quelconque, mais à la même hauteur, comme par la ligne F G, cette ligne atteindra, par exemple, la m^e division de la première colonne, correspondant à la n^e division de la deuxième colonne, correspondant à la p^e division de la troisième colonne.

Nous aurons alors, en dessous de la ligne F G, dans chacune des trois fractions de colonnes, un certain nombre de divisions ou parties égales, et ces trois nombres seront entr'eux dans le même rapport que les nombres a, b, et $(a + b)$; il en sera de même du nombre des divisions ou parties égales, dans chacune des trois fractions de colonnes en dessus de la ligne F G, en sorte que ce nombre p, qui exprime la p^e division de la troisième colonne, sera égal à $m + n$, et que $p - n = m$.

Cet arrangement peut s'appliquer à construire des tableaux graphiques, pour la conversion réciproque entre les unités de deux mesures de même nature, avec appréciation des fractions.

Application. Pour construire un tableau de conversion entre les mesures X et Y, sachant que 32 X = 36 Y, nous diviserons la co-