Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 10 (1868-1870)

Heft: 64

Artikel: Recherches sur la condensation de la vapeur aqueuse de l'air au contact de la glace et sur l'évaporation

Autor: Dufour, C. / Forel, F.-A.

Kapitel: Appendice IV : notice sur les pierres enchâssées dans la glace du glacier du Rhône, par le Dr. F.-A. Forel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-256587

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: 11.07.2025

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

APPENDICE IV.

Notice sur les pierres enchâssées dans la glace du glacier du Rhône, par le Dr F.-A. Forel.

Le dogme de l'immaculée pureté de la glace des glaciers, après avoir longtemps régné sans contestation, aussi bien dans l'opinion du public que dans les dissertations des naturalistes, a dû céder devant l'évidence des faits. Plus ou moins dans tous les glaciers, l'un a pu reconnaître en effet, enfouis, enchâssés dans la glace, des corps étrangers de volume divers, des blocs, des cailloux, des galets, des pierres, du gravier, du sable, de la poussière, et même des débris de corps organisés. C'est sur un détail de la situation de ces corps enchâssés dans la glace vive du glacier du Rhône, que je veux attirer l'attention.

En attaquant avec le pic la paroi de glace de la crevasse où nous étions installés pour les expériences ci-dessus relatées, j'ai rencontré quatre pierres de grosseurs diverses, enchâssées dans la glace, et j'ai reconnu qu'elles présentaient toutes les quatre la particularité suivante : chacune d'elles était libre dans une cavité creusée aux dépens de la glace. Au lieu d'être pressée de tous les côtés, par la glace qui l'entourait, la pierre était libre par sa face supérieure et reposait au fond d'une cavité cylindrique, verticale, formant voûte au-dessus d'elle, dont la section horizontale avait la figure même de la pierre, dont la hauteur variait de 5 à 10 centimètres. Il semblait que la pierre se fût enfoncée au milieu d'un corps mou, en laissant au-dessus d'elle un vide, comme témoin de son passage, et j'ai même été tenté d'expliquer ainsi la formation de cette cavité, en supposant que l'action prolongée de la pesanteur du corps lourd de la pierre avait pu, pendant la longue série d'années que dure le voyage du glacier, faire fléchir la masse faiblement plastique de la glace, et laisser ainsi la pierre s'affaisser de quelques centimètres au sein de la glace qui l'entourait. Je donnerai plus bas une autre explication de ce phénomène, mais je ne sais pas mieux décrire cette position des pierres enchâssées au fond de leur cavité cylindrique, qu'en racontant cette première tentative d'interprétation.

J'ai cherché à vérifier si ce fait était constant, et partout où la surface du glacier était assez salie pour que je pusse espérer la présence de pierres enchâssées, j'ai creusé la glace vive pour en

chercher. J'ai ainsi trouvé une quinzaine de pierres gisant au milieu de la glace, et dans tous les cas j'ai pu constater la présence d'une cavité au-dessus de la pierre.

Ces pierres étaient de dimensions fort diverses, variant depuis la grosseur d'une noisette jusqu'à un diamètre de 30 centimètres. Leur position, relativement à la surface générale du glacier, était aussi fort différente; j'ai trouvé les unes en creusant la surface même du glacier, à quelques centimètres de profondeur; j'en ai trouvé d'autres en attaquant la paroi des crevasses, et cela même à une assez grande profondeur, au-dessous de la superficie générale, à 2, 3 et 4 mètres. Mais toutes avaient cela de commun dans leur situation, c'est qu'elles étaient toutes assez près de la paroi de glace; c'est que vu le mode de recherche que j'étais obligé d'employer, et ne pouvant creuser très profondément, je n'ai constaté la position que des pierres distantes de moins de 40 centimètres de la surface de la glace, soit de la surface inférieure du glacier, soit des parois des crevasses.

Dans ces limites c'est-à-dire à moins de 40 centimètres de profondeur à partir de la paroi de glace, que ce soit verticalement au-dessous de la surface du glacier, que ce soit horizontalement jusqu'à 3 et 4 mètres de profondeur dans des crevasses, je puis dire que toutes les pierres que j'ai trouvées enchâssées dans la glace du glacier du Rhône présentaient la particularité que je viens de décrire.

Les pierres situées plus profondément, plus loin de la surface, présentent-elles le même fait dans leur position? C'est ce que je ne puis affirmer. Si même l'interprétation que je vais donner de cette situation est exacte, je répondrais négativement à cette question. Et, le fait est, que depuis que l'on creuse des grottes artificielles dans les glaciers, soit pour en extraire la glace destinée à la consommation, soit pour faire admirer aux touristes la douceur incomparable de la lumière azurée qui a traversé la glace, je ne sache pas que l'on ai jamais constaté dans la position des pierres qu'ont certainement rencontrées les travailleurs, l'anomalie que je signale.

Une expérience de Dollfuss-Ausset[1] me servira à expliquer le phénomène qui nous occupe. Voulant vérifier le zéro d'un thermomètre, il le plaça dans un vase de bois en plein soleil du mois de septembre 1862, au Pavillon de l'Aar; la boule était enfoncée

---

[1] *Dollfuss-Ausset*. Matériaux pour l'étude des glaciers, t. V p. 456. Paris 1864.

sous une couche de 3 centimètres de neige de nevé; le thermomètre marquait + 0°,4. Une nouvelle vérification faite le lendemain matin à l'ombre lui prouva que le zéro de son thermomètre était cependant juste. L'action des rayons solaires avait réchauffé, à travers la neige, la boule du thermomètre.

Pour exagérer cette action, Dollfuss fixa la boule d'un thermomètre dans un flacon rempli de suif fondu, noirci par du charbon pilé très fin; il recouvrit le tout d'une couche de neige, et, le plaçant alternativement à l'ombre et au soleil, il lut sur l'échelle thermométrique, dans le premier cas 0°, dans le second + 4°,0.

J'ai répété cette expérience, dans les conditions suivantes. J'ai d'abord fixé la boule d'un thermomètre à mercure dans un tube de verre de 1 centimètre de diamètre et 7 centimètres de long, rempli de cire fondue, et noircie avec du charbon pilé. Je l'ai laissé reposer dans de la neige pendant 12 heures, de manière à ce que le thermomètre et son enveloppe fussent bien descendus à zéro.

Je choisis ensuite un bloc de glace de rivière de 15 centimètres d'épaisseur dans lequel je pratiquai à l'aide d'un jet d'eau chaude, un trou perforant de 2 centimètres environ de diamètre. J'en fermai l'orifice inférieur au moyen d'un bouchon de neige fortement tassée, je plaçai dans le trou la boule de mon thermomètre, entourré de sa chemise de cire noire, et j'en obturai l'orifice supérieur, autour du tube du thermomètre, avec un second bouchon de neige. J'eus soin d'entourer tout le tube extérieur du thermomètre d'une masse de neige, et je m'arrangeai pour faire les lectures à l'échelle du thermomètre en pratiquant de 5 en 5 minutes, un trou au travers de l'enveloppe de neige qui entourait de toutes parts l'instrument. Je plaçai tout cet appareil aux rayons du soleil, le 8 janvier 1871, à 10 heures 10 minutes du matin.

A ce moment la paroi de glace qui entourait la boule du thermomètre avait à son point le plus faible une épaisseur de deux centimètres environ. Je vis bientôt le thermomètre monter rapidement, et je pus faire les lectures suivantes :

à heures	10,10	matin	+ 0°,0
	10,22	»	9°,4
	10,33	»	12°,4
	10,37	»	13°,5
	10,42	»	14°,2
	10,47	»	15°,1
	10,52	»	15°,5
	10,56	»	16°,0
	11,01	»	16°,4
	11,09	»	16°,8

A la fin de l'expérience, la paroi de glace avait encore une épaisseur de un centimètre environ; le diamètre du trou foré dans la glace s'était notablement élargi.

En une heure de temps, le thermomètre, que j'avais ainsi placé dans un milieu absolument entouré de toutes parts de glace, s'était donc élevé, par l'action seule des rayons solaires traversant la paroi de glace, à une température de 16°,8.

Pendant ce temps la température à l'ombre était de 1°,4 et un thermomètre à mercure, exposé en plein soleil, oscillait entre 8°,4 et 10°,3.

Je cherchai ensuite à répéter la même expérience en remplaçant la paroi de glace par une paroi de neige. Pour cela, après avoir entouré tout le bloc de glace d'une forte couche de neige, je brisai la paroi de glace qui séparait de l'extérieur le trou dans lequel était placé le thermomètre, et je la remplaçai par une couche de neige fortement tassée, de deux centimètres environ d'épaisseur. Je fis alors, par le même procédé, les lectures suivantes, l'exposition au soleil ayant commencé à 11 h. 17 m. du matin :

à heures 11,22	le thermomètre marquait	5°,7
11,27	»	5°,8
11,32[2]	»	6°,2
11,41	»	4°,5
11,50	»	4°,9
12, 5	»	6°,3

Enfin, après avoir séché la boule noircie de mon thermomètre, je l'exposai dans l'air libre aux rayons directs du soleil, et je pus lire :

à heures 12,10	10°,0
12,20	25°,2
12,50	31°,8

En résumé je conclurai de ces expériences que la glace de rivière est assez fortement diathermane, que la neige l'est beaucoup moins, et comme la glace des glaciers est par sa structure, intermédiaire entre ces deux formes d'eau congelée, je crois pouvoir admettre pour elle un certain degré de diathermanéité.

---

[2] Après la lecture de 11 h. 32, la neige, formant écran au devant de la boule du thermomètre, s'était imbibée d'eau de fusion et commençait à devenir un peu transparente. Je renforçai alors la couche de neige en y ajoutant une épaisseur d'un centimètre environ de neige fraîche; c'est ce qui explique l'abaissement de température que l'on peut remarquer à la lecture de 11 h. 41 m.

De ces observations et expériences, je tire l'explication suivante de la formation de la cavité dans laquelle reposent les pierres enchâssées du glacier du Rhône.

La chaleur directe des rayons du soleil et la chaleur réfléchie par les parois de rochers qui encaissent le glacier[3], pénètrent plus ou moins à travers la glace, et venant se condenser sur le corps opaque de la pierre enchâssée dans la glace, peuvent en élever la température. La pierre, du moment que sa température s'élève quelque peu au-dessus de zéro, commence à fondre la glace autour d'elle, l'eau de fusion s'écoule par les fissures capillaires qui caractérisent la glace des glaciers, et la pierre s'enfonce peu à peu. C'est précisément la marche contraire de ce qu'avait imaginé Agassiz, pour expliquer l'exhaussement dans le sein du glacier des blocs et pierres qu'il contient et leur apparition à la surface.

Pour éprouver la justesse de cette explication, j'ai institué l'expérience suivante, que j'ai répétée plusieurs fois avec des résultats toujours identiques.

Le 8 janvier 1871, je remplis de neige un bassin de cuivre de 7 centimètres de profondeur; je sème à sa surface une vingtaine de petites pierres, de la grosseur d'une noisette, et de différentes couleurs; je recouvre le tout d'une couche de 2 à 3 centimètres de neige fortement tassée, et j'expose le tout aux rayons du soleil à 11 heures 40 minutes du matin. Au bout de 45 minutes d'exposition au soleil, je place le bassin, recouvert d'une plaque métallique dans un mélange de neige et de sel, et le laisse geler fortement. Quelques heures après, je dissèque attentivement avec un canif la neige contenue dans le bassin, et retrouve l'une après l'autre les pierres qui y étaient enchâssées.

J'ai constamment obtenu les résultats suivants :

1° Les pierres blanches (spath calcaire ou quarzite) n'avaient pas fondu la neige autour d'elles, ou ne l'avaient fondue qu'à un degré minime.

2° Les pierres noires (calcaire) avaient, par la fusion de la neige, développé autour, et surtout au-dessus d'elles, une cavité parfaitement comparable à celles que j'ai décrite autour des pierres enchâssées du glacier du Rhône.

---

[3] La quantité de chaleur réfléchie par les rochers peut-être considérable, si l'on en juge par la fusion rapide de la rive droite du front du glacier (voir notre plan).

3° La cavité produite ainsi autour de la pierre, était plus ou moins profonde suivant l'intensité de la coloration de la pierre et suivant sa distance de la surface libre de la neige. La hauteur le plus forte que j'ai constatée dans ces cavités a été de 5 millimètres environ.

Ces expériences combinées avec l'élévation de température de la boule noircie d'un thermomètre enchâssé dans la glace, confirment d'une manière très satisfaisante, l'interprétation que j'ai donnée de la formation de la cavité des pierres du glacier du Rhône.

Je vais maintenant utiliser ces observations pour expliquer, d'une manière plus exacte, à ce que je crois, que cela n'a été jusqu'à présent fait, un petit détail que présente à l'observation la surface des glaciers.

Tous ceux qui ont étudié un peu attentivement les glaciers, ont été frappés de la singulière anomalie que présentent certaines pierres reposant à la surface du glacier. Là où celle-ci est recouverte par le gravier irrégulier qui la salit, on peut généralement remarquer un certain nombre de pierres de ce gravier qui au lieu de reposer comme la grande généralité des cailloux sur la surface même de la glace ou dans de légères dépressions de quelques millimètres de profondeur, sont situées au fond de trous verticaux de 5 à 10 centimètres de profondeur. Un nombre relativement très petit des pierres qui recouvrent une surface donnée, présente ce caractère, et cette position est assez frappante pour avoir souvent été décrite. Tous les auteurs qui s'en sont occupé, l'expliquent par la fusion de la glace, causée par une absorption inégale de la chaleur solaire; certaines pierres, disent-ils, absorbant une grande quantité de chaleur, se réchauffent puissamment, et alors fondent la glace au-dessous d'elles, jusqu'à ce qu'elles se trouvent placées au fond d'un puits vertical. A ce moment, soustraites à l'action directe des rayons solaires par les parois du trou au fond duquel elles gisent, elles ne s'échauffent pas plus que la glace qui les entoure. Celle-ci disparaît ensuite sous l'influence de l'ablation, et la pierre réapparaît petit à petit à la surface, pour recommencer à s'enfoncer, alors qu'elle aura de nouveau été échauffée par les rayons du soleil.

Le nombre relativement très-faible de pierres offrant cette position anormale au fond de puits verticaux aurait dû avertir du peu de justesse de cette interprétation. Je n'ai point fait de dénombrement précis à cet égard, mais j'exprimerai l'impression que m'a fait ce nombre relatif, en disant que, sur le glacier du Rhône, c'était moins du 5 pour cent des pierres de la surface, qui gisaient dans ces puits verticaux de 1 à 10 centimètres de profon-

deur. Or si la théorie jusqu'à présent adoptée était exacte, toutes les pierres colorées de la surface du glacier devraient être dans ce cas et présenter tous les degrés intermédiaires entre un enfoncement nul et un enfoncement maximum.

N'avons-nous pas, au contraire, dans ce que je viens de décrire, dans l'existence, au-dessus des pierres enchâssées, d'une cavité creusée aux dépens de la glace, n'avons-nous pas là l'explication toute simple des puits verticaux, dont je discute à présent l'origine? Que l'ablation vienne à enlever la glace jusqu'au niveau de la partie supérieure de la cavité d'une pierre enchâssée, la pierre apparaîtra au fond de son trou, tout-à-fait dans les mêmes conditions que nous observons à la surface du glacier. La rareté des pierres enchassées dans la glace concorde bien avec le petit nombre des pierres de la surface, qui gisent au fond de puits verticaux.

L'on m'objectera que l'échauffement, par l'action des rayons solaires, des graviers isolés à la surface du glacier doit faire fondre la glace au-dessus d'eux et les faire enfoncer. — Je le reconnais; c'est un fait incontestable, et prouvé par les creux profonds de quelques millimètres, dans lesquels sont incrustés tous les grains de sable, tous les graviers isolés à la surface des glaciers, prouvé encore par la dépression que forme sur le glacier le corps d'un insecte ou la feuille morte que le vent y a portée; j'utilise même, on l'a vu, cette élévation de température qui doit avoir lieu, même au travers d'une couche de glace, pour expliquer la formation de la cavité des pierres enchâssées. Mais j'estime que la valeur de l'ablation doit être en somme plus rapide que celle de l'enfoncement dû à cette cause, et que, en définitive, l'échauffement d'un corps opaque ne peut pas à la surface du glacier l'enfoncer à plus de quelques millimètres dans la glace.[4]

En résumé, j'attribue à l'échauffement par les rayons solaires, agissant à travers la glace la formation de la cavité qui domine les pierres enchâssées dans la glace.

J'attribue à la mise au jour, par les progrès de l'ablation de cette cavité, l'existence à la surface du glacier des trous verticaux profonds au fond des quels gisent des pierres isolées.

---

[4] Dans quelques circonstances exceptionnelles, cet enfoncement des corps opaques placés à la surface, peut cependant peut-être dépasser en rapidité la valeur de l'ablation. Ainsi le cas où un soleil très intense réchaufferait fortement les corps opaques, tandis que la sécheresse extrême de l'air maintiendrait, par le froid dû à l'évaporation, la surface du glacier gelée; l'ablation serait alors presque nulle, la glace n'étant attaquée que par l'action de l'évaporation, l'enfoncement des corps opaques pourrait par contre être assez important.