

## CHAPITRE IV

### CRISTALLISATION DE L'EAU : LA NEIGE ET LA GLACE

Dans notre pays, pendant la plus grande partie de l'année, l'humidité atmosphérique se condense à l'état liquide en partie sous la forme de pluie, en partie sous celle de rosée. Mais quand la température de l'air s'abaisse au-dessous du point de congélation, l'eau, incapable de persévérer dans l'état liquide, se solidifie et l'humidité atmosphérique se précipite en conséquence sous forme de neige, au lieu de pluie, et sous forme de givre au lieu de rosée. Il importe de savoir la manière dont s'opère cette grande transformation dans la condition physique de l'eau.

L'observation de chaque jour nous montre que presque tous les corps diminuent de volume en se refroidissant. En règle générale, l'abaissement de la température a pour effet de resserrer les molécules dont un corps quelconque se compose et de réduire leur volume. Supposez une certaine quantité d'air enfermé dans un vase dont l'orifice tourné vers le bas plongerait dans une cuve à eau ou à mercure; cet air, à une température donnée, a un certain volume, mais si la température s'abaisse, son volume se réduit, c'est-à-dire qu'il occupe moins de place, si bien que l'eau ou le mercure tend à s'élever dans le vase pour remplir la place

que laisserait vide la contraction de l'air. On a découvert par une observation attentive que le retrait augmente avec une grande régularité à mesure que l'air se refroidit, mais nous n'avons pas à nous inquiéter pour le moment de la loi de contraction.

Or, de la vapeur d'eau, de celle qui existe dans l'atmosphère, on peut dire avec une exactitude relative qu'elle a une constitution physique analogue à celle de l'air auquel elle est associée. Mais cette vapeur en se refroidissant atteint bientôt une limite au-dessous de laquelle tout nouveau refroidissement détermine sa condensation en eau. En fait la vapeur d'eau ou vapeur diffère des fluides tels que l'air, surtout par la faculté qu'elle possède de se condenser ou de se liquéfier.

La vapeur d'eau étant passée de la sorte à l'état liquide, il importe d'observer l'effet produit par un abaissement encore plus grand de sa température. A mesure que l'eau se refroidit, le volume du liquide diminue. Pour la plupart des liquides, cette réduction de volume continue jusqu'à ce que leurs molécules aient perdu cette faculté de glisser les unes sur les autres qui est caractéristique des liquides, et jusqu'à ce que le liquide mobile se soit transformé en un corps solide compact et rigide.

La matière solide ainsi obtenue par la congélation de l'eau s'appelle *glace*. Il importe cependant de noter que l'eau et quelques autres liquides, au lieu de continuer régulièrement à se contracter à mesure qu'ils se refroidissent, atteignent une limite à laquelle la contraction s'arrête et est remplacée par l'expansion; c'est ainsi que l'eau solidifiée occupe réellement une place beaucoup plus grande que le liquide dont elle provient. Une conduite d'eau venant à crever durant une gelée, ou une cruche qui éclate sous la pression du liquide congelé,

nous enseignent d'une manière pratique que l'eau, durant le cours de sa solidification, subit un accroissement considérable de volume.

Par suite de cette expansion, un morceau de glace pèse nécessairement beaucoup moins qu'un volume égal d'eau; si, par exemple, on trouve qu'un volume d'eau, à la température à laquelle son poids relatif est le plus élevé, pèse 1000 kilogrammes, un volume égal de glace ne pèsera que 916 kilogrammes. Aussi la glace flotte-t-elle sans peine sur l'eau, un dixième environ seulement de son volume restant au-dessus de la surface. C'est ce qu'on peut vérifier en plongeant un morceau de glace

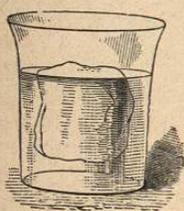


FIG. 14. — Glace dans l'eau.

dans un verre d'eau et en comparant la partie qui dépasse la surface à celle qui s'enfonce au-dessous (fig. 14).

L'eau de mer est plus dense, ou plus lourde à égalité de volume, que l'eau douce; il en résulte qu'une masse de glace flottant dans l'Océan s'élève plus haut: un neuvième environ de son volume est apparent.

Ainsi, dans ces énormes masses de glace que l'on voit souvent flottant en mer et qui sont connues sous le nom d'*icebergs*, le volume de la glace immergée est près de huit fois plus grand que celui de la glace qui surnage. Mais on doit se rappeler que le rapport des hauteurs de la partie immergée et de la partie exposée de l'*iceberg* se modifie selon la forme de la masse; et probablement dans bien des cas, la forme de l'*iceberg* est telle qu'elle détermine une immersion beaucoup moindre, proportionnellement à sa hauteur totale, au-dessous de la surface, que celle représentée dans la figure 14.

Il ne faut pas croire que la substance dure et compacte produite par la congélation ou la solidification de

l'eau soit un corps solide ayant une structure homogène, comme un morceau de verre. Regardez par une froide matinée la fenêtre d'une chambre à coucher et vous verrez probablement que la vapeur d'eau de la chambre s'est condensée sur la vitre et s'est congelée sous la forme de glace solide; mais vous observerez immédiatement que cette glace, au lieu de se répandre uniformément sur la surface de la vitre, s'est projetée dans des directions définies en produisant de beaux rameaux rappelant le gracieux feuillage d'une fougère. En réalité la glace a adopté des formes bien déterminées connues sous le nom de *cristaux*.

Dans les roches du Snowdon, en Angleterre, dans les Alpes du Dauphiné, en France, et dans une foule d'autres régions, on trouve une belle substance transparente, d'une grande dureté et qui affecte des formes très régulières. Ces formes, représentées dans la figure 15<sup>1</sup>, ressemblent d'ordinaire à de petites tours à six faces surgissant de la roche dans toutes les directions, et se terminant à une extrémité ou parfois même aux deux par une courte flèche hexagonale. Les faces sont aussi lisses et aussi brillantes que si elles venaient d'être polies par la roue du lapidaire, et les arêtes sont aussi effilées et aussi droites que si elles avaient été taillées par un habile ouvrier. Les anciens, familiers avec ces minéraux transparents et incolores tels qu'on les rencontre dans les roches granitiques des Alpes, supposaient qu'ils étaient faits de glace et n'étaient au fond que de l'eau congelée par un froid si intense qu'il était impossible de la dégeler. C'est ainsi que du mot grec signifiant *glace*

1. Les lignes tracées sur ces cristaux indiquent l'ombre et non pas des marques existant sur les spécimens naturels. Les prismes des cristaux de roches sont souvent marqués par des lignes, mais ces lignes coupent les prismes au lieu de s'étendre longitudinalement dans la direction de l'ombre de la figure.

(κρύσταλλος) nous vient notre terme de *crystal*. La substance dont on vient de parler comme ayant donné naissance au mot *crystal* est connue sous le nom de *crystal de roche*, et doit être familière à la plupart de nos lecteurs; elle est communément employée par les joailliers dans la fabrication de certains objets d'ornement, et les opticiens en font des verres de lunettes. Le terme de *crystal* s'applique maintenant à toutes les formes solides symétriques que prend spontanément la matière inanimée.

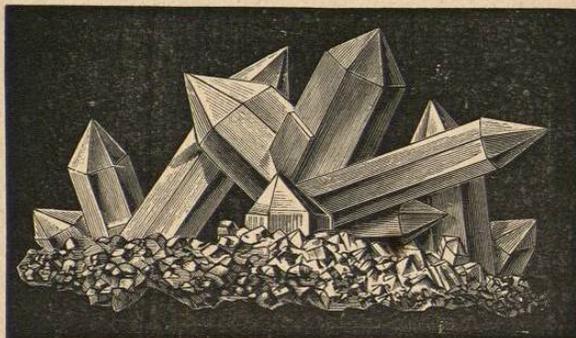


FIG. 15. — Cristal de roche.

Le cristal de roche se trouve parfois en cristaux d'une forme gigantesque, parfois en échantillons extrêmement petits. Cette inégalité semble montrer que des substances de même nature peuvent prendre des formes infiniment variées quant à leurs dimensions. Il y a quelques années, on trouva dans les cavités d'une roche au-dessus du glacier de Tiefen, en Suisse, d'énormes échantillons de cristal de roche d'une teinte sombre; un de ces échantillons, baptisé le *Grand-Père*, ne pesait pas moins de 125 kilogrammes, et un autre, surnommé le *Roi*, pas moins de 115 kilogrammes. Et pourtant on peut obtenir cette même substance en

cristaux si minces qu'il faut l'aide d'un microscope pour les distinguer. Une telle variété de dimensions dans la même espèce de matière cristalline n'a point d'analogue chez les corps vivants. Il est vrai que certains animaux, que certaines plantes, placés dans des conditions très favorables, peuvent dépasser leurs dimensions ordinaires, mais cette croissance exceptionnelle est enfermée dans des limites comparativement étroites. Au contraire il n'y a nulle limite à la croissance d'un cristal; ses dimensions s'augmentent par l'addition de matière venant du dehors, et, tant que de la matière nouvelle s'offre à lui, il continue à se développer. Un mince cristal d'alun, par exemple, suspendu dans une solution saturée du même sel, s'accroît graduellement par le dépôt d'alun solidifié venu du milieu environnant. Ce mode d'accroissement est donc entièrement différent de la méthode de croissance d'un corps vivant. C'est exactement comme si un homme pouvait réellement devenir plus gros en revêtant pardessus sur pardessus, au lieu de se développer du dedans même par le procédé ordinaire de la nutrition.

De même qu'il n'y a rien de déterminé dans les dimensions d'un cristal particulier, de même il n'y a rien de déterminé dans les dimensions de plusieurs des faces du cristal. Une pointe ou pyramide hexagonale de cristal de roche peut avoir une face très large et la suivante assez petite pour n'être guère plus large qu'une simple ligne. Les dimensions du cristal et les dimensions de la face ne comptent donc pour rien, mais ce qui importe dans l'étude des cristaux, c'est la pente ou l'inclinaison d'une face sur l'autre, en d'autres termes, l'angle de deux faces consécutives. Une suite de faces dans une relation symétrique, telles que le sont les six faces du prisme du cristal de roche, s'appelle en langage technique une *forme cristalline*, et les faces d'une forme quelconque, quelque

irrégulières que soient leurs dimensions et leurs apparences, sont toujours inclinées l'une sur l'autre suivant un même angle.

Quoique toutes les substances ne soient pas capables de prendre des formes aussi régulières, cependant tous les corps, y compris l'eau, sont susceptibles de cristallisation. Quand l'eau se solidifie par le fait de l'abaissement de la température, les molécules se groupent dans des directions définies et produisent de la sorte des solides de formes déterminées très voisines de celles du cristal de roche. En fait le même genre de symétrie caractérise les formes de la glace et les formes du cristal de roche, et cette symétrie est telle qu'on peut diviser en six parties semblables chaque cristal. Les meilleurs exemples de cette symétrie hexagonale de l'eau solidifiée sont fournis par les cristaux de la *neige*.

Si l'air est calme pendant une tempête de neige, on remarque que chaque flocon qui tombe est d'une forme régulière. Et en effet un flocon de neige parfaitement formé est un petit cristal d'une délicatesse exquise; mais il arrive généralement qu'un flocon est fait de plusieurs de ces cristaux groupés ensemble. On peut se former une idée de la beauté et de la variété des cristaux de neige en se reportant à la figure 16, qui représente quelques-unes des formes observées dans les régions arctiques par le Capitaine Scoresby. On en a décrit plus de mille espèces différentes, mais, si variées qu'elles soient, elles sont toutes caractérisées par le même genre de symétrie. Quelques-uns de ces flocons de neige sont simplement de petites baguettes solides ou des lames plates, chaque flocon ne renfermant pas moins de six de ces aiguilles; d'autres sont des pyramides hexagonales, mais la forme la plus commune est celle de petites étoiles à six points diversement modifiées. Chaque étoile a un centre de glace semblable à un noyau d'où

rayonnent à angles réguliers six petites tiges ou aiguilles de glace, et de ces rayons se détachent parfois des rayons secondaires ou petits rayons, produisant ainsi des étoiles complexes d'une grande beauté, mais toujours fidèles, en dépit de leur complexité, à la symétrie hexagonale du système auquel la glace se rattache. Chaque

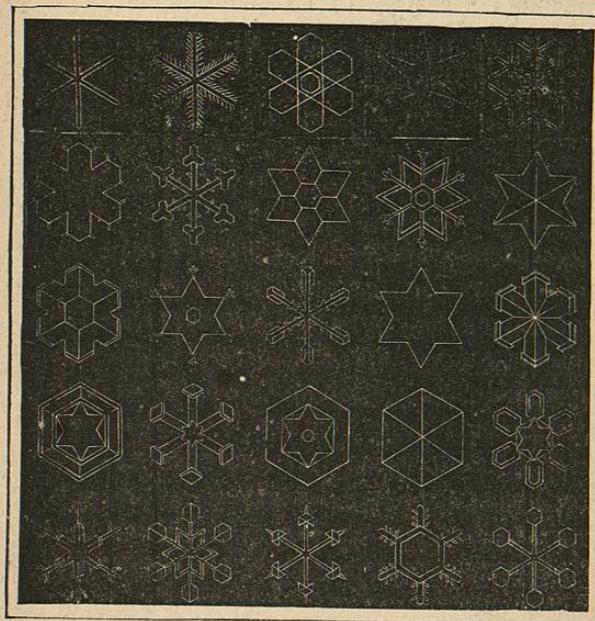


FIG. 16. — Cristaux de neige.

partie du modèle est répétée six fois autour du centre commun, comme c'est généralement le cas avec les formes d'une symétrie si belle qu'on voit dans un kaléidoscope ordinaire.

Bien que la glace ne laisse pas voir en général de cristaux bien définis, elle n'en est pas moins composée de particules cristallines entremêlées. M. Tyndall a montré comment on peut mettre en lumière cette belle archi-

teature en soumettant un bloc de glace à l'action d'un rayon solaire ou même à celle d'un rayon de lumière électrique. Une partie de la chaleur pénètre dans la masse solide et détermine une liquéfaction intérieure qui s'opère avec une grande régularité. On voit d'abord apparaître dans la glace des petits points brillants et de chacun de ces points comme centre partent six

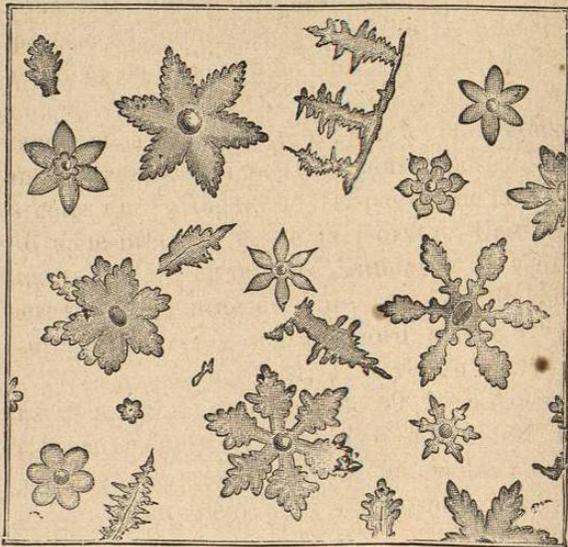


FIG. 17. — Fleurs de glace.

rayons produisant des figures pareilles à celles représentées dans la figure 17. Ces belles formes qui ressemblent généralement à des fleurs à six pétales ou à six feuilles florales ne sont pas des cristaux solides comme nos cristaux de neige, mais simplement des cavités de dimensions régulières remplies d'eau; on peut même les appeler cristaux *negatifs* ou *inverses* produits par la fusion ou *décrystallisation* de la glace. En réalité la glace a une structure *crystalline* tandis que la neige est *crystallisée*.

Quand l'air est agité, la neige tombe en une masse informe ou même en petites boules durcies. Si les flocons de neige se fondent partiellement en rencontrant dans leur descente une couche d'air chaud humide, ils produisent ce qu'on appelle le givre. C'est quand la température est voisine du point de congélation, que tombent les plus gros flocons de neige, et les plus petits quand la température est très basse. Il est à peine nécessaire de dire que la neige est beaucoup plus légère que la pluie; on estime d'ordinaire le poids de la neige à environ un dixième de celui d'un volume égal d'eau, en sorte qu'une couche de neige recouvrant le sol à une profondeur de vingt centimètres représente approximativement deux centimètres de pluie. Mais la neige étant plus ou moins compacte, il est évident que cette évaluation, dans nombre de cas, est loin d'être correcte. Sa texture lâche rend la neige mauvaise conductrice de la chaleur, et c'est ainsi qu'une couche de neige agit à la façon d'un manteau de fourrure étendu sur la terre. L'air emprisonné dans la neige lui donne, outre cette propriété précieuse, son apparence blanche et opaque si différente de la transparence de la glace ordinaire. La lumière, au lieu de pénétrer la neige, est renvoyée par les cloisons de glace de chaque cellule d'air ou cavité, et se trouve ainsi diffusée, la neige perdant en même temps sa transparence, exactement comme l'écume de la mer devient d'une blancheur opaque lorsque les rayons de lumière sont dispersés par le jaillissement des molécules d'eau, débris de la vague.

Lorsque la neige tombe sur une montagne en hiver, elle y reste sans se fondre jusqu'à ce que la chaleur de l'été vienne la dégeler. Mais si la montagne est très élevée, la chaleur même de l'été peut être impuissante à fondre la glace qui couronne son sommet, et la cime reste alors enveloppée de neiges perpétuelles. On appelle

limite des neiges perpétuelles la limite qui marque le niveau au-dessus duquel la neige ne fond jamais. Sur le versant septentrional de l'Himalaya, cette limite est atteinte à 5000 mètres, c'est-à-dire que toute la neige qui tombe au-dessous de cette limite est fondue en été, celle qui tombe au-dessus ne dégelant jamais. Dans les Andes du Pérou la limite des neiges perpétuelles est à environ 4650 mètres, mais en allant soit au nord, soit au sud de ces régions chaudes, on doit s'attendre à voir la limite des neiges perpétuelles s'abaisser; ainsi dans les Alpes suisses, elle descend jusqu'à 2550 mètres au-dessus du niveau de la mer. Dans les régions plus septentrionales elle est encore inférieure, comme dans les Alpes scandinaves, où elle n'est plus qu'à 1500 mètres, et dans les régions arctiques elle s'abaisse jusqu'au niveau même de la mer; la neige amoncelée pendant l'hiver n'est plus jamais fondue entièrement par le soleil d'été et la terre conserve toute l'année cette blanche fourrure.

La neige n'est pas la seule forme solide que prenne l'humidité atmosphérique en se précipitant. Quelquefois durant un orage elle revêt la forme de *grêle*; la grêle consiste en petites masses durcies de glace dont les dimensions varient de celles du plomb le plus mince à celles de blocs de plusieurs centimètres de diamètre. Ces grêlons offrent dans certains cas une formesphéroïdale parfaite comme si les gouttes de pluie s'étaient en tombant subitement congelées. Quand on en brise un, il laisse voir parfois des cristaux rayonnant du centre dans tous les sens vers la surface; mais on trouve plus souvent une série de couches de glace, les unes transparentes, les autres opaques, recouvrant un noyau central blanc et neigeux, autour duquel elles semblent avoir été congelées dans une succession régulière. D'ordinaire, la grêle tombe en été plutôt qu'en hiver et dans

le jour plutôt que dans la nuit. L'origine de la grêle est encore obscure, mais il est probable qu'elle est formée par de l'eau en surfusion, c'est-à-dire refroidie à l'état liquide au-dessous de son point de congélation.

Il y a encore une autre forme de précipitation atmosphérique qu'il faut mentionner en passant. Si la température du sol, au moment du dépôt de la rosée, descend au-dessous du point de congélation, l'humidité, qui dans les circonstances ordinaires se fût déposée en rosée, revêt une forme solide: c'est celle qu'on appelle la *gelée blanche* ou *givre*. Des brins d'herbe et d'autres objets, refroidis par l'émission abondante de leur chaleur à travers l'espace, se couvrent ainsi de délicats cristaux de glace au lieu de rosée. La gelée blanche n'est en réalité que de la rosée congelée au moment de sa formation.

Dans toutes les formes décrites dans ce chapitre et le précédent, il faut toujours que l'humidité atmosphérique soit précipitée. Mais il n'est pas toujours facile et il n'est en rien nécessaire d'établir des distinctions entre ces différentes formes; aussi les réunit-on pratiquement sous la rubrique de « chute de pluie. » Si donc on dit que le bassin de la Seine reçoit une couche de pluie de 63 centimètres, l'on entend que la quantité totale d'humidité précipitée sur cette surface en additionnant la pluie et la neige, la grêle et la rosée, s'élève, dans une année moyenne, à une épaisseur de 63 centimètres répandue uniformément sur la superficie du bassin.