

dont les prismes sont attachés, on ne saurait douter qu'ils n'aient été formés en place. Or, si on se rappelle les expériences de Saussure sur la température des neiges et des glaces très-élevées, on pourra attribuer ce phénomène à une condensation lente des vapeurs aqueuses opérées seulement à la surface du glacier, pendant un état de calme dans l'atmosphère. Au reste, si cette découverte nous dédommageait de nos fatigues, le succès incomplet que nous allions obtenir fut plus qu'acheté par les difficultés du trajet qui restait à faire.»

Il est bien rare que la glace qui se forme à la surface du sol persiste long-temps; car, dans nos climats, la gelée ne pénètre guère, pendant les plus grands froids, au delà de 65 centimètres (environ 2 pieds); mais il n'en est pas de même dans le Nord. En Russie, la gelée descend à trois mètres, et dans plusieurs parties de la Sibérie la terre reste glacée à six pieds de profondeur. M. Hedenstrom dit que le sol mis à découvert sur plusieurs points de cette contrée, dans les escarpemens des lacs et des lits de rivières, est composé de terres et de couches de glace alternant horizontalement et traversées par des filons verticaux d'une glace plus récente (1), en sorte que l'eau occupe la place d'une roche solide et permanente.

Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupés que de la formation de la glace sur le sol ou à la surface des eaux dormantes, mais on sait qu'il s'en forme aussi dans les eaux courantes, lors même qu'elles ont une certaine vitesse.

Si une rivière n'est pas très-rapide, elle se congèle assez facilement, et c'est ordinairement sur les bords

(1) *Observations sur la Sibérie.*

que la glace commence à se former. Sa cristallisation s'opère comme sur les eaux stagnantes, mais avec moins de régularité et de promptitude, et presque toujours la glace formée est plus mince au milieu que sur les bords. Le contraire a souvent lieu dans le dégel; les bords s'amincissent, se détachent et permettent à la débâcle de s'opérer plus promptement.

En général, la congélation plus ou moins prompte d'un cours d'eau dépend de différentes circonstances qui peuvent se neutraliser en partie ou agir toutes en même temps. L'intensité du froid, sa durée, la vitesse des eaux et leur hauteur plus ou moins grande, l'état du ciel qui favorise ou détruit le rayonnement, sont les principales causes qui modifient les effets de la gelée.

Le froid le plus vif n'est pas toujours celui qui produit le plus tôt la congélation des rivières. M. Arago pense que le rayonnement y contribue pour le moins autant. « C'est ainsi, dit-il, qu'en décembre 1762, la Seine fut totalement prise à la suite de six jours de gelée, dont la température moyenne était de  $-3^{\circ},9$ , et sans que le plus grand froid eût dépassé  $-9^{\circ},7$ , tandis qu'en 1748 la rivière coulait encore après huit jours d'une température moyenne de  $-4^{\circ},5$ , le plus grand froid, dans cet intervalle, s'étant déjà élevé jusqu'à  $-12^{\circ}$ . Cependant la hauteur des eaux, au-dessus du pont de la Tournelle, et cette hauteur, dans chaque rivière, règle constamment la vitesse, était la même aux deux époques. On ne peut guère expliquer cette anomalie, qu'en examinant si les circonstances atmosphériques étaient les mêmes en 1762 et en 1748, et on verra que le thermomètre en plein air n'indique pas toujours exactement la température des corps solides et liquides placés à la surface du globe. En effet, en

1762, les six jours qui précédèrent la congélation totale de la rivière furent parfaitement sereins, tandis qu'en 1748, le ciel était ou nuageux ou totalement couvert. Or, en ajoutant 10 à 12° comme effet du rayonnement de l'eau vers le ciel, au froid indiqué en 1762, on trouvera que, malgré l'indication du thermomètre, l'eau, dans cette année, a éprouvé, à la surface du moins, un froid beaucoup plus vif qu'en 1748, et de là toute contradiction disparaît.

En 1773, la Seine charriait, le 6 février, après cinq jours de gelée, dont la température moyenne fut de — 6° centigrades et la température extrême de — 10°, 6. En 1776, les glaçons flottans ne parurent que le 19 janvier, quoiqu'il gelât depuis le 9, et que, du 15 au 19 exclusivement, la température moyenne eût été de — 8°, 3 centigrades, et la température extrême de — 13°, 1. La hauteur des eaux n'expliquerait pas le phénomène; car en 1776 elle était de 4 pieds  $\frac{1}{2}$ , tandis qu'en 1673 elle s'élevait à 8 pieds. Restent donc les circonstances atmosphériques. Or, les 3, 4, 5 et 6 février furent des jours presque constamment sereins en 1773. Dans l'année 1776, au contraire, du 9 au 19 janvier, le ciel ne se découvrit que pendant peu d'instans. Le rayonnement nocturne est donc ici encore la seule cause qui puisse expliquer comment il est arrivé que, malgré une plus grande hauteur des eaux et un moindre froid de l'atmosphère, la Seine se soit plus facilement gelée en 1773 qu'en 1776 (1).

La vitesse des eaux, lorsqu'elle est grande et que celles-ci sont peu profondes, ne permet qu'une congélation partielle et fort singulière qui s'opère au fond

(1) *Annuaire du bureau des longitudes*, 1828.

de l'eau. La glace qui s'y attache diffère beaucoup de celle qui prend naissance à la surface. Elle est en masses mamelonnées ou hérissées de cristaux, mais toujours très-irrégulières et semblables à de petits pelotons de neige, qui se seraient précipités à demi fondus et se seraient groupés de différentes manières. Elle s'attache de préférence aux corps saillans dans le lit des ruisseaux et semble se comporter alors comme les cristaux de la plupart des sels, qui cherchent, pour se fixer, tout ce qui se présente en saillies dans les bassins où se trouvent leurs dissolutions concentrées. Les rivières, et surtout celles dont les eaux sont limpides, sont quelquefois encombrées par ces sortes de glaces qui tout à coup se détachent si la température vient à s'adoucir, et disparaissent entraînées ou fondues par le courant. On voit même quelquefois, dans les mêmes eaux, la glace se former tantôt à la surface et tantôt au fond. M. Farquharson, qui s'est beaucoup occupé de cette espèce de glace, l'attribue aux variations qui surviennent dans le rayonnement du fond des rivières, par suite de circonstances très-diverses. Il imagine que quand ce rayonnement a lieu par les matériaux solides et opaques du fond de la rivière, à travers la couche d'eau transparente, la congélation s'opère sur la portion du fluide refroidie déjà au point de geler, et en contact immédiat avec le corps qui émet son calorique. Les circonstances qui contribuent à cet effet, en favorisant l'émission, sont principalement un ciel très-serein, une grande transparence des eaux, l'abaissement de la température du fond qui peut être plus rapide que celle de l'eau qui coule dessus, enfin la persistance de la glace à rester attachée au fond tant que le calorique fourni par les couches inférieures solides est ainsi dissipé par le rayonnement.

« Il y a toutefois encore, dit M. Farquharson, un point important à éclaircir. Pourquoi la formation de cette glace n'a-t-elle pas lieu dans une eau tranquille plutôt que dans l'eau courante, puisque le rayonnement paraît plus facile dans la première que dans la seconde? A cela il répond que dans une eau tranquille, l'ordre hydrostatique que M. Arago a démontré comme étant un état des eaux dans les cas ordinaires à la température de  $4^{\circ},6$ , a toute liberté pour s'établir et n'est pas troublé par l'action mécanique du courant. Quand la température d'un corps fluide, en effet, est au-dessous de la température générale, par le contact avec des matières solides, refroidies elles-mêmes par rayonnement, il est déplacé par le liquide plus pesant et plus chaud qui se trouve au-dessus. La glace se forme donc, dans ce cas, à la surface, tant par le concours du froid provenant du rayonnement, que par celui que produit le contact de l'air froid superposé. Dans les courans, l'ordre hydrostatique est renversé, et l'eau la plus froide et qui est en même temps la plus légère ne se mêle plus avec celle du fond, qui est plus chaude; mais dans les endroits tournoyans du courant, elle est amenée tout-à-coup, sans se mêler, en contact direct avec le fond, refroidi déjà à une température de  $0^{\circ}$ ; elle ne peut communiquer aucune portion de chaleur au fond sans qu'une portion se convertisse en glace, dont les aiguilles et les cristaux s'attachent aux corps solides et aux points mêmes auxquels ils ont cédé en partie leur chaleur (1). »

Le mouvement dont l'eau est douée communique aussi à la glace une structure très-singulière, c'est la

(1) *Edimburg new philosophic. Magazine.*

structure testacée qu'elle présente dans la congélation des cascades et dans la formation des stalactites. Dans le premier cas, l'eau violemment ébranlée, abandonne une grande quantité de vapeurs, qui tend à se précipiter et à cristalliser régulièrement autour des plantes, des rochers et sur tous les corps saillans qu'elle peut rencontrer. La cristallisation est alors celle du givre; ce sont des cristaux aciculaires, dont le grand axe est perpendiculaire au support. Mais dans les lieux où l'eau tombe, elle jaillit et s'écarte en gouttelettes nombreuses, qui se solidifient dès qu'elles rencontrent un support. Toutes ces gouttelettes se superposent et forment autant d'écailles glacées, placées en imbrication les unes sur les autres; ce qui donne à la masse une solidité extrême. A peine si l'on peut briser les glaçons, qui se font ainsi à la manière des stalagmites aux environs des cascades. Si le froid continue, les masses d'eau glacée s'élèvent, s'étendent, se ramifient quelquefois, puis se réunissent en longues colonnes torses qui s'élèvent du sol et vont à la rencontre de la chute. Il est difficile de voir quelque chose de plus pittoresque que les festons glacés qui décorent les cascades quand elles n'ont plus la parure des végétaux. Malgré la densité de ces écailles glacées, on reconnaît qu'elles sont formées de glace fibreuse, dont les fibres sont de longueur inégale et convergent toutes vers un centre. On peut considérer chacune de ces plaques convexes comme une portion de sphère, dont la courbure prolongée donnerait la circonférence, c'est-à-dire comme un arc de cercle. Il arrive souvent qu'on ne peut même [au dégel] reconnaître la structure fibreuse de ces écailles. (*Fig. VII.*)

Les stalactites, bien loin d'avoir la solidité de la glace des cascades ou des stalagmites, se brisent avec la plus grande facilité, et l'on peut presque toujours distinguer

leur structure. Elles s'accroissent comme des plantes dont l'extrémité croissante serait dirigée vers la terre. Elles sont composées de couches superposées, dont la dernière est presque toujours la plus nouvelle et forme la pointe des glaçons, en sorte que si les couches étaient distinctes, comme elles le sont dans quelques circonstances, on verrait que leur nombre assez grand vers la base ou le point d'attache, diminue à mesure qu'on approche de l'extrémité, et que la stalactite est formée par un nombre indéterminé de cônes transparens qui s'emboîtent avec exactitude. La glace qui les forme est toujours fibreuse, et ses fibres sont perpendiculaires à l'axe central, ce qui permet de concevoir la facilité avec laquelle on peut les briser en travers, c'est-à-dire dans le sens du clivage et de la juxtaposition de leurs cristaux. (*Fig. VIII.*)

L'eau douce gèle beaucoup plus facilement que l'eau salée, cependant celle-ci se congèle quand le froid est assez intense. Ainsi le lac Baikal se couvre de glace vers la fin de novembre, plus d'un mois après que toutes les rivières du pays sont arrêtées. Il dégèle aussi un mois plus tard. Patrin rapporte qu'il se trouva sur la glace vers la fin d'avril; ce ne fut pas, dit-il, sans quelque danger. « Le long de sa rive orientale où l'eau est basse à cause des atterrissemens qui y sont apportés par la Selenga et par d'autres rivières, il était dégelé à une grande distance; je fis près d'une lieue en bateau pour atteindre la glace; je trouvai ensuite des fentes considérables qu'on eut assez de peine à faire franchir à mes voitures, malgré les longues et fortes planches dont j'étais pourvu. »

« Quand j'approchai de sa rive occidentale, où l'eau est profonde, et qui est bornée de hautes montagnes, je trouvai la glace moins mauvaise, à l'exception d'un

grand nombre d'ouvertures qui ont depuis 10 jusqu'à 30 et 40 pieds de diamètre, et qui sont occasionnées par des sources chaudes et où l'eau ne gèle jamais, quelque froid qu'il fasse, lors même qu'il atteint 35 ou 40 degrés. »

L'eau qui résulte de la fonte des glaces qui se sont formées sur l'eau salée, est presque toujours douce ou du moins contient très-peu de sel, mais cette glace est toujours bien plus fragile que la glace ordinaire. Cette dernière acquiert une grande densité dans les pays du Nord, et elle résiste aux efforts les plus violens.

Voici ce que Meiran rapporte à ce sujet :

« Pendant l'hiver de 1740, on construisit à St-Petersbourg, suivant les règles de la plus élégante architecture, un palais de glace de 52 pieds et demi de longueur sur 16 pieds et demi de largeur et 20 pieds de hauteur, sans que le poids des parties supérieures et du comble, qui étaient aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Newa, rivière voisine, où la glace avait environ 2 ou 3 pieds d'épaisseur, en avait fourni les matériaux. Pour en augmenter la merveille, on plaça au-devant du bâtiment six canons de glace avec leurs affûts de la même matière, et deux mortiers à bombes dans les mêmes proportions que ceux de fonte. Ces pièces étaient du calibre de celles qui portent ordinairement trois livres de poudre; on ne leur en donna cependant qu'un quarteron, et on les tira. Le boulet d'une de ces pièces perça, à soixante pas, une planche de 2 pouces d'épaisseur. Le canon, dont l'épaisseur était au plus de 4 pouces, n'éclata pas par cette explosion. »

La glace des glaciers, que nous allons étudier, est loin de présenter les mêmes caractères et surtout la même solidité.

## DES GLACIERS.

Quand la neige tombe en gros flocons, elle occupe un espace dix fois plus considérable que l'eau qui résulterait de sa liquéfaction. Si elle tombe en paillettes fines, elle tient moitié moins de place. C'est sous cet état qu'elle descend le plus ordinairement dans tous les lieux élevés, sur toutes les hautes chaînes de montagnes où elle se tasse peu à peu, et acquiert alors une densité trois fois moindre que l'eau ordinaire, à cause des vides nombreux qui existent encore entre tous ses cristaux. De vastes amas d'eau glacée de cette nature prennent le nom de *champs de neige*, et occupent temporairement des espaces immenses dans les climats du Nord, et éternellement sur les hautes montagnes et près des pôles. Ils sont l'origine des *glaciers*, grands fleuves congelés qui partent des champs de neige, et qui descendent lentement dans les vallées des montagnes, suivant leur pente, comme le ferait une rivière, s'embranchant quand elles se divisent, et portant au loin les débris qu'ils ont arrachés aux aiguilles élancées qui les dominent. C'est un spectacle magnifique que celui de ces hautes régions, quand on jette les yeux pour la première fois sur ces mers de glaces, tant de fois décrites, et dont les descriptions ne peuvent jamais peindre les beautés. Rien ne peut représenter toutes ces formes bizarres où l'imagination voit partout des palais, des châteaux, des ruines et des obélisques, et se croit souvent transportée loin du globe que nous étudions; où l'artiste vient chercher ces effets de lumière inconnus aux habitans des plaines, ces teintes sombres et éclatantes à la fois, que réfléchissent mille fragmens aux contours bizarres et fantastiques; où le poète

enfin rencontre ces émotions puissantes que le vulgaire ne comprend pas, tandis que le philosophe vient méditer, au bruit des avalanches, sur l'avenir lointain de notre planète glacée. De larges crevasses partagent les glaciers, et présentent cette teinte d'un bleu céleste qu'offre une mer pure et profonde, que donne le ciel dans ces hautes régions, et que les glaciers eux-mêmes offrent de loin au voyageur.

L'épaisseur des glaciers est très-variable; elle dépend de leur étendue et de la pente de la vallée dans laquelle ils se sont épanchés. Le glacier des Bois offre une masse de 80 à 100 pieds de haut, mais certains amas de glaces ont une épaisseur bien plus grande.

Ils occupent généralement des vallées transversales, et rarement les grandes vallées parallèles aux chaînes de montagnes. Le glacier des Bois, près de Chamouni, a près de cinq lieues sans aucune interruption, sur une largeur variable, mais qui vers le haut est de plus d'une lieue. Celui de Grindelwald, qu'on regarde comme le grand réservoir des eaux du Rhône et du Rhin, a près de quinze lieues de longueur. Tantôt de larges crevasses ou des fentes moins profondes divisent en polyèdres toute la masse d'un glacier, d'autres fois la surface est unie et ne présente nul obstacle à celui qui veut le traverser. Rarement cette surface est glissante comme celle de la glace ordinaire, elle est plus souvent rude et grenue. Les glaciers n'atteignent jamais les plus hautes sommités des montagnes; celles-ci, presque toujours nues et décharnées, ont des pentes trop rapides pour que la neige puisse y séjourner. On y aperçoit bien de temps en temps des neiges éphémères; mais elles roulent en avalanches, et se dispersent en poussière au gré des vents. Les hauts plateaux eux-mêmes reçoivent la neige sans se couvrir de glace,

car la température est trop basse pour qu'elle puisse éprouver un commencement de fusion, et dès-lors elle reste sous forme de poussière ou de neige tassée. Cette observation a été faite par toutes les personnes qui ont atteint des sommités très-élevées. Ramond remarqua la même chose au sommet du Mont-Perdu.

« Le pic est couvert de neige, depuis le grand glacier jusqu'à sa cime; mais vers le haut, l'épaisseur des neiges est peu considérable, parce que la forme tranchante du faite de la montagne n'en souffre point l'accumulation. Au sommet, elles ne m'ont pas paru avoir plus de trois mètres de profondeur. Leur consistance est rare et légère, et elles ne recèlent que peu ou point de glace, attendu que les dégels sont ici de trop courte durée pour les imprégner d'eau, et que la petite quantité qui se forme durant les plus beaux jours de l'été s'écoule promptement le long des deux versans. Mais sur la pente septentrionale, ces mêmes neiges prennent peu à peu de la solidité, et se transforment bientôt en un vaste glacier, qui descend jusqu'au bord du lac, et dont la hauteur verticale est d'environ 800 mètres (1). »

En effet, l'origine des glaciers est due à la fonte partielle des neiges. Elles se ramollissent et s'imprègnent d'eau pendant les jours chauds de l'été, puis se congèlent pendant la nuit. Il en résulte une glace poreuse et légère, qui descend sous forme de courans bien au-delà des limites inférieures des neiges perpétuelles, et l'on voit quelquefois de grandes masses

(1) RAMOND, *Voyage au mont Perdu. Journal des Mines*, t. XIV, p. 332.

de glaces ombragées par la végétation. La chaleur de l'été ne peut pénétrer d'aussi grands amas d'eau glacée. De nouvelles couches de neige arrivent à leur origine, et les compriment de tout leurs poids, en sorte qu'ils ont réellement une marche bien marquée, dont la vitesse semble augmenter et diminuer quelquefois. On a vu des glaciers envahir des vallées, s'étendre sur des prairies, engloutir des hameaux, et agir comme le font ces vastes courans de lave qui s'épanchent en bouillonnant au pied des cônes volcaniques. Tandis que le glacier augmente par une superposition de couches, il se détruit par son contact avec le sol. Abrisé par des couches supérieures, il fond au contact de la terre; et produit ainsi sur son long trajet un ruisseau d'eau froide qui se fait jour à son extrémité, et creuse souvent à son point de sortie des grottes à parois transparentes, et semblables à du cristal. Là des éboulemens s'opèrent, des fragmens de glace se détachent et réfléchissent les nuances délicates des fleurs qui leur disputent le sol de la vallée.

Les glaciers augmentent donc d'un côté et se détruisent de l'autre. L'évaporation agit à leur surface; leur poids les entraîne dans les lieux bas où la chaleur est plus forte. C'est ainsi que dans la vallée de Chamouni on voit descendre le glacier des Buissons, ceux des Bois et de l'Argentière, qui emmènent avec eux les témoins du chemin qu'ils ont parcouru.

En effet, tous les grands glaciers ont à leur extrémité inférieure et le long de leurs bords de grands amas de sable et de débris produits par les éboulemens des montagnes qui les dominent. Souvent même les glaciers sont encaissés dans toute leur longueur par des espèces de parapets composés de ces mêmes débris, que les glaces latérales de ces glaciers ont déposés sur leurs bords.