

L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à Pour la Science

UNE VIE ENTRE MICA ET CALCITE

Au domaine de Chaumont-sur-Loire, les créations minérales de Léa Barbazanges, centrées sur la notion de cristal périodique ou aperiodique, rendent hommage au vivant... et à deux Prix Nobel.

La première pierre a été posée vers l'an 1000, quand Eudes 1^{er}, comte de Blois, décide de faire ériger une forteresse sur un coteau dominant la Loire afin de surveiller les remuants voisins du comté d'Anjou. Le premier parterre du parc qui entoure le château, détruit et reconstruit au fil des siècles, est installé en 1884 par l'architecte paysagiste Henri Duchêne. Dès lors, le domaine de Chaumont-sur-Loire était prêt pour accueillir le désormais célèbre Festival international des jardins, dont la première édition s'est tenue en 1992.

Un autre rendez-vous incontournable s'y est greffé, la « Saison d'art » : chaque année, une quinzaine d'artistes et plasticiens éminents ou émergents sont invités à présenter des œuvres inédites et originales sur le thème de la nature. D'ordinaire close à la fin de l'automne, la douzième Saison d'art est exceptionnellement prolongée jusqu'au 3 janvier 2021 et reste accessible au gré des mesures de restriction sanitaire.

Des poétiques herbiers de Marinette Cueco aux délicates céramiques de Sophie Lavaux en passant par les plumes suspendues d'Isa Barbier, les yeux sont séduits par la grâce et la subtilité des univers ainsi offerts.

Et un œil qui serait en outre sensible aux charmes de la science ne manquera pas de s'arrêter sur les œuvres de Léa Barbazanges alliant minéralogie et mathématiques à l'esthétique. D'abord, dans *Cristaux*, l'artiste installée à Strasbourg donne à voir sur de grands

panneaux translucides des cristaux de calcite, un carbonate de calcium (CaCO_3) naturel. Très abondant, ce minéral est le constituant essentiel des roches sédimentaires, des concrétions dans les grottes, ainsi que des structures élaborées par des organismes vivants microscopiques comme les foraminifères et les coccolithophores.

La calcite est dotée de caractéristiques optiques particulières avec lesquelles l'œuvre joue, notamment la biréfringence. Grâce à cette propriété de diviser en deux un rayon de lumière, les motifs de *Cristaux* se parent de reflets argentés changeants et évoquent d'autres édifices ordonnés tels que le givre ou les flocons de neige.

DE MAILLE EN MAILLE

À la fin du XVIII^e siècle, les études de la calcite menées par le minéralogiste français René Just Haüy ont conduit à la découverte du principe de la maille cristalline. Mais cette idée selon laquelle un motif géométrique simple constitue un réseau cristallin en se répétant périodiquement a été bousculée par la découverte des quasi-cristaux au début des années 1980. Il s'agit de solides aux propriétés de diffraction similaires à celles des cristaux (en l'occurrence, des diagrammes dits « discrets »), mais dont la structure n'est pas périodique. Leur identification, un temps contestée, a valu à l'Israélien Dan Shechtman le prix Nobel de chimie en 2011.

Une méthode pour modéliser ces quasi-cristaux est de recourir aux pavages de Penrose, eux aussi non périodiques et portant le nom du Britannique Roger Penrose, lauréat du prix Nobel de physique

en 2020 pour ses travaux sur les trous noirs. L'un de ces pavages, faits de deux types de losanges aux angles bien définis (on parle de pavage de type 3) est le cœur de *MicaPenrose*, l'autre œuvre de Léa Barbazanges exposée à Chaumont (voir page ci-contre). Conçue en collaboration avec Sylvain Ravy, du Laboratoire de physique des solides de l'université Paris-Sud, elle consiste en un assemblage de tuiles faites de mica.

Ce silicate d'aluminium et de potassium (dont le cristal est périodique, à l'inverse de l'alliage d'aluminium et de manganèse étudié par Dan Shechtman) est l'un des composants du granit et du sable. Sa structure feuilletée lui confère un aspect scintillant spectaculaire et un chatoulement de couleurs semblable à celui d'une bulle de savon qui varie selon l'angle d'observation. De fait, devant l'œuvre, en se déplaçant, le visiteur voit passer le pavage d'une teinte plutôt grise et terne à une explosion multicolore.

Étonnamment, selon Helen Hansma, de l'université de Santa Barbara, en Californie, les premières cellules vivantes sont peut-être apparues au sein d'un film d'eau entre des feuillettes de mica. Or Léa Barbazanges place la vie au centre de ses créations, même lorsqu'elles sont minérales. Et c'est en fait toute l'ambition du domaine de Chaumont et de son engagement pour l'art du jardin : faire surgir la vie de la terre pour l'émerveillement de tous. ■

Saison d'art 2020
www.domaine-chaumont.fr/fr

L'auteur a publié :
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer et la science...**
(Belin, 2018)



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...

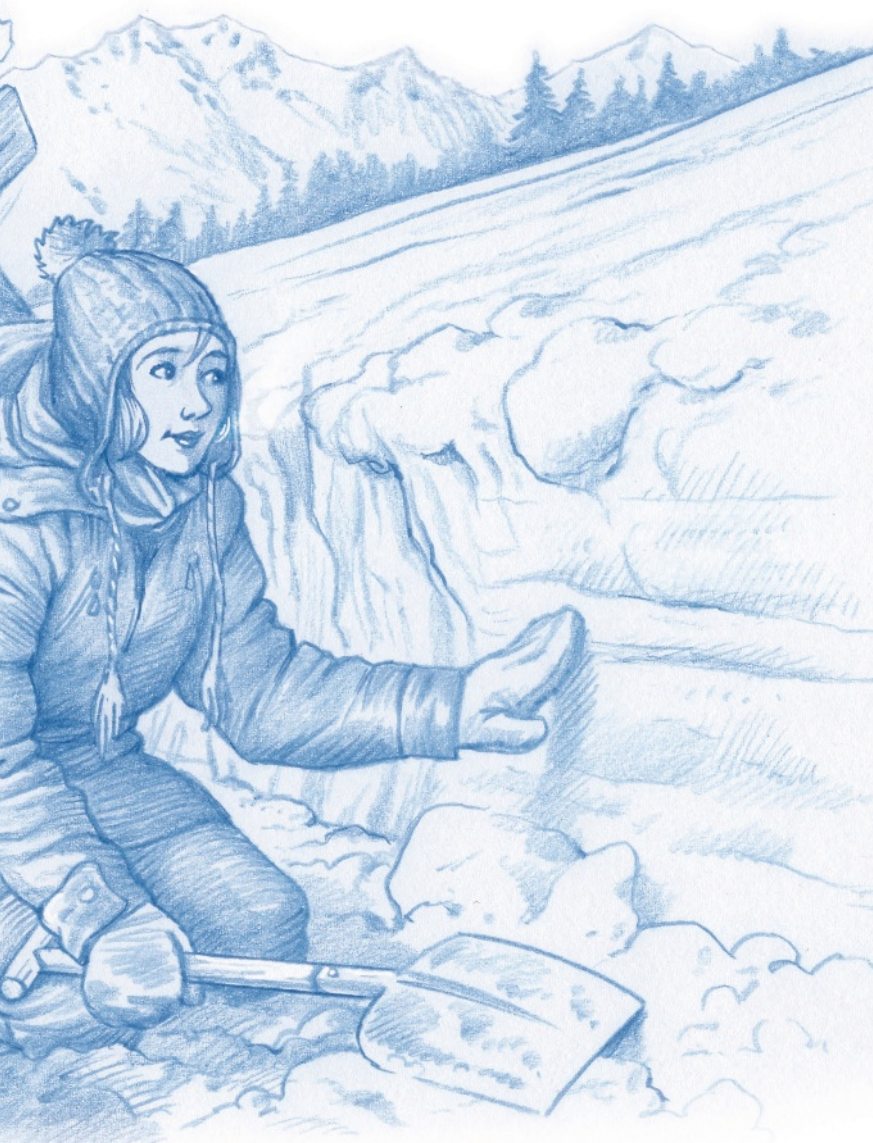
DES CRISTAUX QUI DEVIENNENT DES GRAINS

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.

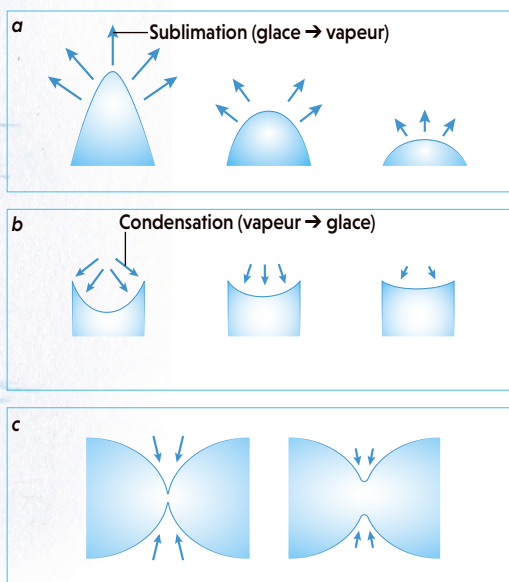
Dans un premier temps, la perte des enchevêtrements réduit la cohésion de la neige, qui peut alors glisser des supports les plus pentus. Mais, plus tard, les grains débarrassés de leurs aspérités peuvent s'approcher davantage et mieux s'empiler. La neige se tasse alors, devenant plus dense et regagnant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



> 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

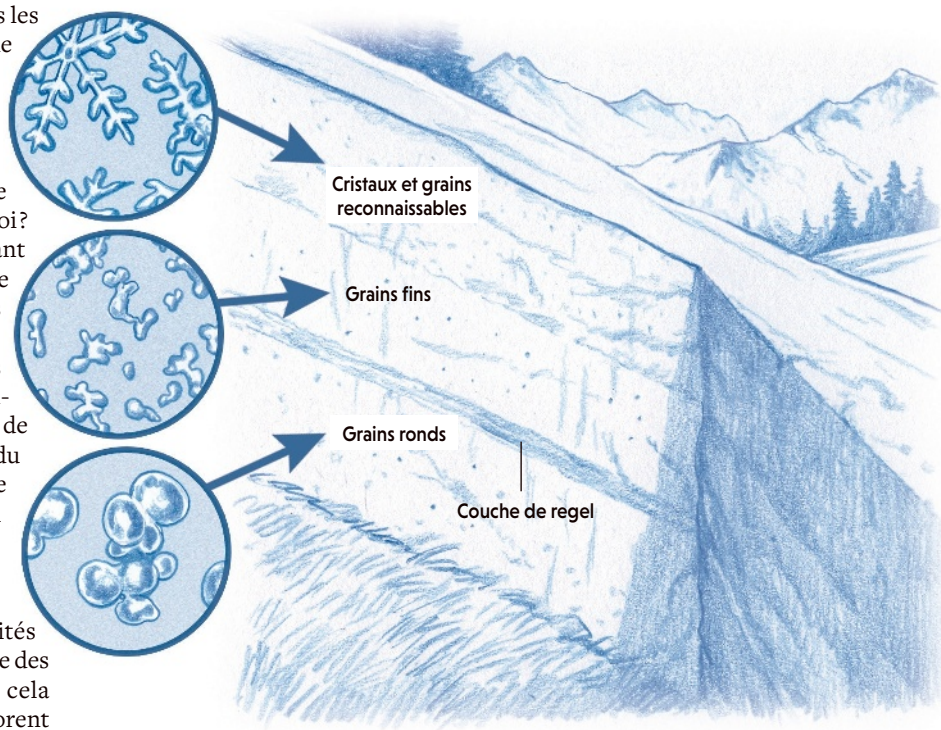
Cela fait disparaître les aspérités comme précédemment, mais, à cause des flux de vapeur plus importants, cela conduit aussi à des grains qui arborent des facettes là où la vapeur se condense. Quand les variations de température dépassent 20°C par mètre, on obtient par ce mécanisme d'assez gros grains, 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.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 518 (Déc. 20)
réf. PL518



N° 517 (Nov. 20)
réf. PL517



N° 516 (Oct. 20)
réf. PL516



N° 515 (sept. 20)
réf. PL515



N° 514 (août 20)
réf. PL514



N° 513 (juill. 20)
réf. PL513



N° 512 (juin 20)
réf. PL512



N° 511 (mai 20)
réf. PL511



N° 510 (avril 20)
réf. PL510



N° 509 (mars 20)
réf. PL509



N° 508 (fév. 20)
réf. PL508



N° 507 (jan 20)
réf. PL507



À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Marketing – 170 bis boulevard du Montparnasse – 75 014 Paris – email : boutique@pouurlascience.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 01 x 9,90 € = 9,90 €
2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2021 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pouurlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.
Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pouurlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR