

Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 1 (1843-1846)

Artikel: Observations sur le passage de la neige farineuse à la neige grenue et de celle-ci à la glace compacte, suivies d'applications à la théorie des glaciers
Autor: Ladame, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-87903>

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: 28.06.2025

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

BULLETIN
DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES
DE NEUCHÂTEL.
APPENDICE.

**OBSERVATIONS SUR LE PASSAGE DE LA NEIGE FARINEUSE A
LA NEIGE GRENUE ET DE CELLE-CI A LA GLACE COM-
PACTE , SUIVIES D'APPLICATIONS A LA THÉORIE DES
GLACIERS (*).**

PAR

H. LADAME.

Les observations qui font le sujet de cette note ont été faites pendant l'hiver 1841 à 1842.

Notre lac est bordé , à l'est du gymnase , par une rangée de forts piquets , dont le pied n'est point baigné par les eaux ; après une nuit où il tomba beaucoup de neige , tous ces piquets étaient recouverts d'un chapeau épais de neige qui surplombait sur les côtés. Le temps se rétablit au beau , et la neige disparut bientôt de la campagne , mais les piquets restèrent couverts de neige qui présentait les caractères suivans :

1^o La partie supérieure et horizontale était formée de neige grenue dépassant les bords du piquet , et tenant suspendus , à son pourtour , des glaçons coniques de dif-

(*) Présentées à la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel , le 17 mai 1845.

férentes longueurs , dont plusieurs avaient près de 0^m,8 de longueur.

2° De l'extrémité de ces cônes il tombait fréquemment des gouttes d'eau ; le glaçon tout entier était humide et pénétré d'eau. Plusieurs de ces glaçons étaient soudés les uns aux autres et constituaient ainsi des faisceaux plus massifs , qui n'adhéraient au piquet que dans leur partie supérieure.

3° La partie supérieure de ces cônes était formée de neige grenue friable et peu tenace. La friabilité de la glace diminuait et sa tenacité augmentait graduellement de haut en bas jusqu'à son extrémité inférieure près de laquelle la glace était compacte et translucide.

4° Les glaçons recouverts par d'autres étaient plus friables et moins tenaces que ceux qui étaient exposés à l'action des rayons solaires.

D'après la description qui vient d'être faite de ces cônes suspendus , on comprend qu'un effort très-faible devait les détacher aisément du piquet ; leur poids seul déterminait leur chute , lorsque par le progrès de la fonte , la partie supérieure n'avait plus une tenacité suffisante.

5° La structure intérieure de ces stalactites glacés offrait à l'examen de la cassure , une série de pyramides ayant leur sommet dans le voisinage de l'axe du cône et leur base à l'extérieur. Les faces de ces pyramides étaient conchoïdales ; leurs bases , des portions de surfaces annulaires , ce qui donnait à la surface extérieure du glaçon l'aspect d'un chapelet à grains inégaux ; gros dans la partie supérieure du glaçon , ils diminuaient peu-à-peu de dimension jusqu'à l'extrémité inférieure.

6° La neige grenue du chapeau se prolongeait dans

l'axe du stalactite, où elle paraissait logée dans un fourreau de glace ; cette structure rayonnée et arrondie, n'est pas particulière aux cônes glacés, on l'a déjà observée dans les gros grains de grêle.

L'analogie de ces faits avec ceux que produit le terrage du sucre est remarquable. On sait que cette opération consiste à verser, sur la base d'un pain de sucre contenu dans sa forme, un sirop concentré ou une boue argileuse. L'eau s'introduit peu-à-peu dans la masse, dissout surtout le sucre incristallisable et porte en même temps dans les parties inférieures le sucre cristallisable ; ainsi tandis que le sucre est grenu près de sa base, il est dur et sonore au sommet.

Pour expliquer les faits dont je viens de parler, nous poserons d'abord les deux lemmes suivans :

1^o Lorsqu'on dissout, ou qu'on fond une masse cristalline quelconque, les petits cristaux disparaissent les premiers ; c'est un fait d'expérience, que justifie d'ailleurs cette remarque, que les petits cristaux ont proportionnellement une plus grande surface que les gros. Car la surface croît comme le quarré des dimensions du cristal, tandis que le volume ou la masse croît comme le cube de ses dimensions.

2^o Lorsqu'une cristallisation s'opère et qu'il existe de petits et de gros cristaux, ces derniers croissent plus rapidement que les petits, souvent même ce sont les seuls qui augmentent de volume.

Appliquons maintenant ces principes.

Pendant l'observation des faits cités, le ciel était clair, les nuits froides et les jours chauds. Dès-lors, nous comprendrons que la fonte, commençant par les par-

parties les plus fines de la neige, l'eau qui provenait de cette fonte descendait dans le glaçon refroidi par l'action de la nuit et se congelait autour des gros cristaux ; ceux-ci grossissaient donc rapidement, ils se soudaient les uns aux autres, et donnaient naissance à la glace compacte. Il est manifeste que la formation de cette glace compacte devait être d'autant plus prompte que la température du glaçon était tombée plus bas, ou que les alternatives de chaud et de froid étaient plus fréquentes : ainsi les parties extérieures, et celles qui étaient le plus exposées au rayonnement nocturne, et aux ablutions d'eau, devaient passer plus rapidement que les autres à l'état de glace compacte.

Ces considérations expliquent par conséquent d'une manière satisfaisante les faits indiqués dans les paragraphes 1, 2, 3 et 4.

Essayons maintenant de nous rendre compte des formes étoilées et arrondies décrites dans les § 5 et 6 ; à cet effet rappelons quelques principes.

1° La forme cristalline de la glace est celle de prismes hexagonaux, qui se soudent les uns aux autres sous des angles de 30, 60 ou 120°, ils prennent par-là la disposition étoilée, rayonnant autour d'un centre.

2° La disposition en forme arrondie résulte d'une oblitération des cristaux ; peu de mots suffiront pour le faire comprendre. Une même substance peut présenter des formes cristallines fort diverses ; les unes régulières et les autres irrégulières. Les premières peuvent être ramenées, en vertu des *lois de symétrie*, à une forme simple élémentaire qu'on appelle *forme primitive, type*.

Les causes qui déterminent la grande variété des for-

mes cristallines régulières d'un corps sont encore peu connues, M. Beudant indique ⁽¹⁾ :

1^o Le mélange mécanique de matières étrangères qu'un corps entraîne en cristallisant.

2^o La nature du liquide au milieu duquel la cristallisation a lieu.

3^o Les combinaisons en proportions variables que peut faire telle ou telle substance avec celle qui cristallise.

Quant aux formes irrégulières qui sont extrêmement nombreuses et parmi lesquelles on compte les formes arrondies, M. Beudant les considère comme le produit « des groupemens irréguliers, de certains mouvemens imprimés « aux liquides chargés de particules matérielles, ou à la « matière même réduite à l'état pâteux, de la résistance « des milieux où les matières se consolident, de l'agglutination des matières meubles, des solutions chargées « de diverses substances, des incrustations sur des corps « étrangers, du moulage des matières dans des cavités « préexistantes; enfin des décompositions chimiques en « vertu desquelles une matière se substitue à une ou à « plusieurs autres » ⁽²⁾.

Dans ces paroles de M. Beudant, nous trouvons l'indication de plusieurs causes qui ont pu agir pour donner la forme arrondie à nos stalactites, mais dans le cas particulier qui nous occupe, il existe une autre circonstance qui favorise singulièrement l'oblitération des cristaux. Ce fait qu'on observe fréquemment dans les laboratoires,

⁽¹⁾ Minéralogie de Beudant, tome I, page 16—189.

⁽²⁾ Minéralogie de Beudant, tome I, page 155.

est *celui de la variation de température* ; si, par exemple , on place dans un endroit où la température soit invariable, une dissolution convenablement concentrée de sulfate sodique, on obtient de grands et beaux cristaux, mais si on la place dans un lieu où il y ait de nombreuses variations de température, les cristaux sont courts, ils présentent beaucoup de facettes et prennent ainsi la forme arrondie. Nous concluons de cette expérience que les successions de fonte et de solidification déterminent dans les cristaux une oblitération qui les arrondit. Ce sont précisément là les circonstances dans lesquelles se trouvait la neige de nos stalactites glacés.

Nous dirons donc pour expliquer leur formation que, pendant la nuit et une partie du jour, le glaçon avait une température plus basse que zéro, mais dès le lever du soleil la fonte commençait dans la partie supérieure ; l'eau qui provenait de cette fonte, descendait dans la glace froide, augmentait le volume des gros cristaux, et par la chaleur latente qu'elle dégageait, la température se relevait à zéro ; à mesure que de nouvelles quantités d'eau arrivaient, elles descendaient plus bas que les points où la température était zéro, puis elle se congelait comme la première. Les choses se passaient ainsi successivement, et de proche en proche jusqu'à l'extrémité du glaçon ; alors il arrivait en entier à zéro, et l'eau le traversant de part en part tombait goutte à goutte de son extrémité, mais le froid de la nuit survenant, l'eau dont le glaçon était pénétré se gelait, la température s'abaissait au-dessous de 0°. Le lendemain matin les phénomènes de la veille se reproduisaient ; c'est ainsi que peu-à-peu la neige changeait d'aspect et que par suite de sa forme

cristalline, de ses congélations et fontes successives, elle devait présenter la forme étoilée et arrondie.

Après avoir fait l'observation précédente et m'être rendu compte des différens élémens qu'elle renfermait, je me rappelai un autre fait bien connu des habitans des montagnes.

A l'époque du printemps, lorsque la neige disparaît, qu'elle fond par le beau temps, et qu'il ne reste plus que quelques taches neigeuses sur le sol des campagnes, ces petits amas de neige, qui ont à peine quelques pouces d'épaisseur, présentent la constitution suivante :

La surface est formée de neige grenue et friable; au-dessous se trouve encore de la neige grenue, mais elle offre déjà une certaine tenacité et elle adhère avec force à une troisième couche qui n'est autre chose que de la glace, dont l'épaisseur a souvent à peine quelques lignes. La résistance que cette mince couche de glace oppose à la rupture, est parfois si faible que le poids d'un homme qui marche est suffisant pour la briser. Ce second fait me paraît susceptible de recevoir la même explication que celui des stalactites.

Plusieurs corps solides peuvent changer de forme cristalline, ou prendre une autre constitution moléculaire sans passer par l'état fluide. Les molécules éprouvent un déplacement lent; elles roulent les unes autour des autres et se groupent d'une autre manière; c'est ainsi que le sucre d'orge passe à l'état grenu et que l'arragonite change de forme cristalline, et se transforme peut-être en spath, par une simple élévation de température ⁽¹⁾.

(¹) Beudant, minéralogie, tome I, page 207.

Nous voyons aussi dans les phénomènes de la trempe et du recuit, que plusieurs corps tels que l'acier, le verre, le bronze, sont modifiés dans leur structure intime. La neige a-t-elle aussi cette propriété, c'est-à-dire, les cristaux neigeux subissent-ils par le seul fait d'une variation de température des changemens dans leurs formes? c'est ce qu'on ne sait pas; mais il me semble que les deux faits que je viens de rapporter, indiquent que ces changemens de forme cristalline, proviennent d'une oblitération des cristaux, due à des fusions et congélations successives. Quelques observations faites sur les transformations du givre nous en fourniront une nouvelle preuve.

Le givre, comme on le sait, se fixe sur les branches d'arbres et les objets déliés en cristaux fibreux, placés suivant des plans quelconques qui dépendent en général de la direction du vent qui règne ⁽¹⁾ pendant que le brouillard le dépose. Son poids n'en détermine pas la chute, parce que les parties de la neige adhèrent entre elles et avec l'objet qui les portent: mais ce qui est fort remarquable, c'est que le givre ainsi suspendu subit, par les variations de température voisine de zéro, des modifications de structure en vertu desquelles il passe de l'état de neige fibreuse à celui de neige grenue, et enfin il se transforme en glace parfaitement limpide et transparente.

J'ai fait ces observations à la fin de cet hiver, pendant lequel les brouillards qui ont régné si longtemps, ont laissé sur tous les objets terrestres une abondante couche

(¹) Le dépôt de givre se fait toujours sur le côté des objets, frappé par le vent, et non pas sur le côté abrité. Voir mes notes dans les Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, 1842 p. 203 et 1843, p. 291.

de givre. Dans l'origine le givre se présentait en lames soyeuses ; plus tard il est devenu grenu et grossier ; il avait alors un aspect d'un gris sale, il se brisait aisément entre les doigts et se détachait facilement des objets qui le portaient. Plus tard enfin, à mesure que la température s'est relevée, que les brouillards se sont retirés et sont restés suspendus sur le flanc des montagnes, le givre a disparu dans les parties basses, le long des bords du lac, mais lorsqu'on s'élevait sur le coteau on le retrouvait à l'état de lames glacées qui avaient conservé la même position que le givre neigeux d'où elles provenaient. En recevant la lumière du soleil, elles brillaient de mille couleurs ; c'était d'un effet merveilleux.

Le givre avait subi ces diverses transformations sans changer de place et sans se détacher des objets qui lui servaient de support ; il n'avait pas cédé à l'action de son poids ; les lames glacées avaient cependant un volume moins considérable, et moins de largeur que les lames primitives de neige. Cet état particulier du givre ne régnait que dans une région étroite, au-dessus de laquelle le givre avait encore son aspect grenu. A une hauteur plus grande on retrouvait le givre dans son état primitif.

Cette position du givre glacé et grenu, à la limite du givre neigeux nous montre de la manière la plus évidente, que la neige ne prend la forme grenue ou de glace compacte, que près de son point de fusion, et que la neige possède dans cette circonstance une propriété cristallographique ou moléculaire fort remarquable, qui, si je ne me trompe, n'a pas encore été remarquée au même degré dans d'autres corps.

Il résulte des observations ci-dessus, celle des stalac-

tites, celle des taches neigeuses et celle du givre glacé :

1° Que dans certains cas la neige farineuse passe à l'état de neige grenue et de ce dernier état à celui de glace compacte.

2° Que ces transformations s'opèrent sous l'influence de variations de température dans le voisinage de la glace fondante, de manière qu'il y ait successivement liquéfaction partielle et congélation.

Quand la fonte de la neige a lieu par un dégel, sous l'action d'une température constamment au-dessus de zéro, ou sous celle de pluies chaudes, la neige disparaît sans passer par ces diverses formes.

Une conséquence importante qu'on peut tirer de ces faits, c'est que partout où nous trouvons de la neige grenue ou de la glace provenant d'une masse de neige, il faut en conclure qu'à l'époque où la transformation a eu lieu, la température de la masse glacée s'est élevée et qu'au terme de ces transformations, la température est zéro.

Les observations précédentes s'appliquent de la manière la plus évidente, au grand phénomène des glaciers dont la structure rappelle celle des stalactites, des taches neigeuses et du givre grenu passant à l'état de glace compacte. Cependant, dans l'application que nous allons faire à leur théorie des principes auxquels nous sommes arrivés tout à l'heure, nous n'oublions pas qu'ici les phénomènes se passent en grand et sous l'influence de circonstances très-variées. Nous sentons que nous devons être très-prudent dans les déductions et nous voudrions que l'on considérât les conséquences que nous allons tirer comme des prévisions de la théorie plutôt que comme l'expression rigoureuse des faits.

Dans les considérations qui suivent, nous donnerons d'une manière générale, *le nom de glacier à toutes les masses glacées qui résultent de la transformation de la neige*. Ainsi le névé aussi bien que la glace plus ou moins compacte sera pour nous *un glacier*.

On trouve dans la partie supérieure des glaciers la neige grenue ou le névé, et la glace plus ou moins compacte dans leur partie inférieure.

L'étude des glaciers nous apprend qu'ils sont le résultat de la transformation de la neige en névé, et du névé en glace plus ou moins compacte. Nous en concluons immédiatement qu'ils se produisent sous l'influence d'une température voisine de zéro, et que tous les changemens qu'ils subissent s'accomplissent, en totalité, pendant la saison chaude, à l'époque de la fonte. La chaleur est donc la cause principale de la formation des glaciers et la source des faits nombreux qu'ils présentent.

Dès-lors la connaissance des propriétés calorifiques de l'eau, dans ses divers états solide, liquide, gazeux, est de la plus haute importance pour la théorie des glaciers. Lorsqu'on s'occupe des glaciers en les considérant dans leur masse, il suffit de tenir compte des propriétés de l'eau solide et liquide. Pour les phénomènes superficiels, il faut, de plus, avoir égard aux lois de son état élastique.

L'eau liquide se solidifie généralement à zéro, mais quand elle est pure, en repos, et qu'elle est renfermée dans des vases à surface polie, elle reste liquide bien au-dessous de cette température.

La glace fond toujours au même degré de chaleur; c'est le point de glace fondante, le zéro de nos thermomètres: la température de la glace n'est par conséquent jamais supérieure à zéro, mais elle peut comme dans tous

les autres corps s'abaisser à un degré quelconque au-dessous.

Nous prendrons 0,9 ⁽¹⁾ pour la densité de la glace et 79, ⁽²⁾ pour sa chaleur latente ; sa conducibilité et sa diathermanéité, qui sont certainement *très-faibles*, sont inconnues. Nous admettons que sa capacité, qu'aucune expérience n'a fixée, est égale à celle de l'eau.

Cela posé, nous examinerons le glacier dans deux circonstances différentes, celle où il a une température inférieure à la température du milieu ambiant, et celle où sa température est supérieure.

Premier cas : la masse du glacier a une température inférieure à celle de l'air.

Il existe alors trois causes de réchauffement pour le glacier.

1° La conducibilité ; la couche d'air en contact avec la surface glacée lui donne sa chaleur et celle-ci se transmet peu-à-peu dans l'intérieur.

2° La diathermanéité ; la chaleur extérieure, sous forme rayonnante, pénètre à une certaine profondeur dans la glace.

Ces deux modes de réchauffement appartiennent à tous les corps solides, ils ne produisent d'effets sensibles que près de la surface, ce n'est qu'après un temps considérable, qu'ils peuvent avoir de l'influence à une profondeur notable. On peut juger de leur peu d'action en remarquant que pour notre latitude, il ne faut pas moins de six mois pour que le froid de l'hiver, ou la chaleur

⁽¹⁾ Annuaire du bureau des longitudes.

⁽²⁾ D'après MM. de la Provostaye et Desains. Annales chimique et physique, 3^e série, tome VIII, page 5, et Regnault, ibid., page 19.

de l'été se fassent sentir à la profondeur de vingt-quatre pieds, et qu'à quatre-vingts pieds, les variations annuelles de température sont tout-à-fait insensibles. Remarquons néanmoins que dans ce cas, la diathermanéité du sol ne joue aucun rôle, puisque la terre ne possède pas cette propriété.

3^o La seule cause de réchauffement du glacier réellement énergique, résulte de l'introduction de l'eau dans sa masse, ce qui a lieu lorsque la température extérieure est au-dessus de zéro; car alors il y a fonte à la surface du glacier.

Un exemple mettra en pleine évidence, l'efficacité de ce moyen de réchauffement.

Supposons un glacier couvert d'eau, cette eau sera nécessairement à zéro, ainsi que la surface de la glace, à mesure que l'eau descendra dans l'intérieur du glacier, elle se congèlera dans les points où la température est au-dessous de zéro. Cette congélation, marquera un nouveau degré dans le développement du glacier: s'il est à l'origine de sa formation, et qu'il ne consiste encore qu'en une masse neigeuse, la neige passera à l'état de névé; s'il est déjà arrivé à ce dernier état, le névé deviendra de la glace plus ou moins compacte. Dans tous les cas, le glacier augmente de poids et de volume. Ces transformations se poursuivront ainsi de proche en proche dans toute l'étendue du glacier, jusqu'à ce que par une conséquence de ces congélations successives, la masse entière du glacier soit arrivée à zéro, alors, l'eau l'imbibera en totalité et sortira enfin par sa partie inférieure.

La chaleur latente, dégagée par un mètre cube d'eau qui se congèle est égale à 79000 calories; elle est suf-

fisante pour élever de un degré quatre-vingt-huit mètres cubes de glace.

Ce qui caractérise ce mode de réchauffement, c'est son action sur l'intérieur même du glacier à des profondeurs quelconques, tandis que les deux premières causes citées ne se font sentir qu'à la surface et n'agissent que peu ou même pas du tout dans la profondeur.

Second cas : le glacier a une température supérieure à celle du milieu ambiant.

Puisque le glacier n'a jamais une température supérieure à la glace fondante, l'air sera nécessairement au-dessous de zéro. Dans cette circonstance le glacier ne peut que se refroidir. Nous remarquerons qu'il existe deux causes de refroidissement, correspondant aux deux premières causes de réchauffement qui ont été indiquées dans le cas précédent, ce sont la conducibilité et le rayonnement intérieur ou la diathermanéité ; mais comme on l'a dit, ces causes sont très-peu puissantes, et la température du glacier restera constante à une faible profondeur, à moins que le temps pendant lequel s'exerce l'action refroidissante ne soit extrêmement long ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Depuis la rédaction de ce mémoire, j'ai reconnu, en réfléchissant sur les causes des variations de température de l'intérieur des glaciers, que l'introduction de l'air dans le glacier devait agir aussi pour modifier sa température. Lorsque le glacier n'est pas plein d'eau et qu'il est poreux, il existe un mouvement de l'air qui le porte soit de l'intérieur à l'extérieur, quand le baromètre descend ; soit de l'extérieur à l'intérieur, quand le baromètre monte. De plus, quand le glacier a une grande étendue et qu'il occupe des niveaux très-différents, il s'établit des courants d'air tantôt descendants, tantôt ascendants ; or ces courants, qui sont dus à des différences de pression atmosphérique, peuvent aussi s'établir, quoique très-faiblement, dans l'in-

Pour résumer cette discussion nous dirons, qu'il existe, quant à l'intérieur du glacier, trois causes de variations de température, dont deux agissent tantôt dans un sens tantôt dans l'autre; ce sont la conducibilité et la diathermanéité, la troisième, est due à la chaleur latente que dégage l'eau en se congelant. Cette dernière agit *toujours* dans le sens du réchauffement; elle diffère encore des autres en ce que son action s'étend à toute la masse du glacier et jusqu'aux plus grandes profondeurs, tandis que les deux premières n'ont qu'une action superficielle, et sont peu énergiques.

Nous concluons de ces faits les propositions suivantes :

1^o Lorsqu'une masse de glace ou de neige est placée sous des conditions climatériques telles que la température superficielle s'élève par intervalles au point de fusion, les causes de rechauffement du glacier sont plus actives que les causes de refroidissement.

térieur du glacier. Pour que ce mouvement ait lieu, les pores du glacier doivent être vides, (comme je l'ai dit tout à l'heure) ce qui n'arrive qu'en hiver et par les temps froids; d'où il résulte que cette cause de variation de température pour l'intérieur du glacier, est en général une cause de refroidissement. Cependant cette action est très-faible; car prenant les conditions les plus favorables; supposons le glacier à zéro et l'air à 20°, la capacité de l'air pour la chaleur étant égale à 0,27, il faudrait 455 mètres cubes d'air à 760^{mm} de force élastique, pour abaisser de 1° un seul mètre cube de glace.

Si nous considérons la grande quantité d'air qui serait nécessaire pour refroidir le glacier d'une manière sensible, la résistance que le glacier oppose au mouvement de l'air dans son intérieur, et enfin la grandeur des variations de la pression atmosphérique, qui, à cette hauteur, est toujours plus petite que dans la plaine, on en tirera sans aucun doute, que cette cause refroidissante est très-limitée dans son action, et qu'elle sera surtout très-faible pour ne pas dire nulle, dans les parties les plus compactes du glacier, c'est-à-dire dans les régions inférieures.

2° Les parties d'un glacier *pénétrées d'eau à une grande profondeur* sont à zéro, et se maintiennent à cette température pendant toute l'année. Le froid de l'hiver, congèle le glacier dans tous les points de son pourtour extérieur et la glace acquérant par le froid une grande dureté ⁽¹⁾, l'intérieur est contenu dans une enveloppe résistante, qui soude au sol le glacier par ses bords, et ne laisse à la masse entière qu'un mouvement très-faible de dilatation superficielle, due à la congélation lente de l'eau. Le glacier, à cette époque, est fermé.

3° Dans ces mêmes points, le mouvement du glacier pendant l'été n'est point dû à la congélation de l'eau, (car elle ne peut avoir lieu, puisque nous admettons que le glacier est rempli d'eau, et par conséquent qu'il est à zéro) mais bien à l'action de la gravité qui fait descendre le long des pentes la masse spongieuse et pleine d'eau du glacier.

4° Lorsque le glacier est ainsi arrivé à zéro dans sa masse, les froids intenses et prolongés des hivers longs et rigoureux n'abaissent pas sensiblement la température du glacier, qui d'ailleurs, pendant cette saison, est recouvert d'une couche préservatrice de neige; dès-lors, la chaleur de l'été sera presque exclusivement employée à fondre la glace, et à faire disparaître le glacier.

L'étendue des glaciers, et leur prolongement dans les

(1) On construisit à Saint-Pétersbourg, en 1740, des canons de quatre pouces d'épaisseur et des mortiers en glace d'un calibre égal à ceux de bronze; on chargea les canons de douze onces de poudre chacun; l'explosion fut très-forte; le boulet de l'un d'eux perça une planche épaisse de deux pouces, et aucun de ces canons ne creva. Près de zéro la glace est tendre, friable et poreuse.

vallées dépend de plusieurs conditions, mais les réflexions précédentes nous font voir que la limite inférieure des glaciers peut être placée dans des points dont la température moyenne diffère notablement de zéro; car, ainsi que je viens de le dire, le froid de l'hiver qui abaisse beaucoup la température moyenne, n'a que peu d'influence sur les glaciers. Dans les pays où les hivers sont longs et froids, la limite inférieure des neiges éternelles ⁽¹⁾ correspond à des points qui ont une température moyenne beaucoup plus basse, que dans les localités où cette circonstance ne se présente pas. C'est ainsi que nous expliquerons ce fait fourni par l'observation, que, dans les hautes latitudes, les neiges éternelles se terminent en des points où la température est de 2°, 3°, 4°, 5°, et même 6° au-dessous de zéro. Réciproquement, si les hivers, quoique longs, ont une température près de zéro et que l'atmosphère soit humide, (ce qui arrive fréquemment dans nos climats) les neiges sont abondantes et ne disparaissent pas en totalité par les chaleurs de l'été, à moins qu'elles ne soient intenses et prolongées. Les glaciers se maintiennent alors dans des points dont la température moyenne est de plusieurs degrés au-dessus de la glace fondante. On comprend également que la configuration du sol, aussi bien que les circonstances météorologiques, sont plus ou moins favorables à la prolongation ou au retrait des glaciers. Je reviendrai bientôt sur ce sujet.

Les observations diverses que nous venons de faire,

(1) Cette limite n'est pas la même que celle des glaciers; mais il existe une liaison entre ces deux limites, qui fait que lorsque l'une s'élève, il en est en général de même de l'autre.

sont relatives à la partie du glacier qui est à zéro. Dans cet état, le glacier ne subit pas d'autres modifications que celles qui résultent de son mouvement; il ne s'accroît plus, si ce n'est près de la surface par la congélation de l'eau. Il est arrivé à la fin de son développement, il ne peut que fondre. Les glaciers disparaîtraient par conséquent bientôt, s'il n'y avait pas une cause constante de leur production, dans les neiges qui s'accumulent en grande quantité dans les parties supérieures des montagnes et dans les vallées. Ces neiges ont généralement une température très-basse, et à mesure que l'eau, résultant de la fonte superficielle descend dans l'intérieur, elle se congèle en donnant naissance au névé et à la glace.

Les phénomènes qui ont lieu dans cette partie du glacier sont beaucoup plus complexes que ceux que nous avons analysés précédemment, car il est évident que la formation et la constitution des glaciers dépendent d'un grand nombre de circonstances. La quantité de neige tombée, sa température, la durée plus ou moins grande des causes refroidissantes et réchauffantes, leur intensité, les alternatives plus ou moins nombreuses de chaleur et de froid, la sécheresse et l'humidité de l'air, la latitude, la hauteur au-dessus de la mer, la puissance des chaînes de montagnes, leur élévation, leur configuration, les vents régnans et l'époque à laquelle ils soufflent : tous ces éléments et plusieurs autres, sans doute, ont de l'importance dans cette question, et agissent sur la formation, l'étendue et même la structure des glaciers. Si la neige, par exemple, a une température voisine de zéro, le glacier sera beaucoup moins compacte; il sera friable et présentera peu de soli-

dité ; car l'eau qui pénétrera dans la masse neigeuse, élèvera sa température à zéro, avant que les grains de névé se soient soudés les uns aux autres pour former de la glace compacte. C'est peut-être le cas des glaciers équatoriaux ; si la neige a au contraire une température très-basse, la surface du glacier se consolidera rapidement, l'eau ne s'introduira que lentement et avec peine dans l'intérieur, le glacier sera moins homogène ; ce sera le cas des hautes latitudes.

Ce sont donc les latitudes moyennes, les zones tempérées, qui me paraissent le plus avantageuses au développement des glaciers. Remarquons enfin, que la neige ne tombe en grande quantité que par des températures voisines de zéro ; à 10° et au-dessous, l'atmosphère contient si peu d'eau, que les froids, même les plus intenses, n'en séparent que quelques particules glacées. Des brouillards sont souvent alors le seul effet qui résulte du froid, c'est le phénomène que nous présentent les zones glaciales. D'autre part, la quantité d'eau contenue dans l'atmosphère diminue rapidement avec la hauteur ; à des hauteurs considérables, il ne tombe plus ni eau ni neige. Dans la zone torride, les neiges éternelles sont à une grande élévation ; ce qui est aussi une condition défavorable pour la formation des glaciers. Nous concluons encore de ces considérations, que les zones tempérées renferment le plus grand nombre de conditions favorables à l'existence des glaciers. Il en est de même des climats humides et maritimes, comme nous l'avons déjà dit et comme le prouvent les glaces polaires de l'hémisphère austral.

L'étude des glaciers a pris un intérêt bien grand, depuis que, par les recherches faites sur le grand phéno-

mène erratique, on est arrivé à penser que les glaciers ont eu, à une certaine époque, une étendue prodigieuse. Quelles sont les conditions climatériques qui ont été réunies pour amener ce résultat ? Telle est la question que la connaissance des conditions d'existence des glaciers est appelée à résoudre.
