

> 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

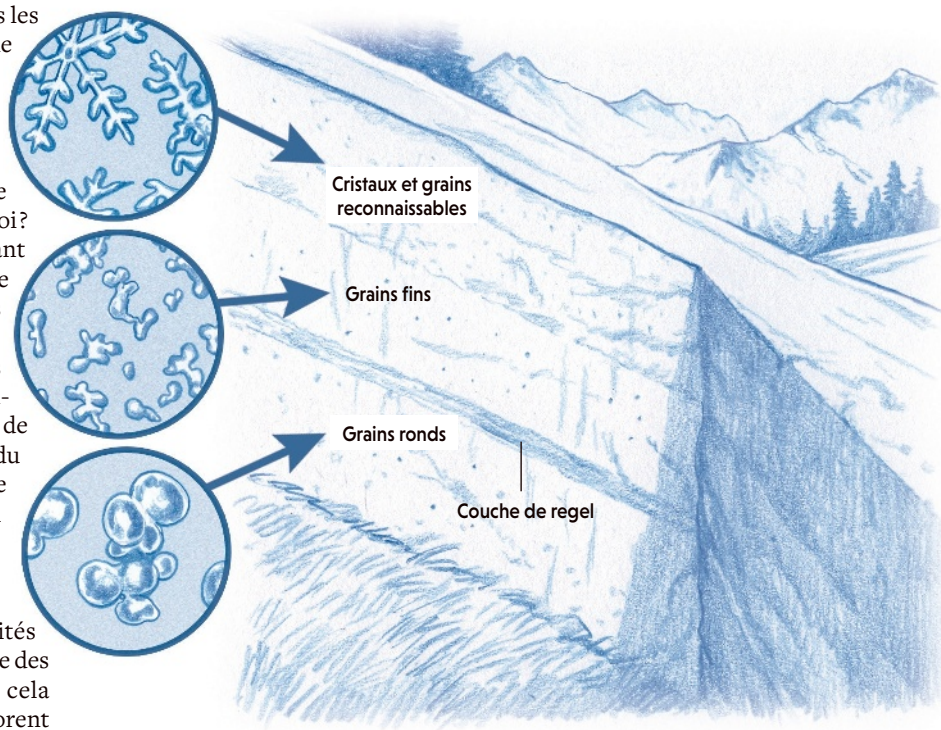
Cela fait disparaître les aspérités comme précédemment, mais, à cause des flux de vapeur plus importants, cela conduit aussi à des grains qui arborent des facettes là où la vapeur se condense. Quand les variations de température dépassent 20°C par mètre, on obtient par ce mécanisme d'assez gros grains,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

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne Université,
à Paris

COMMENT LES THÉROPODES PERDENT LEURS DOIGTS

La découverte d'«*Oksoko avarsan*», un dinosaure proche parent des oiseaux muni de seulement deux doigts fonctionnels, ravive la question de la perte des doigts chez les dinosaures théropodes.

À la fin du Crétacé, il y a environ 70 millions d'années, loin d'être un désert, l'actuel Gobi, en Mongolie, arborait cours d'eau, lacs et denses forêts de conifères, et était peuplé d'une étonnante diversité de dinosaures, en particulier d'oviraptorosaures. Ces théropodes bipèdes sont les plus proches parents des paraves, les oiseaux au sens large (dont le vélociraptor), parmi lesquels les oiseaux (aves) sont les seuls théropodes actuels. C'est ce qui fait l'intérêt exceptionnel des oviraptorosaures. De fait, depuis une vingtaine d'années, de nombreuses découvertes de fossiles remarquablement conservés de ces animaux ont permis aux paléontologues de brosser la dynamique évolutive de la transition de théropodes terrestres à des théropodes volants: origine des plumes, changement du squelette et de la musculature et... réduction du nombre de doigts.

La réduction du nombre de doigts du membre antérieur des théropodes est

bien connue: de cinq doigts, comme chez les crocodiles, on passe à quatre, puis à trois, comme chez les oiseaux actuels. Une telle perte est adaptative, car elle réduit la masse de l'extrémité du membre et, par conséquent, son moment d'inertie, ce qui facilite le vol, la surface alaire étant réalisée par des plumes très légères. Toutefois, on est encore loin de comprendre comment cette perte s'est produite. La découverte d'un nouvel oviraptorosaure, nommé *Oksoko avarsan*, dans la couche géologique du Crétacé terminal de Mongolie vient cependant de raviver cette question.

La main de l'animal présente en effet une originalité: elle n'a plus que deux doigts fonctionnels, munis de griffes, avec un troisième doigt vestigial. Le clade des oviraptorosaures est très diversifié, et les animaux montrent une grande variété dans la longueur et la morphologie du membre antérieur, ce qui suggère des variations dans sa fonction: fourrageage, couvaison, parade... Mais *O. avarsan* est le seul connu dont ce membre n'est muni



Le terme *Oksoko* se réfère à l'aigle à trois têtes de la mythologie altaïque. Le mot *avarsan*, lui, signifie «sauvé» en mongol et rappelle que ces trois spécimens ont été confisqués à des contrebandiers par l'Agence de renseignements mongole avant d'être confiés au Centre de paléontologie mongol en 2006. Alors seulement leur étude a pu commencer...



Hervé Le Guyader
a récemment publié:
**Biodiversité, le pari
de l'espoir,**
(Le Pommier, 2020).