

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band: 3 (1881-1883)

Artikel: Quelques mots sur la formation de la glace et sur la glace de fond
Autor: Cuony, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-306697>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

QUELQUES MOTS
SUR LA FORMATION DE LA GLACE
ET
SUR LA GLACE DE FOND

par **H. Cuony.**



Le *Correspondant* du 10 janvier 1880 contient une Chronique scientifique de M. Henri de Parville, dans laquelle nous relevons, au sujet des effets de l'hiver rigoureux de 1879-80, le passage suivant.

Après avoir constaté que la température de l'eau de la Seine était de 0° et de $+ 1^{\circ}$ sous la glace, alors que celle de l'air était beaucoup plus basse, M. de Parville dit :

« On ne s'expliquerait guère cette température supérieure de 10° de l'eau renfermée dans la glace, si l'on n'avait présent à la mémoire le mode de formation des glaçons dans une rivière. *Ce n'est pas par la surface que l'eau se congèle. Les glaçons viennent tous formés du fond de l'eau.* Le maximum de densité de l'eau se trouve, comme on sait, par suite d'une anomalie singu-

lière, à $+ 4^{\circ}$; aussi les couches refroidies à 4° descendent de la surface au fond ; le fond se refroidit sans cesse, et la température atteint bientôt zéro dans les couches moyennes ; enfin a lieu la congélation. La glace, étant plus légère que l'eau, remonte à la surface. Les glaçons se multiplient rapidement, se soudent entre eux, et le fleuve se prend superficiellement ; le refroidissement de la glace s'accroît, l'eau qui est au-dessous se gèle à son tour, et la première couche glacée augmente successivement d'épaisseur. L'eau, sous la glace, est alors en général à zéro. Mais si la température extérieure s'élève, la température de la glace s'élève à son tour et par contre-coup la température de l'eau monte aussi. C'est ainsi que l'on peut avoir sous glace de l'eau au-dessus de zéro. L'étonnement de quelques personnes en face de ce résultat, paradoxal de prime abord, provient de ce qu'elles ne réfléchissent pas que la neige ou la glace prennent, comme tous les autres corps, des températures variables selon le froid extérieur. »

Cette assertion de M. de Parville, qui est en contradiction avec les principes admis jusqu'ici par la science, a soulevé, comme on le sait, de vives discussions dans le sein de la Société fribourgeoise des Sciences naturelles, soit au sujet de la théorie de la formation de la glace, soit au sujet de l'explication des glaces de fond que l'on rencontre quelquefois pendant les hivers rigoureux dans les ruisseaux et dans les rivières peu profondes.

Ces discussions nous ont engagé à examiner la chose de plus près et à faire quelques expériences à ce sujet.

M. de Parville n'a évidemment pas réfléchi qu'il était en complète contradiction avec lui-même, quand, d'un côté, il dit que les couches d'eau refroidies à $+ 4^{\circ}$ descendent de la surface au fond, et que, de l'autre, il

affirme que ce n'est pas par la surface que l'eau se congèle et que les glaçons viennent tous formés du fond de l'eau.

En effet, si l'eau refroidie à la surface jusqu'à $+ 4^{\circ}$ tombe au fond, il est évident qu'elle devra y rester, puisque, étant à son maximum de densité, elle ne peut être déplacée par de l'eau d'une densité inférieure à la sienne. Les couches qui lui sont superposées, atteindront graduellement les températures de 3, 2, 1, 0° . Les premières qui arriveront à zéro, seront nécessairement celles de la surface, puisque c'est à cette température qu'elles ont la plus faible densité, qu'elles sont le plus légères. C'est alors que la glace se forme à la surface. Plus tard seulement, le froid atmosphérique continuant à exercer son influence, les couches inférieures se refroidiront successivement de haut en bas jusqu'à zéro et viendront augmenter l'épaisseur de la couche de glace formée.

Ces faits sont facilement démontrés par l'expérience suivante. On dispose dans un cylindre en verre rempli d'eau, placé devant un écran de papier noir, deux thermomètres, dont l'un plongeant jusqu'au fond du vase, et l'autre ayant sa boule fixée un peu au-dessous de la surface de l'eau. Si l'on expose maintenant tout l'appareil, à l'air libre, à une température de 6 à 10° au-dessous de zéro, on verra le thermomètre inférieur descendre le premier jusqu'à 4° , puis rester longtemps stationnaire, pendant que le thermomètre supérieur descendra rapidement jusqu'à zéro. A ce moment, la surface commence à se congeler, alors que le fond est encore à $+ 4^{\circ}$. Les aiguilles de glace partent généralement des bords du vase pour converger vers le milieu ; puis, de la mince couche de glace formée à la superficie, partent des aiguilles qui se dirigent de haut en bas, ordinairement

sous une très faible inclinaison (*). Ces aiguilles s'entourent de branches latérales disposées comme les barbes d'une plume ou les pinnules d'une feuille de fougère ; elles se rejoignent et finissent par se souder entre elles. La couche de glace formée à la surface atteint une épaisseur de près d'un centimètre, tandis que le thermomètre placé au fond du vase marque encore $+ 2^{\circ}$.

L'expérience est convaincante. Nous l'avons répétée à plusieurs reprises, en observant la colonne d'eau soit contre un écran noir, soit contre un écran de papier blanc, et nous n'avons jamais vu d'aiguilles se former au fond de l'eau.

Cependant, nous opérions dans des conditions bien plus défavorables que celles dans lesquelles se trouvent les rivières et les lacs. En effet, si mauvais conducteur de la chaleur que soit le verre, la colonne d'eau contenue dans notre cylindre était néanmoins refroidie de tous les côtés, tandis que dans la nature le froid atmosphérique n'agit que sur la surface de l'eau, le sol, au fond, étant encore réchauffé par la température plus élevée de la terre.

Nous avons cherché à écarter ces circonstances défavorables et à opérer à peu près dans les mêmes conditions que la nature, en faisant refroidir de l'eau par la surface seulement.

Pour cela, nous avons rempli un vase d'eau à 4° , la température de l'air ambiant étant également de 4° . Nous avons versé sur la surface de cette eau une couche d'éther de quelques millimètres d'épaisseur, que nous

(*) Cette dernière observation a été faite déjà par *Berzelius*. Dans son traité de chimie, au chapitre cristallisation, nous lisons la phrase suivante : Si l'on fait congeler de l'eau lentement, par un froid peu intense, dans un vase en verre à parois très minces, on voit se former premièrement une mince feuille de glace à la surface ; de cette feuille partent, sous des angles de 60° , des aiguilles de glace, sur lesquelles d'autres aiguilles latérales viennent sur gir.

avons fait évaporer le plus rapidement possible en soufflant légèrement dessus, tout en ayant soin de remplacer de temps en temps l'éther évaporé. Au bout d'un moment, la température de la surface est descendue à — 2°, et après un quart d'heure, nous vîmes apparaître le premier cristal de glace, une étoile avec des rayons en pinceau. Ce premier cristal s'est formé non pas au bord, mais vers le milieu de la surface, là où le souffle produisait la plus rapide évaporation de l'éther et partant le plus grand froid. La couche de glace, quoique peu compacte, eut bientôt atteint l'épaisseur d'un centimètre ; le thermomètre placé au fond du vase est resté constamment stationnaire à 4°. Le vase employé mesurait 8 centimètres de diamètre sur 13 centimètres de hauteur et contenait environ un demi-litre.

Ceci nous explique comment il se fait que quelquefois dans un lac la première glace se forme sur un point quelconque moins abrité de la surface, ou bien là où le vent produit une plus grande évaporation, alors que les bords ne sont pas encore congelés.

On vérifie aussi le fait que l'eau atteint son maximum de densité à 4° et qu'elle se dilate de 4° à zéro, en comparant la marche d'un thermomètre à eau colorée avec celle d'un thermomètre à mercure. Si l'on place un pareil thermomètre dans de l'eau à 4°, et qu'ensuite on le plonge dans de l'eau à 2°, on verra monter le liquide thermométrique. Si on le transporte ensuite dans de l'eau à zéro, le liquide montera encore davantage. Qu'on le replace dans de l'eau à 4°, et l'on verra redescendre la colonne thermométrique. Si de là on le transporte dans de l'eau à 8°, le liquide remontera et se tiendra à peu près au même point que dans l'eau à zéro ; c'est-à-dire que l'eau à zéro occupe à peu près le même volume qu'à 8°.

C'est grâce à cette sage anomalie de la nature, que le fond de tous les grands lacs se maintient constamment à la température de 4° , que nos rivières ne gèlent jamais complètement, et que la vie y est rendue possible aux poissons, même pendant les hivers les plus rigoureux.

* * *

La formation de la glace de fond, dont nous avons parlé plus haut, semble être en contradiction avec les principes et les faits énoncés ci-dessus. Il n'en est cependant rien.

La formation de la glace de fond reconnaît une cause très différente de celle qui agit lors de la congélation des lacs et des fleuves. Cette cause, à notre avis, c'est la conductibilité du sol ; c'est la propagation du froid, depuis les bords de la rivière, à travers le sol qui est bien meilleur conducteur de la chaleur que l'eau ; c'est le refroidissement du sol lui-même jusqu'à une certaine profondeur.

Les cours d'eau rapides ne gèlent jamais, et cela grâce à leur vitesse. Comme on le sait, tous les corps s'échauffent, acquièrent de la chaleur par le frottement. Le frottement n'est ici qu'une forme du mouvement ou du travail, et de même que la chaleur peut être transformée en travail, tout travail, tout mouvement, produit de la chaleur. L'eau ne fait pas exception à cette règle. Si l'on agite vivement de l'eau pendant un certain temps, cette eau se réchauffe, sa température s'élève. *Joule* s'est servi d'un appareil basé sur l'élévation de la température de l'eau, produite par un mouvement que lui imprime une force extérieure, pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. Après une tempête, l'eau de la mer est plus chaude ; les molécules de l'eau se sont réchauffées par leur mouvement, par leur frottement les unes contre les autres.

Si donc, dans les courants rapides, l'eau ne gèle pas, c'est uniquement parce que son mouvement produit de la chaleur, et que cette chaleur compense celle qu'elle perd par le refroidissement de l'atmosphère. Or, c'est précisément dans ces cours d'eau, dans les ruisseaux et les rivières rapides, dont la surface ne se congèle pas, que l'on rencontre les glaces de fond. On ne les observe jamais dans les lacs et dans les eaux tranquilles, parce que là, la température de la surface de l'eau atteint le point de congélation bien avant que le sol ait pu se refroidir à une profondeur suffisante pour permettre à la glace de fond de se former. Si parfois on la trouve dans le Rhin et dans d'autres cours d'eau considérables, ce n'est jamais que près des bords et à une faible profondeur, où, par l'effet d'un froid prolongé, et par suite de la conductibilité du sol, la température a pu s'abaisser jusqu'au-dessous de zéro.

Mais qu'on nous permette, pour confirmer notre assertion, d'examiner ce qui se passe dans le sol pendant les hivers rigoureux. Il suffit du gel d'une nuit pour que le sol soit gelé à une profondeur d'un ou deux centimètres. Si le froid continue et devient plus intense, la partie congelée augmentera d'épaisseur et au bout de quelques jours déjà, il ne sera presque plus possible d'ouvrir les pavés de nos rues ; le sable qui leur sert de ciment, sera dur comme la pierre et fera feu sous la pique de l'ouvrier. Le sol peut se congeler à une très grande profondeur. C'est ainsi que pendant l'hiver 1879-1880, les conduites d'eau de notre ville, placées à 1,20 mètre au-dessous du niveau des rues, se sont prises en grande partie et ont été brisées par le gel. Lorsqu'au printemps, après bien des jours chauds, on ouvrit des fossés pour dégeler les conduites et remplacer les tuyaux brisés, on fut tout étonné de trouver le sol encore gelé à une profondeur de bien plus d'un mètre.

Or, qu'arrive-t-il, dans de pareilles circonstances, dans un ruisseau ou une rivière qui n'a pas même un mètre de profondeur. L'eau de ce ruisseau, grâce à la vitesse de son courant, aura conservé une température de 1 ou 2 degrés au-dessus de zéro, tandis que le fond aura acquis la température du sol environnant, c'est-à-dire peut-être 5 ou 6 degrés au-dessous de zéro. Dans ces conditions, les galets qui tapissent le fond du ruisseau et qui auront la même température que le sol lui-même à égale profondeur, se couvriront d'une mince couche de glace, exactement comme les pavés de nos rues se couvrent de verglas, lorsque, après quelques jours de froid continu, la température du sol étant au-dessous de zéro, il vient à tomber un peu de pluie. La couche de glace qui recouvre le fond du ruisseau, augmentera naturellement d'épaisseur si le froid persiste.

Supposons maintenant que la masse de glace ainsi formée devienne toujours plus considérable. Ensuite de sa plus faible densité, elle finira par vaincre la résistance que lui oppose la force d'adhésion qui l'attache au fond. Elle viendra flotter à la surface, entraînant souvent avec elle les galets auxquels elle était fixée ; elle formera des obstacles au passage de l'eau, de vrais barrages qui forceront le torrent de sortir de son lit. Une élévation de la température de l'atmosphère, le dégel du sol, produiront naturellement le même effet. Ou bien, troisième alternative, la glace de fond envahira petit à petit tout le lit du ruisseau, et celui-ci sera encore forcé de déborder.

C'est ainsi que se produisent en hiver tous les débordements des torrents et des ruisseaux dans les régions de montagne, et c'est ce qu'on a eu l'occasion d'observer très exactement, au commencement de l'hiver 1883, dans la petite ville de Bulle. Ensuite des froids très vifs de la première quinzaine de décembre, le ruisseau de

l'Ondine, qui alimente les usines de la partie ouest de la ville, a eu peu à peu son lit encombré par des glaces de fond, et vers le milieu du jour, le 13 décembre, le ruisseau se mettait à déborder et envahissait les rez-de-chaussées et les caves d'une série de maisons. La cave de la maison de M. le Dr Pégaitaz, entre autres, a été complètement inondée.

N'oublions pas de constater un fait important en faveur de la théorie que nous soutenons : c'est que, ensuite de sa canalisation, le lit de ce ruisseau se trouve à un niveau plus élevé que celui des terrains naturels avoisinants. Le sol a donc pu se refroidir facilement au-dessous de zéro non seulement sur les côtés, mais encore sous le fond du ruisseau.

Nous avons, du reste, fréquemment observé à Fribourg des glaces de fond s'attachant à la partie submergée des piliers du pont de bois, du pont du milieu et du pont de St-Jean, alors que la Sarine n'était pas prise, si ce n'est sur ses bords. Au pont de St-Jean, nous avons surtout observé la glace de fond devant la pile qui plonge dans la partie la plus rapide du courant. Elle formait, depuis la base du pilier, un éperon qui s'avancait sur le fond en suivant, contre le courant, le rehaussement du sol formé par les matériaux qui viennent s'arrêter devant la base du pilier. La profondeur de la rivière était, à cet endroit, d'environ 60 centimètres. Près du bord, là où le courant est très faible, la surface était congelée (*). La maçonnerie des piles est retenue par de fortes armatures en fer qui en augmentent encore le pouvoir conducteur.

Evidemment, là encore, cette glace était due à la conductibilité des piles en pierres, qui avaient acquis une température plus basse que celle des eaux de la rivière.

(*) Ces faits ont été confirmés par les observations de MM. *Gremaud*, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées du canton de Fribourg, et *Et. Fragnière*.

M. *Crausaz*, directeur de la Société générale des Eaux et Forêts, nous rapporte également qu'il se forme fréquemment des amas de glace de fond devant les vannes du barrage de la Sarine, près de la Maigrauge. Les vannes ont de formidables armatures en fer, et c'est encore à la conductibilité de ce métal, ainsi qu'à celle de la maçonnerie du barrage, qu'on doit la formation de ces glaces, dont on se débarrasse en chauffant la partie supérieure de la vanne à l'aide de feux de bois.

De tous ces faits, il nous semble ressortir clairement que la formation de la glace de fond est due à la conductibilité du sol. Mais, comme preuve encore plus évidente de notre explication, nous avons essayé de reproduire artificiellement la glace de fond. L'expérience nous a parfaitement réussi.

Si l'on fait refroidir une forte barre de fer jusqu'à 10 ou 15 degrés au-dessous de zéro et qu'on la plonge ensuite dans de l'eau froide, on verra, au bout de quelques instants, la partie submergée de la barre se couvrir d'une couche de glace. Il est évident que la barre de fer joue ici le même rôle que les piles des ponts.

D'un autre côté, nous avons pu reproduire à volonté de la glace de fond en plongeant un vase rempli d'eau dans un mélange réfrigérant. On prend pour cela un vase en métal (bon conducteur de la chaleur), ou, ce qui revient au même, un vase à précipiter en verre, à parois très minces. Après y avoir disposé un thermomètre, on le remplit d'eau et on le plonge dans un mélange réfrigérant, composé de 8 parties de sulfate de soude et de 5 parties d'acide chlorhydrique. La température de ce mélange descend jusqu'à 12 à 15 degrés au-dessous de zéro. Au bout de quelques minutes, suivant la température de l'eau dont on s'est servi, on sent la boule du thermomètre se coller au fond, et l'on voit

une mince couche de glace qui s'est déposée sur les parois submergées du vase et qui y adhère fortement. Si l'on prolonge l'expérience, on obtiendra facilement un épais culot de glace, creux au milieu, tandis que le thermomètre plongé dans l'eau non encore solidifiée indiquera $+ 2^{\circ}$.

Pour terminer, qu'il nous soit permis de citer encore les opinions de quelques auteurs sur le sujet qui nous occupe.

Les uns expliquent la formation de la glace de fond par le fait que, dans les rivières, les couches d'eau sont continuellement mélangées par le mouvement plus ou moins rapide du courant, de manière que les couches du fond sont aussi froides que celles de la surface. La glace se formerait alors au fond, à cause de la tendance qu'ont les aiguilles de glace à s'attacher aux corps solides, aux aspérités du sol, aux galets, etc. D'autres, s'appuyant également sur l'abaissement de toute la masse d'eau à zéro, prétendent que la glace se forme au fond parce que le courant y est moins rapide.

Il est parfaitement vrai que, dans un courant, les couches de différentes températures sont plus ou moins mélangées ; cela est surtout vrai pour les courants rapides. On sait, du reste, que la conductibilité des liquides est extrêmement faible et que c'est presque exclusivement par *convection* que la chaleur se transmet dans leur masse, c'est-à-dire par déplacement, ou à l'aide du mouvement qu'acquièrent les couches de différentes températures par le fait de leurs différentes densités. Quant à la vitesse du mouvement de l'eau dans les courants, l'observation démontre également qu'elle atteint son maximum au tiers de la profondeur, mesurée en partant de la surface, aux points situés perpendiculairement au-dessus de la partie la plus profonde du lit de

la rivière. De là partent des couches concentriques qui vont, en diminuant graduellement de rapidité, vers le fond et vers les bords.

Ces faits sont, sans doute, des circonstances favorables à la formation de la glace de fond, mais nous ne croyons cependant pas qu'ils suffisent à eux seuls pour l'expliquer, puisque nous trouvons cette glace dans des courants dont la température est au-dessus de zéro et que, comme nous l'avons dit plus haut, nous l'avons observée devant les piliers du pont de St-Jean, là où le courant est le plus rapide et le remous le plus fort. Quant à la tendance des aiguilles de glace à s'attacher aux corps solides, ne proviendrait-elle pas uniquement de ce que ces corps solides sont de meilleurs conducteurs de la chaleur et que, dans les conditions données, ils sont partant plus froids ? Lorsque nous faisons congeler de l'eau dans un vase, n'est-ce pas aussi parce que les parois du vase se refroidissent plus rapidement, que les aiguilles de glace se forment en premier lieu sur les bords de la surface ?

D'autres auteurs, enfin, attribuent la formation de la glace de fond à la radiation, soit au rayonnement de la chaleur du fond à travers les couches diathermanes de l'eau. On sait que c'est à cette cause que sont dues la rosée et la gelée blanche. Mais on oublie que l'eau est très peu diathermane ; que la glace, selon les expériences de Melloni, est absolument athermane pour les rayons de la chaleur obscure et même pour les rayons envoyés par un fil de platine incandescent, et qu'elle ne laisse passer que le 6 % des rayons de chaleur envoyés par une lampe de Locatelli. C'est, dit *Ganot*, grâce au peu de diathermanéité de l'eau, que les couches supérieures des mers et des lacs participent aux variations de température, suivant les saisons, tandis qu'à une certaine

profondeur la température reste constante. Or, si la radiation de la chaleur du fond ne peut produire d'effet frigorifique dans les eaux tranquilles et transparentes des lacs, à plus forte raison n'en produira-t-elle point dans les eaux courantes.

Nous croyons, par ce qui précède, avoir suffisamment démontré que la formation de la glace de fond est due à la conductibilité du sol, qui lui permet de se refroidir plus rapidement que les eaux courantes. Si, dans certaines circonstances, d'autres causes paraissent contribuer à cette formation, ce ne sont que des causes accessoires, s'ajoutant pour produire, peut-être, des conditions plus favorables, mais la conductibilité du sol n'en reste pas moins la cause principale, la cause déterminante.

