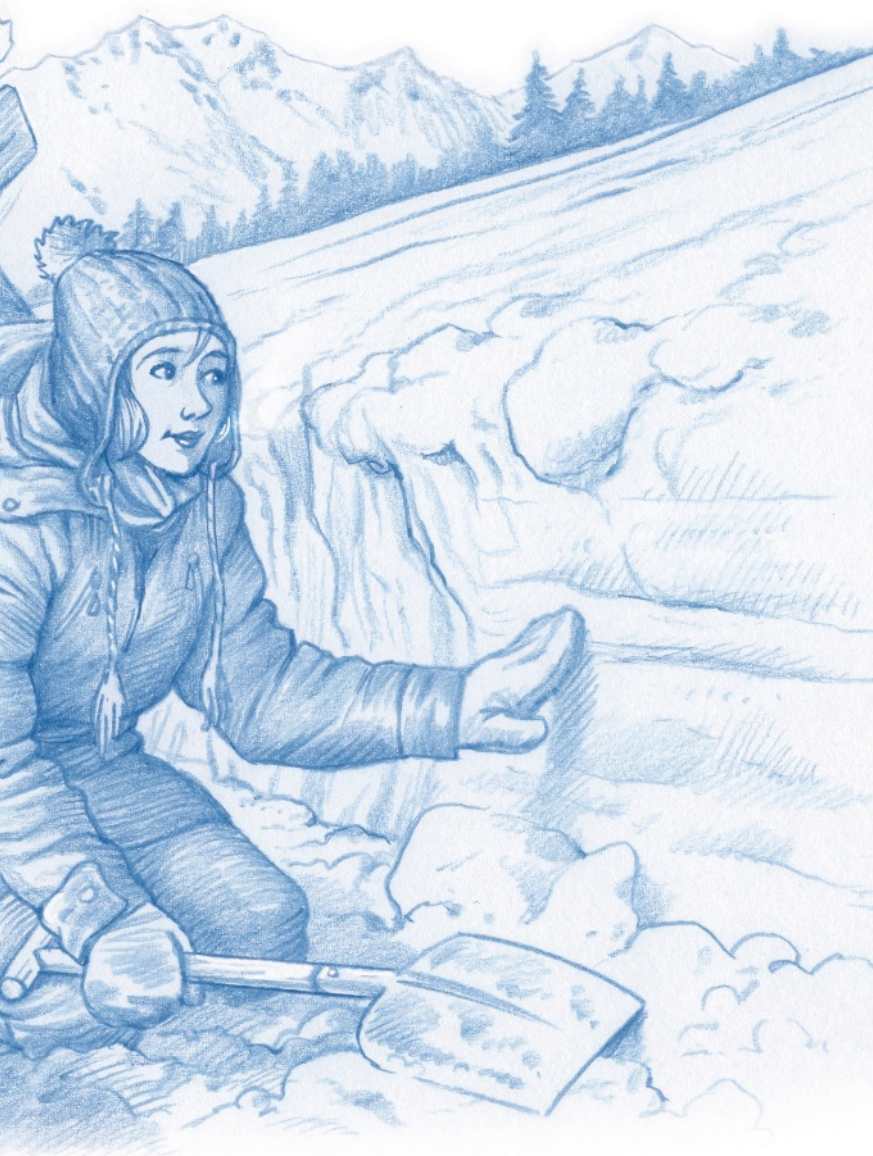
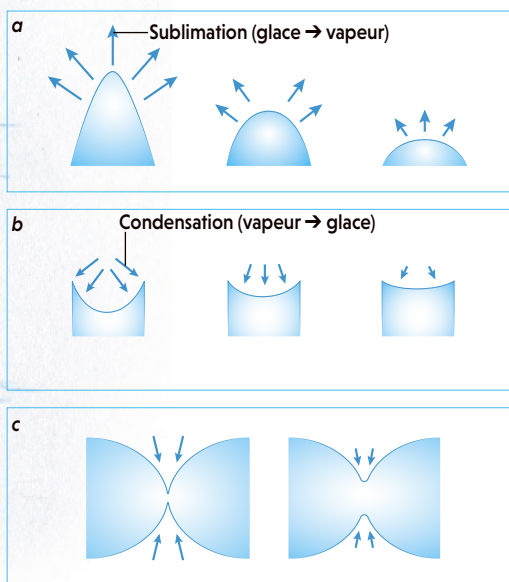




LISSAGE DES ASPÉRITÉS

À température fixée, l'air en contact avec de la glace d'eau peut se charger en vapeur d'eau jusqu'à une certaine teneur maximale. Tant que ce maximum n'est pas atteint, il y a sublimation de la glace en vapeur. Au-delà, c'est l'inverse : de la vapeur d'eau se solidifie en glace. La courbure de la glace modifie le maximum en question, qui est réduit pour une surface convexe (une bosse), et augmenté pour une surface concave (un creux). Il s'ensuit qu'au contact avec de l'air saturé en vapeur d'eau, une bosse de glace s'aplanit peu à peu par sublimation (a), tandis qu'un creux s'aplanit par solidification de vapeur (b). Aux points de contact entre deux grains de glace, la surface est très concave : cette concavité tend à se combler, et donc le « pont » de glace s'agrandit (c).



Cependant, ce maximum de la teneur en vapeur d'eau dépend de la forme géométrique de la glace. L'existence d'une tension de surface, même pour un solide, tend à diminuer la surface du matériau. Or la sublimation de glace en vapeur réduit la surface d'une partie convexe en la faisant maigrir, mais augmente la surface d'une partie concave en la creusant. La sublimation est donc favorisée au niveau des bosses et pointes, et défavorisée dans les creux.

Conséquence: la teneur maximale en vapeur d'eau de l'air est plus élevée près des parties convexes de la glace et plus faible près des parties concaves, par rapport à une surface plane. L'effet n'est manifeste que pour des courbures importantes (il est d'environ 10% pour des sphérules de glace de 0,1 micromètre de rayon, mais vaut seulement 1% pour un rayon de 1 micromètre).

Ce déséquilibre se traduit par un flux de vapeur, allant du voisinage des bosses, qui se subliment pour compenser le déficit en vapeur de l'air ambiant, vers le voisinage des creux, qui se combleront par la condensation de la vapeur devenue excédentaire (voir l'encadré ci-dessus). Par conséquent, les cristaux de neige perdent leurs aspérités, leurs aiguilles, leurs creux, et à terme leurs tailles s'uniformisent. Cela favorise le tassement de la neige.

Par ailleurs, les points de contact entre ces grains constituent des parties concaves, qui tendent donc à se combler. Ainsi, les ponts de glace entre les grains grossissent, d'où une cohésion supplémentaire. On obtient finalement une neige compacte, qui se tient mais qui reste facile à découper (pour faire par exemple des boules de neige), les fractures se propageant bien dans cette matière peu élastique.

Les métamorphoses ne s'arrêtent pas là, car des différences de températures peuvent apparaître dans la couche de neige et provoquer de nouveaux déséquilibres thermodynamiques.

VARIATIONS SPATIALES DE LA TEMPÉRATURE, HUMIDITÉ

En moyenne montagne, où les neiges ne sont pas éternelles, les premières chutes de neige recouvrent un sol à peine gelé, dont la température avoisine souvent 0 °C. Mais à mesure que le manteau neigeux s'épaissit, les transferts thermiques y étant lents (la neige est un bon isolant thermique), il peut apparaître des

Les auteurs ont notamment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



> variations de température notables entre la neige au contact du sol et celle de la surface du manteau, plus froide.

Or la teneur maximale en vapeur d'eau de l'air à l'équilibre avec la glace varie beaucoup avec la température. Elle est par exemple de 4,8 grammes par mètre cube (g/m^3) à 0°C , mais de $3,3 \text{ g/m}^3$ à -5°C , et de $2,2 \text{ g/m}^3$ à -10°C . Dans ces conditions, on observe un flux de vapeur depuis les couches les moins froides, où les grains de glace se subliment, vers les couches les plus froides, où l'excès de vapeur se condense sur les grains.

Cet effet l'emporte sur le précédent dès que les variations de température dépassent 5°C par mètre. Il se manifeste par l'apparition de nouvelles microstructures. Pourquoi? Les variations de température ayant lieu dans la direction perpendiculaire au sol, chaque grain subit à la fois une sublimation et une condensation. La partie du grain la plus proche de la surface tend à se sublimer au profit des grains au-dessus de lui, plus froids, tandis que la partie du grain la plus proche du sol condense la vapeur qui afflue des grains du dessous, plus chauds.

MINIPYRAMIDES À GRADINS

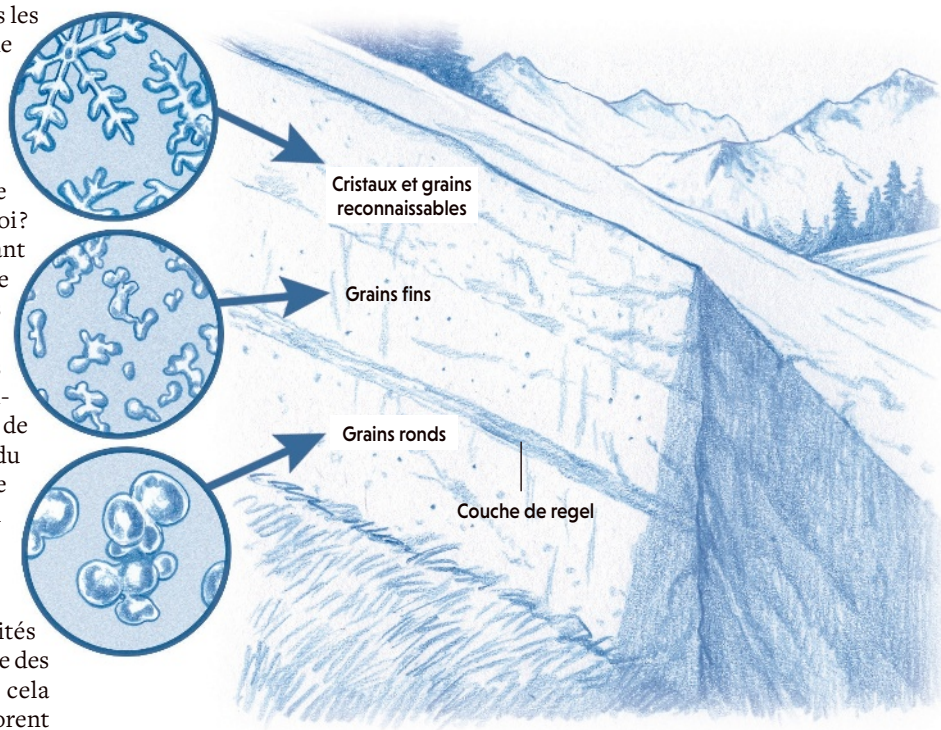
Cela fait disparaître les aspérités comme précédemment, mais, à cause des flux de vapeur plus importants, cela conduit aussi à des grains qui arborent des facettes là où la vapeur se condense. Quand les variations de température dépassent 20°C par mètre, on obtient par ce mécanisme d'assez gros grains, d'environ 1 millimètre, en forme de pyramide maya avec une base plate, des gradins et un sommet arrondi. Cette neige appelée «givre de profondeur» se reconnaît aisément car elle coule très facilement, comme du gros sel, les grains ne présentant guère de cohésion entre eux.

Enfin, le manteau neigeux est aussi susceptible d'évoluer en fonction de l'humidité, eau sous forme liquide due par exemple à la pluie ou à la fonte superficielle de la surface sous les rayons du soleil. Si elle persiste, c'est que la température du manteau neigeux qu'elle imbibe est à 0°C .

Lorsque la teneur en eau est faible, elle se loge entre les grains et forme des ménisques qui renforcent beaucoup la cohésion des grains, par attraction capillaire. La présence de ces ménisques provoque aussi, par modification de la température de fusion, la fonte des petits grains ou des parties convexes.

DES COUCHES DE MICROSTRUCTURES DIFFÉRENTES

Les différentes couches d'un manteau neigeux se distinguent par leur structure à l'échelle submillimétrique. Un exemple de stratification est illustré ci-dessous, avec les formes approximatives des cristaux ou grains de glace qui caractérisent chaque couche.



Lorsque la teneur en eau augmente, on obtient une neige constituée de grains ronds dont la cohésion diminue: elle devient alors molle et dense, propice à la glisse. En cas de regel, si l'eau est assez abondante, la neige forme une croûte de glace très dure.

Ainsi, dès que le manteau neigeux est épais, il peut présenter plusieurs strates de microstructures différentes, en fonction des dépôts neigeux et des conditions climatiques au cours des mois précédents. Il est donc difficile d'estimer sa tenue par un simple examen de sa surface. La présence d'une couche de givre de profondeur constitue par exemple un véritable danger, car la neige peut soudainement se mettre à couler et provoquer une avalanche. C'est pourquoi les sondages stratigraphiques, sur toute l'épaisseur du manteau neigeux, sont indispensables pour estimer la cohésion des différentes couches et le risque d'avalanche. ■

BIBLIOGRAPHIE

N. Calonne et al.,
Modélisation des métamorphoses de la neige sèche : de la microstructure à la couche de neige,
La Météorologie, n° 98,
pp. 36-44, août 2017.

C. Sergent,
Les métamorphoses de la neige, Neige et Avalanches
(revue de l'Anena),
n° 83, pp. 2-10,
septembre 1998.