

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

QUAND LA NEIGE SE MÉTAMORPHOSE

Contrairement aux apparences, le manteau neigeux n'est pas un milieu homogène. Ses diverses couches, façonnées par les conditions météorologiques, présentent des structures microscopiques différentes.



L'hiver est là et les chutes de neige successives couvrent d'un manteau blanc les flancs de nos montagnes. Un manteau loin d'être homogène et immuable. En fonction des conditions atmosphériques passées et présentes (vent, température, humidité...), cette neige évolue lentement. Elle garde pour un œil non averti le même aspect visuel, mais sa microstructure évolue. La densité et les propriétés mécaniques changent, avec de possibles conséquences par exemple sur le déclenchement des avalanches. En quoi consistent ces « métamorphoses » de la neige et quels sont leurs moteurs ?

Commençons par la formation d'une couche de neige. En l'absence de vent et si la température ambiante est inférieure à 0 °C au moment de la chute, les flocons, constitués de cristaux de neige agglomérés, forment sur le sol une couche peu

dense, la « poudreuse ». Il est périlleux de marcher dessus, car on s'y enfonce facilement, à cause de sa faible résistance mécanique. Tout de même, la neige fraîche et sèche a une certaine cohésion. Les flocons, avec leurs branches et leurs formes compliquées, s'enchevêtrent tandis que de nombreux petits ponts de glace se forment au niveau des points de contact. Cette neige tient ainsi facilement sur les pentes, les toits, les branches des arbres...

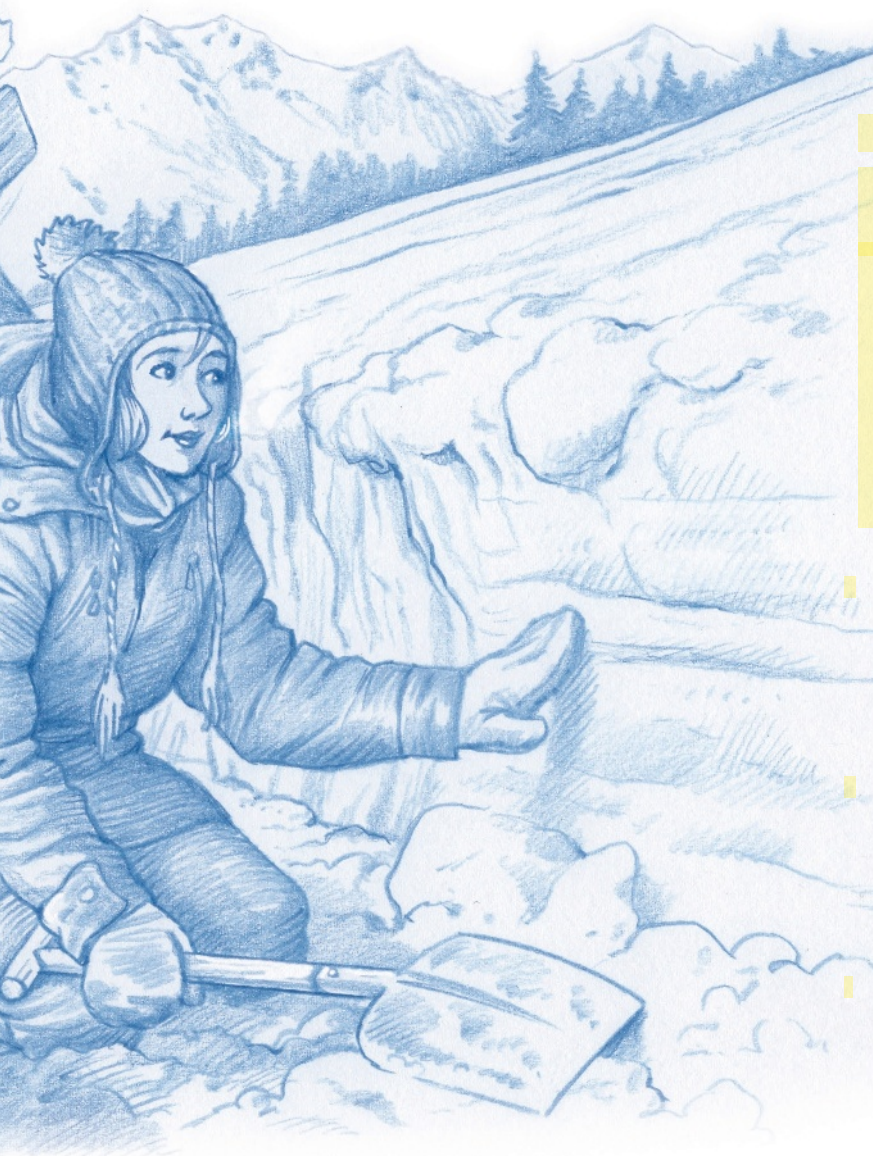
DES CRISTAUX QUI DEVIENNENT DES GRAINS

Et ensuite ? Sous l'effet du vent ou juste du poids de la couche, les flocons se brisent. Leurs aspérités s'adoucissent : de cristaux géométriques, on passe à des fragments, moins enchevêtrés, puis, parfois au bout de plusieurs semaines, à des petits grains d'une fraction de millimètre et sans beaucoup d'aspérités.

Entre le sol et la surface de la couverture neigeuse, la neige présente en général plusieurs couches, que l'œil ne distingue que difficilement.

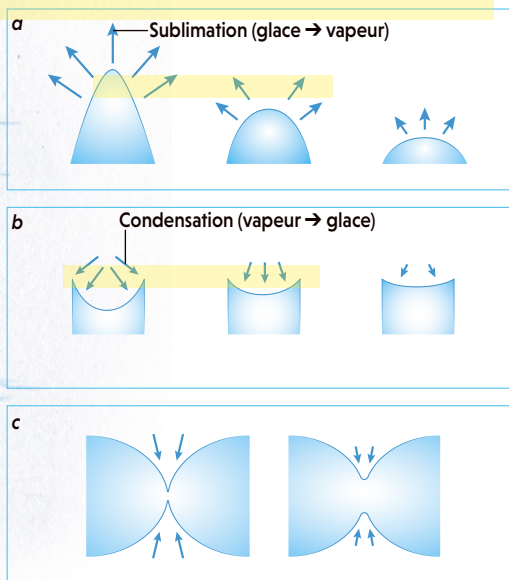
Dans un premier temps, la perte des enchevêtrements réduit la cohésion de la neige, qui peut alors glisser des supports les plus pentus. Mais, plus tard, les grains débarrassés de leurs aspérités peuvent s'approcher davantage et mieux s'empiler. La neige se tasse alors, devenant plus dense et regagnant de la cohésion.

Que se passe-t-il, plus précisément, lors de ces transformations ? La neige est de l'eau à l'état solide – de la glace. En dessous de 0 °C, la glace se sublime en vapeur tant que la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air ambiant est inférieure à une quantité maximale, qui dépend de la température. Une fois ce maximum atteint, la glace est à l'équilibre avec la vapeur d'eau et tout surplus de vapeur se condense.



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).

