

CHAPITRE TREIZIÈME.

DE L'EAU A L'ÉTAT SOLIDE.

On sait que la plupart des corps solides se liquéfient par la chaleur, et peuvent cristalliser en refroidissant. L'eau obéit à cette règle; mais comme sur notre planète la température est le plus souvent assez élevée pour maintenir l'eau sous forme liquide, il en résulte que c'est son état habituel, et nous considérons comme placée sous des conditions exceptionnelles celle que la soustraction de la chaleur a fait passer à l'état de glace. Il existe très-probablement des planètes dont tous les points sont doués d'une température trop élevée pour que ce liquide puisse jamais se solidifier. Il en est d'autres aussi à la surface desquelles l'eau liquide doit être inconnue; mais sur la terre, à l'époque actuelle de son existence, il y a passage presque continu d'un état à l'autre, et nous verrons plus loin, en étudiant la température propre de notre globe, que toutes les apparences se réunissent pour nous prouver que l'eau solide n'a pas toujours existé, quoiqu'elle ait maintenant envahi les deux extrémités de la terre.

On peut d'après cela diviser les glaces en deux séries, *permanentes* et *accidentelles*.

Nous allons d'abord nous occuper des dernières,

et nous distinguerons parmi les autres celles qui forment les glaciers des montagnes et ceux des pôles.

DES GLACES ACCIDENTELLES ET DE LA
CRISTALLISATION DE L'EAU.

Comme la température intérieure du sol est toujours au-dessus de 0 du thermomètre, l'eau des sources ne gèle pas. Elle conserve au contraire un certaine chaleur qui bientôt rayonne dans l'atmosphère et la met en équilibre avec elle; mais l'eau stagnante exposée à la gelée, c'est-à-dire à une température qui est au-dessous de 0, ne tarde pas de cristalliser.

On voit d'abord des aiguilles allongées qui partent des bords et qui s'avancent vers le milieu. Il est rare que ces aiguilles se rencontrent; elles s'arrêtent dans leur croissance avant de se toucher. De nouvelles aiguilles prennent naissance sur les premières, et forment avec elles des angles qui sont presque toujours de 60 ou de 120 degrés. D'autres aiguilles naissent encore sur ces dernières, et enfin la surface de l'eau est couverte d'une pellicule glacée d'une transparence extrême, qui n'est cependant pas entièrement solide, car les parties dont elle est formée ne tiennent entr'elles que par leurs bases, toutes les extrémités sont libres et séparées par une légère couche d'eau.

Bientôt les mêmes phénomènes se reproduisent en dessous de cette première couche, et comme les nouveaux cristaux, quoique immédiatement appliqués sous les autres, ne suivent pas leurs dimensions, il en résulte que les aiguilles viennent traverser les points non solidifiés qui existent à la rencontre des pointemens des premiers cristaux. Une troisième couche se forme

sous la seconde, puis une quatrième, et ainsi de suite, de sorte que la glace, à mesure qu'elle épaisit, devient de plus en plus solide par la juxtaposition de feuillets cristallisés dont les fissures se contrarient, mais dont les cristaux ne se croisent ni ne se feutrent, comme on pourrait le supposer. Il est difficile de suivre cette cristallisation quand elle se fait, mais on distingue facilement l'arrangement des cristaux, quand la glace fond à la surface par l'action d'un vent chaud. La structure de certaines variétés de glaces est alors mise à nu comme celle de certaines roches dont les surfaces sont restées longtemps exposées à l'influence des agens atmosphériques. La glace est ordinairement transparente, et à tel point, qu'on peut en fabriquer des lentilles qui allument parfaitement l'amadou et d'autres corps; mais elle n'offre ce caractère qu'autant qu'elle s'est formée sur une surface liquide dont elle n'a pas été séparée par de l'air; car, dans ce cas, la cristallisation ne s'opère plus de la même manière; une petite couche d'air s'interpose entre chaque couche d'aiguilles cristallisées, et quoique la glace soit parfaitement unie, quoiqu'elle ne soit pas le résultat d'une cristallisation confuse, comme cela arrive souvent, elle est tout-à-fait opaque. On trouve fréquemment des exemples de cette disposition dans les fossés qui sont le long des routes, parce que la glace a d'abord commencé de se former sur l'eau, et que celle-ci s'est peu à peu retirée en s'infiltrant dans le terrain. Quelquefois même on pourrait compter le nombre de couches dont se compose la glace, qui ayant pris une forme concave ou convexe, selon l'étendue et la nature des bords, présente des zones concentriques plus ou moins transparentes, et quelquefois tout-à-fait opaques. S'il existe une certaine distance entre la surface de l'eau et celle de la glace,

il se forme une petite quantité de vapeurs qui vient cristalliser sur la dernière couche, en aiguilles qui font avec elles un angle droit; car tous les petits cristaux ont leur axe dirigé vers la surface du liquide.

Dans certaines circonstances qu'il est bien difficile de déterminer, mais que je crois pourtant pouvoir rapporter à quelques cas de matières étrangères et terreuses tenues en suspension, l'eau cristallise d'une manière tout-à-fait différente. La surface de l'eau offre d'abord une infinité de petits points brillans qui se touchent et se joignent très-exactement sans se souder. Chacun de ces points s'allonge en dessous, et au bout d'un certain temps il en résulte une glace très-épaisse, mais qui présente peu de solidité. Elle est formée d'une infinité de petits prismes hexagonaux, serrés les uns contre les autres, qui lui donnent une structure fibreuse tout-à-fait semblable à certaines variétés de gypse d'Angleterre. (*Fig. V.*) Au moindre dégel, comme la chaleur augmente la densité de l'eau et contracte par conséquent chaque cristal prismatique, la glace se divise perpendiculairement à sa surface en une infinité de petits faisceaux qui se subdivisent encore, et au bout de quelque temps elle a disparu. En cristallisant ainsi, la glace est toujours parfaitement pure, car les matières terreuses qui s'y trouvent en suspension et qui vraisemblablement déterminent cette forme, se précipitent ou salissent tout au plus sa surface inférieure. Dans cet état prismatique, la glace présente une grande flexibilité, et je ne suis pas le seul qui ait remarqué ce caractère, car M. Meissas l'a aussi observé plusieurs fois sur les bords de la Loire (1).

(1) « Plusieurs personnes ont déjà remarqué que l'eau cristallise

La glace augmente continuellement en épaisseur quand la température est assez basse ; le froid semble y pénétrer par une sorte de cémentation, ou, pour parler plus exactement, la chaleur s'échappe en rayonnant de la surface de l'eau encore liquide que sa moindre pesanteur amène continuellement sous la couche de glace déjà formée.

Ces considérations tendraient à faire admettre le prisme hexagonal pour la forme primitive de l'eau, d'autant plus que cette idée est fortement appuyée par les intéressantes observations de M. de Thury dans la caverne de Fondeurle. Voici comment il s'exprime à cet égard :

« Une des cavernes de ce singulier plateau nous présenta un phénomène pour le moins aussi curieux que ce site, et encore peu connu. Cette caverne, dite la Glacière, a deux grandes ouvertures, l'une à l'est, et l'autre à l'ouest; elle descend au nord par une pente rapide et va probablement rejoindre d'autres cavités souterraines inférieures qu'on entend résonner sous les pieds, mais dans lesquelles nous ne pûmes pénétrer :

en prismes à 6 pans. J'ai trouvé plusieurs fois, moi-même, sur les bords de la Loire, auprès d'Orléans, des masses de glace assez considérables et composées en grande partie de baguettes prismatiques de 0^m,001 à 0^m,01 de diamètre; fort peu de prismes paraissaient être à 6 pans réguliers, circonstance que l'on doit sans doute attribuer au groupement. Ayant pris un grand nombre de ces prismes les uns après les autres, et ayant diminué leurs dimensions latérales dans le sens de la longueur, j'ai observé que lorsque leur épaisseur était réduite à 1 ou 2 millimètres, la glace était rendue très-flexible, beaucoup plus flexible que le phosphore pur. . . . »
(*Lettre de M. Meissas à l'Académie des sciences. Institut, 3^e année, p. 7.*)

cette caverne a environ 60 mètres de profondeur, sa largeur est très-irrégulière; un rocher qui a plus de 20 mètres d'épaisseur lui sert de ciel; son intérieur est tapissé de belles stalactites calcaires, qui s'élèvent ou qui pointent à travers une nappe de glace de la plus grande limpidité. A la voûte de la caverne, on voit également pendre un grand nombre de stalactites de glace; ces stalactites sont isolées dans le milieu de la caverne, tandis que celles d'albâtre sont appuyées contre ses parois et forment à leur surface les plis et replis d'une riche draperie. Une de ces colonnes de glace ayant été entamée par un de nos voyageurs, il plaça, à notre insu, dans son intérieur la lumière qu'il portait; au même instant, nous fûmes tous éblouis par l'effet magique et inattendu que produisait son éclat. La clarté la plus brillante, les nuances variées, jaunes, bleues, vertes et rouges, la lumière réfléchie sur les nappes de glace, les colonnes d'albâtre, les grandes stalagmites qui tapissaient les parois et qui étaient éclairées par tant de reflets divers, furent long-temps le sujet de notre admiration; mais elle fut au comble quand ayant détaché quelques-unes de ces colonnes de stalactites de glace, nous nous aperçûmes qu'elles étaient vides, qu'elles formaient des géodes et que tout l'intérieur était tapissé de belles aiguilles parfaitement cristallisées. Ce phénomène nous fit apporter une plus grande attention sur la contexture de la nappe de glace sur laquelle nous marchions, et nous vîmes avec autant de surprise que de satisfaction qu'elle était entièrement composée de parties cristallisées de la plus grande limpidité, présentant, pour la plupart, des prismes hexaèdres dont la surface terminale offrait des stries parallèles aux faces du prisme, tandis que les cristaux de l'intérieur des stalactites étaient, les uns des prismes triangulaires

et les autres des prismes hexaèdres, dont quelques-uns offraient également des stries sur la face terminale, et dont plusieurs, qui avaient jusqu'à 5 millimètres de diamètre, se présentaient avec des facettes qui remplaçaient les arêtes terminales de la jonction de la base du prisme. Quelques scrupuleuses qu'aient été nos recherches, nous n'avons pu découvrir aucune pyramide complète.

» Après avoir bien constaté la cristallisation de la nappe de glace et celle de l'intérieur de ces belles stalactites, nous réitérâmes notre illumination en variant et plaçant nos lumières dans les parties les plus limpides et les mieux cristallisées, et nous eûmes la satisfaction de produire dans les ruines des cavernes du désert de Fondeurle un effet digne de tout ce que la magie des palais des *Mille et une Nuits* peut présenter de plus riche et de plus brillant à l'imagination.

» Cette belle et intéressante caverne est connue dans le pays sous le nom de Glacière de Fondeurle; on y exploite la nappe de glace pour les villes voisines, elle se transporte même jusqu'à Valence, qui est à plus de deux lieues de distance (1). »

Malgré ces différens faits, quelques savans croient que la forme primitive de l'eau est un rhomboèdre. Ils s'appuient principalement sur une curieuse observation du docteur Clarke.

Le 3 janvier 1821, la température de l'air n'étant que de $-0,5$, M. Clarke aperçut à Cambridge, au-dessous d'un pont en bois, des glaçons pendans qu'atteignait

(1) Extrait d'un voyage minéralogique, manuscrit, fait en 1805, dans la grande chaîne calcaire subalpine des régions sud-est de la France, par M. Héricart de Thury. *Journal des mines*, n° 194, p. 157.

constamment le brouillard formé par une chute d'eau voisine. Plusieurs de ces masses ayant été détachées, M. Clarke reconnut qu'elles se composaient en général de cristaux rhomboïdaux parfaits, ayant des angles obtus de 120° et des angles aigus de 60° ; plusieurs de ces cristaux avaient plus d'un pouce de longueur. Le 6 janvier, le thermomètre s'étant élevé jusqu'à $+3^\circ 19$, le dégel eut lieu, et néanmoins les cristaux, durant leur fusion, conservèrent toujours leur figure rhomboïdale; ce qui prouve que cette figure est la forme primitive, et que les prismes hexaèdres observés par M. de Thury à Fondeurle, n'étaient que des cristaux secondaires (1).

La glace ne se présente pas seulement à la surface de l'eau, on la rencontre encore sur la terre, où elle cristallise d'une manière très-singulière. Nous avons souvent observé ces cristaux dans les montagnes d'Auvergne; mais Desmarets les avait rencontrés bien avant nous dans les mêmes lieux, ainsi que dans le Velay, le Vivarais, le Forez, les environs d'Annonay, etc., et en général dans tous les pays de granités en décomposition, et même dans les pays volcaniques, en France et dans les environs de Rome, mais jamais dans les pays calcaires et à couches horizontales ou inclinées.

Desmarets rapporte qu'il remarqua pour la première fois cette végétation en 1763, à quelques lieues de Limoges, en revenant à Paris, par un froid de 4° au-dessous de 0, après quelques jours de pluie. La grande route était couverte d'une croûte assez épaisse, qu'il prit d'abord pour de la boue; mais étant descendu de cheval, il observa avec surprise, dans les trous faits dans cette croûte par les pieds de son cheval, une couche de glace com-

(1) *Transactions de la Société de Cambridge.*

posée d'un nombre infini de filets limpides, parallèles, adhérens assez fortement entre eux, ayant une forme prismatique assez marquée qu'il compare aux filets de gypse, excepté que ceux de la glace sont plus distincts. La longueur de ces filets variait d'une place à une autre depuis un demi-pouce jusqu'à deux; ils étaient fort courts lorsque la terre approchait davantage de la nature du sable, et plus longs lorsqu'elle était formée d'un mélange de sable et de terre argileuse imbibée d'eau en certaines parties. La superficie de ces croûtes de glace offrait un grand nombre de gerçures qui formaient des prismes hexagones dont la base avait environ 2 pouces de diamètre. Quelques-uns de ces prismes étaient encore divisés en d'autres prismes moins réguliers. Ils étaient toujours perpendiculaires au plan du terrain où ils avaient été formés, malgré l'inclinaison des talus, quelquefois de 45°. Desmarets les trouva encore sur les terres voisines cultivées, comme sur la route elle-même, pendant un espace de huit lieues, toujours au milieu des terres végétales, visiblement dues à la destruction des granites; et quoique le froid se soutint au même degré, il n'en vit plus entre Argenton, Châteauroux et Orléans: il n'en put trouver autour de Paris.

Ce savant observateur a suivi ce phénomène chaque hiver en Limousin, depuis 1763 jusqu'en 1770, et il a remarqué qu'il avait lieu dans les endroits couverts d'une certaine quantité de terre végétale, et manquait où le sol ne présentait que des rochers de granites, de schistes durs et solides, ou de gros sables; il n'y a remarqué alors que des couches de givre et de glace informe.

Desmarets n'a trouvé des filets de glace à la surface de la terre, par couches suivies et continues, qu'à la suite de pluies abondantes et soutenues pendant plu-

sieurs jours; l'épaisseur était d'autant plus grande, que celle des terres qui recouvraient le sol était plus considérable et que le froid avait pris plus brusquement. Les couches prenaient successivement de l'accroissement pendant trois ou quatre jours seulement et n'éprouvaient plus d'augmentation, quoique le froid continuât; l'accroissement se faisait toujours par la partie inférieure qui touchait la terre imbibée d'eau, de manière que ce qui était formé la veille se trouvait soulevé par ce qui se formait le lendemain, et d'une quantité égale aux additions, qui diminueaient sensiblement chaque jour en hauteur: lorsque le froid restait le même, les épaisseurs restaient égales; elles n'étaient pas distinctes les unes des autres et les filets se correspondaient: si le froid s'adoucissait pendant le jour, les produits de chaque reprise de froid pendant la nuit se trouvaient séparés par des intervalles remplis de terre ou de glace informe, et les filets prismatiques de glace ne se raccordaient plus d'une addition à l'autre; faits absolument analogues à ceux que l'auteur avait observés dans les glaçons spongieux qui se forment au milieu des sables du fond des rivières. (V. *Journal de Physique*, janvier 1783.) Dès que ces couches n'augmentaient plus, elles commençaient à diminuer; on y voyait des gerçures qui les partageaient en diverses portions prismatiques; les petits prismes se détachaient les uns des autres, s'arrondissaient en se décomposant, et ne représentaient plus qu'un assemblage de petits filons d'une grande ténacité, qui disparaissaient successivement les uns après les autres (1).

Depuis les observations de Desmarets, M. Clère a

(1) *Journal de Physique*, mars 1785.

observé, près de Mézières, une disposition de la glace tout-à-fait semblable à celle que ce savant a fait connaître le premier.

Les pentes de plusieurs collines semblaient couvertes de longues efflorescences qui tombaient et se renouvelaient ensuite. Ces efflorescences offraient à l'œil des assemblages continus de petits faisceaux de glace composés de cylindres cannelés et fibreux qui se surmontaient parallèlement entr'eux, de manière pourtant à indiquer des lignes distinctes de séparation, espacées en hauteur à des distances variables, mais dont la plus grande ne lui a pas semblé dépasser 2 décimètres $\frac{1}{2}$, *maximum* de la longueur des cylindres, qui presque toujours diminuent en retraite à chaque rangée, et parfois aussi en hauteur pour les rangées supérieures. Entre la ligne de jonction qui séparait les deux rangées inférieures, il a observé une couche peu épaisse d'argile glaise, jaunâtre, congelée, servant pour ainsi dire de pâte à un grand nombre de cailloux roulés, depuis la grosseur d'une noisette jusqu'à celle du poing. Plus haut, dans d'autres endroits, on voyait quelques-uns de ces cailloux renfermés sans ciment entre deux assises du massif cristallin, où ils paraissaient avoir été portés par une force ascensionnelle qui les aurait soulevés au moment de la formation des faisceaux qui les supportaient, et sans doute par la même cause qui les avait déjà primitivement enlevés de terre.

Ces efflorescences de glace lui ont paru affecter toutes sortes de positions, depuis la verticale jusqu'à l'horizontale, selon la disposition naturelle du sol, qui presque généralement formait alors des angles droits avec les faisceaux de tubes de glace (1).

(1) *Annales des Mines*, t. VII, p. 16.

Cette glace fibreuse qui sort du sol dans les montagnes à surface meuble, peut aussi se former dans d'autres circonstances. Patrin en a observé dans une mine de la Daourie.

« Ce qui m'avait, dit-il, principalement attiré dans cette caverne, c'était la curiosité de voir la congélation de la voûte, que l'on m'avait dit être de la plus grande beauté, et que je trouvai en effet d'un éclat éblouissant : c'étaient de longs festons de glaces presque aussi légères que des bulles de savon, formées d'un assemblage de *tubes hexaèdres* qui s'épanouissaient à leur extrémité et présentaient des pyramides creuses. Cette glace, légère et papyracée, était produite par les vapeurs qui s'élevaient du fond de la grotte au commencement de l'hiver, où la température était sensiblement plus chaude que dans le moment où je m'y trouvais (1). » (*Fig. VI.*)

M. Cordier a fait une observation semblable dans les Pyrénées à une grande élévation sur la Maladetta.

« A l'aide de nos crampons, nous avançâmes vite et sans difficulté vers le fond de l'enceinte. Le grain de la glace était successivement devenu plus tendre et plus fin ; sa surface, frappée des rayons du soleil, éblouissait par un éclat vif autant que par sa blancheur. Cette apparence extraordinaire s'étant accrue, j'en cherchai la cause, et je fus très-surpris en découvrant qu'elle était produite par une multitude de prismes hexaèdres de glace, ou, si on veut, d'eau cristallisée. Ces prismes groupés, tantôt confusément, tantôt en petites houppes, étaient parfaitement réguliers. Leur longueur allait souvent jusqu'à 4 millimètres sur 1 d'épaisseur. Nous étions alors un peu plus haut que 3100^m. A la manière

(2) *Journal de Physique*, mars 1791, p. 232 et 236.