

> 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

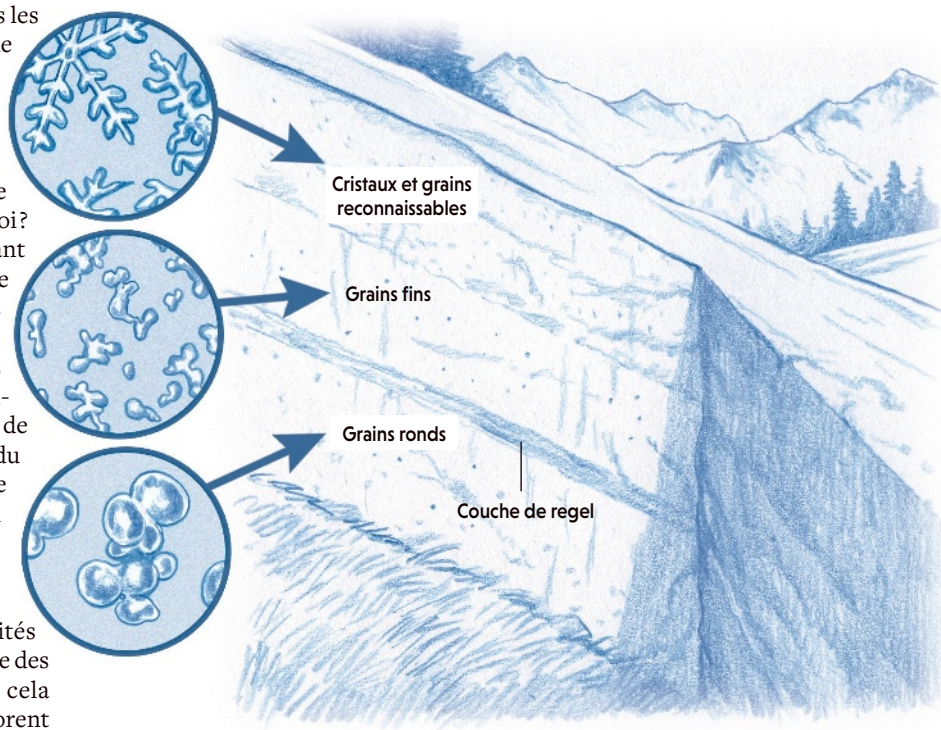
Cela fait disparaître les aspérités comme précédemment, mais, à cause des flux de vapeur plus importants, cela conduit aussi à des grains qui arborent des facettes là où la vapeur se condense. Quand les variations de température dépassent 20°C par mètre, on obtient par ce mécanisme d'assez gros grains,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

Exhumés ensemble, les trois spécimens juvéniles qui ont permis de décrire cette nouvelle espèce vivaient en Mongolie il y a plus de 68 millions d'années.

Ces dinosaures à plumes arboraient un large bec dépourvu de dents ressemblant à celui d'un perroquet.



EN CHIFFRES

9

Neuf genres d'oviraptorosaures ont été découverts en Mongolie, dans le désert de Gobi.

175 MILLIONS D'ANNÉES

C'est l'âge de l'ancêtre commun le plus récent entre les oviraptorosaures et les paraves, les oiseaux au sens large.

2

Si l'autruche a trois doigts à son aile, elle n'en a que deux à sa patte postérieure. En revanche, l'émeu, un autre oiseau coureur, n'a qu'un doigt à l'aile et trois à la patte postérieure. Quant au crocodile du Nil, s'il a cinq doigts à sa patte antérieure, il n'en a que quatre à sa patte postérieure...

L'embryologie complète l'étude anatomique du membre et l'on connaît même des gènes clés de leur développement. C'est ainsi qu'en 2013, l'équipe de Michael Richardson, de l'université de Leyde, aux Pays-Bas, a mené une étude approfondie sur cinq oiseaux – deux oiseaux coureurs, l'émeu d'Australie et l'autruche d'Afrique, et trois oiseaux volants, le poulet, la tourterelle rieuse et le diamant mandarin – et un cousin des dinosaures, le crocodile du Nil, comme référence (voir l'encadré page 94).

L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉMEU, L'AUTRUCHE ET LE DIAMANT MANDARIN

Le crocodile a cinq doigts à la patte antérieure, l'émeu un seul et les autres trois. On peut s'étonner de la différence entre l'autruche et l'émeu (rappelons qu'ils avaient des ancêtres volants). Or si ce dernier n'utilise ses ailes que pour la régulation thermique en les agitant comme un éventail, l'autruche s'en sert aussi lors des parades nuptiales, pour la couvaison et comme stabilisateurs dans des manœuvres en pleine course, telles que des zigzags ou des freinages rapides. Une sélection forte s'applique donc sur de telles ailes, à la différence de celles de l'émeu, et empêche ainsi leur atrophie.

L'équipe a eu l'idée de comparer le squelette de l'adulte avec un stade précoce de développement, quand la main n'est encore qu'une palette où l'on distingue les ébauches cartilagineuses des doigts, mais aussi l'expression de certains

que de deux doigts fonctionnels. L'équipe internationale qui a décrit l'animal, rassemblée autour de Philip Currie, de l'université de l'Alberta, au Canada, évoque une nouvelle niche écologique pour cet animal, ce qui suggère une sélection. La comparaison avec d'autres théropodes, en tenant compte également du crâne et du bec, a amené ces chercheurs à suggérer qu'*O. avarsan* était strictement herbivore, ce qui rendait les griffes moins indispensables, d'où la perte d'un doigt. Mais comment aller plus loin sans connaître avec précision la fonction d'un tel membre? En s'intéressant... aux oiseaux eux-mêmes.

L'intérêt des oiseaux est multiple. On y rencontre des cas de perte de doigts, dont la fonction peut être décrite.



Oksoko avarsan

Taille: env. 1,20 m
(env. 2 m à l'âge adulte)
Poids: env. 45 kg
(env. 74 kg à l'âge adulte)

> gènes de développement, tel le gène *Sox9*, dont le produit contrôle l'expression spécifique du gène de collagène de type II dans les chondrocytes, les cellules du cartilage. Seules les cellules exprimant *Sox9* produisent cette protéine. L'équipe a ainsi découvert que le plan de la main de l'embryon est bien plus complet que celui de l'adulte. Prenons le cas de l'aile de l'autruche. On distingue non pas trois ébauches cartilagineuses exprimant *Sox9*, mais cinq. Puis les ébauches des doigts I (le pouce, ou doigt le plus antérieur) et V (le plus postérieur) régressent, et seules les ébauches II, III et IV iront à terme. En d'autres termes, l'expression de *Sox9* peut persister alors que les doigts correspondants sont perdus.

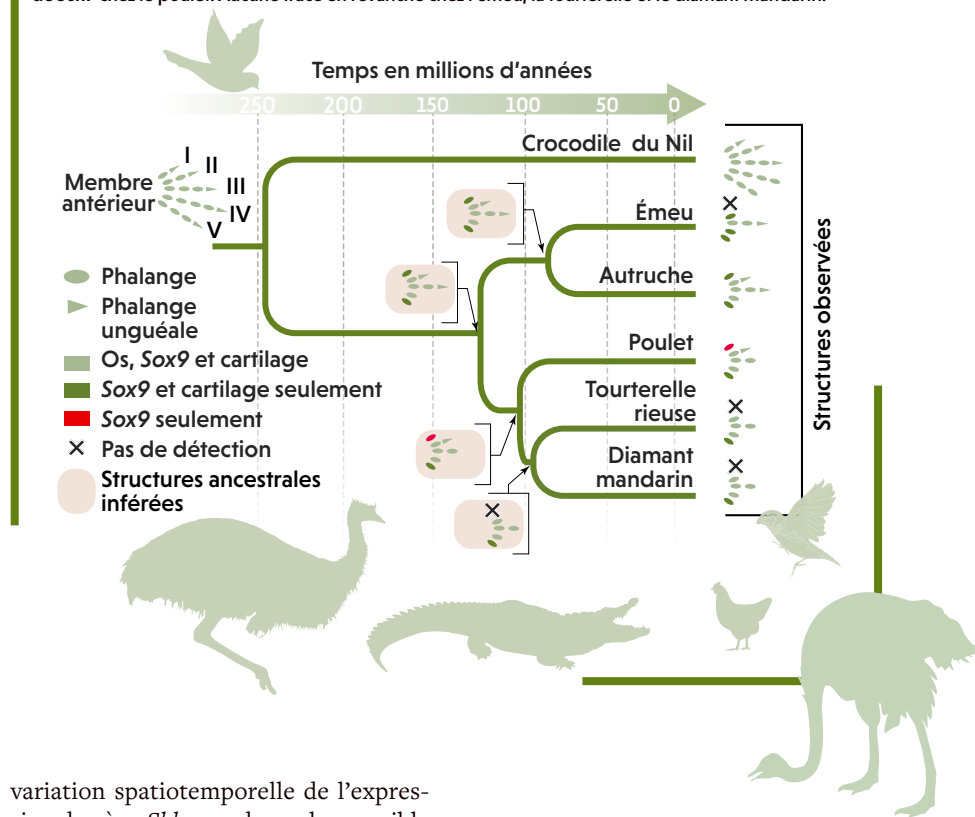
Focalisons-nous sur les doigts V et I. Tous les oiseaux adultes ont perdu le doigt V. Néanmoins, tous les embryons développent, à sa position, une ébauche transitoire exprimant *Sox9*, qui évolue en cartilage. Cela est également vrai pour le membre postérieur, et, si l'on se réfère à la phylogénie et la paléontologie, les voies génétiques du développement du cartilage du doigt V ont persisté pendant plus de 25 millions d'années après que le doigt V a disparu de la patte postérieure. Le doigt I, lui, a disparu de toutes les ailes depuis 120 millions d'années. Mais les voies génétiques sous-jacentes parfois aussi, et ce dans deux lignées indépendantes (les oiseaux coureurs et les oiseaux volants). Comment expliquer une telle différence ?

UNE CONTRAINTÉ DÉVELOPPEMENTALE

D'un point de vue embryologique, les doigts I et V ne sont pas en situation identique. En effet, le bourgeon du membre présente, dans sa partie postérieure, une aire appelée « zone d'activité polarisante » ou ZPA, qui envoie les signaux permettant à ce dernier de se développer suivant un axe antéropostérieur. Ainsi, le doigt V est proche de la ZPA, le doigt I en est le plus éloigné. Or la ZPA exprime le gène *Shh*, dont le produit est une protéine « morphogène » : elle diffuse dans les tissus et, selon sa concentration, active des cellules en activant *Sox9*. Cette voie est très conservée, l'évolution ne jouant que sur le caractère spatiotemporel de l'expression. Or, par diffusion, la protéine se retrouve en grande concentration près de la ZPA, donc vers le doigt V, et en faible concentration dans la partie antérieure du bourgeon, où seront situées les ébauches des doigts I et II. Une légère

QUAND LES DOIGTS DES OISEAUX ONT DISPARU

En combinant observations, phylogénie et paléontologie, l'équipe de Michael Richardson a reconstitué l'évolution des pertes de doigts de l'aile. Tous les oiseaux adultes ont perdu le doigt V, mais leurs embryons (ci-dessous la structure des mains au stade final du développement) en développent une ébauche transitoire exprimant le gène *Sox9* et produisant du cartilage. Le doigt I, lui, est représenté par un cartilage diffus chez l'autruche et une faible expression de *Sox9* chez le poulet. Aucune trace en revanche chez l'émeu, la tourterelle et le diamant mandarin.



variation spatiotemporelle de l'expression du gène *Shh* sera donc plus sensible dans les endroits les plus éloignés de la ZPA. En d'autres termes, les contraintes développementales ne sont pas les mêmes pour une ébauche proche ou éloignée de la ZPA.

Ainsi, la disparition des doigts des oiseaux se fait suivant deux pressions : une contrainte développementale et une sélection liée aux fonctions. Il est vraisemblable que la disparition du doigt chez *O. avarsan* relève d'un scénario analogue. En effet, on peut postuler que la pression de sélection sur les pattes antérieures se relâche, étant donné que la présence de doigts griffus ne paraît plus indispensable pour un animal qui n'a plus de proies à saisir. Mais est-ce le même mécanisme que celui décrit pour les oiseaux ? Vu la proximité évolutive des animaux, un biologiste postulera une identité des mécanismes évolutifs, ce qu'on appelle « un parallélisme ». Mais comment le démontrer ? Nous touchons la limite de la paléontologie. ■

BIBLIOGRAPHIE

G. F. Funston et al., **A new two-fingered dinosaur sheds light on the radiation of Oviraptorosauria**, *R. Soc. Open Sci.*, vol. 7(10), article 201184, 2020.

K. Kawahata et al., **Evolution of the avian digital pattern**, *Scientific Reports*, vol. 9, article 8560, 2019.

M. A. G. de Bakker et al., **Digit loss in archosaur evolution and the interplay between selection and constraints**, *Nature*, vol. 500, pp. 445-448, 2013.

L'UNIVERS AVANT LE BIG BANG

- 7 dossiers rédigés par des chercheurs et des experts sur le sujet
- Une lecture adaptée sur écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



**Commandez et téléchargez
les numéros en pdf**



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html

L'AUTEUR



HERVÉ THIS
physicochimiste,
directeur du Centre
international
de gastronomie moléculaire
AgroParisTech-Inra, à Paris

VARIATIONS SUR MOUSSES EN BULLE MAJEURE

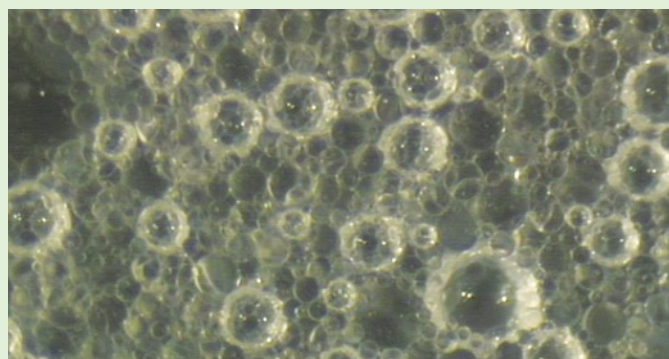
Au lieu de subir le résultat des actions culinaires, soyons plus créatifs en choisissant les tailles des particules d'une suspension ou des bulles d'une mousse, leur consistance, la viscosité du liquide utilisé...

La cuisine est restée rustique. On continue de préparer des mets comme au Moyen Âge (les sauces rémoulades, les boudins...), ou même comme bien avant: les rôtis et les bouillons datent presque de l'introduction du feu! Faisons progresser l'art culinaire en y introduisant plus de précision et en adaptant l'activité culinaire à nos objectifs. Les recettes de cuisine ne mentionnent pas d'objectif et se contentent d'indiquer un protocole que l'on est censé suivre à la lettre, avec le risque de ne jamais pouvoir se rattraper en cas de problème. Or les problèmes sont nombreux, tant les ingrédients classiques (fruits, légumes, farines, etc.) sont variables selon les lots, les saisons...

Considérons par exemple une simple mousse. La photographie ci-contre est celle d'une mousse produite par des techniques de microfluidique et qui présente de grosses bulles d'air entourées de petites bulles d'air satellites. On peut se demander si la texture de cette mousse est différente de celle d'une mousse dite «monodisperse», dont toutes les bulles seraient de la même taille. Si l'on cuit cette mousse comme une meringue, aurons-nous des objets d'un type culinaire nouveau? Je vous invite à faire l'expérience, en mêlant deux mousses de blanc en neige, l'une sucrée (petites bulles), et l'autre pas (grosses bulles).

On peut faire le même type d'observations pour des «suspensions», qui sont le thème du neuvième concours international de «cuisine note à note». Par suspension, on entend une dispersion, classiquement aléatoire, de particules solides, dans un liquide pour les suspensions liquides, et dans un solide pour les suspensions solides (pensons à du nougat, avec des éclats d'amande dans un caramel). Là encore, la pratique est

Dans cette mousse, les bulles d'air ont différentes tailles. Le diamètre des plus grosses est ici de 0,01 millimètre. La répartition en tailles des bulles d'une mousse alimentaire a une influence sur la perception en bouche.



généralement très rudimentaire, puisque les systèmes colloïdaux classiques s'obtiennent par un mélange sans précaution (dans une mayonnaise, les gouttes d'huile dont dispersées de façon aléatoire). Pour des breuvages épaissis, tels les frappés aux fruits, on peut faire mieux que simplement broyer ces derniers: pourquoi ne pas séparer les fibres (de la cellulose, principalement), puis les remettre après en avoir broyé la moitié dans un moulin à café, afin d'en obtenir de plus petites?

On peut aussi jouer sur la consistance des objets dispersés. On sait que des particules solides sont perceptibles en bouche quand leur diamètre dépasse une quinzaine de micromètres. Mais cette limite ne vaut plus quand les objets sont plus mous, comme pour la purée de pomme, où l'on disperse des agrégats de cellules, des cellules ou des cellules ouvertes et vidées de leur contenu: on ne perçoit alors que des particules bien plus grosses.

En outre, les études du chocolat, par exemple, ont montré que, pour des systèmes complexes, la répartition en tailles des particules dispersées est un facteur clé. Bien sûr, ce sont les particules les plus grosses que l'on perçoit le mieux, mais, quand des particules de différentes tailles sont présentes en suspension, ce sont les 10% des particules les plus grosses qui sont le mieux corrélées avec la perception sensorielle, comme l'ont récemment

montré Heather Shewan, de l'université du Queensland, et deux collègues (*Food Hydrocolloids*, vol. 103, 105662, 2020).

Pour cette perception du granuleux, la concentration des particules est également importante, tout comme la viscosité de la phase liquide dispersante. Un liquide visqueux masque en effet ce granuleux, dont il s'ensuit une libération prolongée des composés qui se dissoudront dans la salive, quand les solides dispersés sont hydrosolubles.

Répartition en tailles et consistance des particules dispersées, viscosité du liquide dispersant: autant de facteurs qui, maîtrisés, détermineront le goût du mets. ■



LA RECETTE

- 1 À l'extracteur de jus, préparer un jus de carottes. Y ajouter de la vitamine C.
- 2 Stocker au frais.
- 3 Récupérer le résidu solide, constitué essentiellement de fibres de cellulose, et le mettre à four très doux (60 °C, par exemple) pour le sécher.
- 4 Passer la moitié de ces fibres sèches au moulin à café, afin d'obtenir une poudre très fine.
- 5 Puis mettre les deux moitiés, non broyées et broyées, dans le jus de carotte. Mélanger et servir.

POUR LA SCIENCE HORS-SERIE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



N° 109 (nov. 20)
réf. DO109



N° 108 (sept. 20)
réf. DO108



N° 107 (mai 20)
réf. DO107



N° 106 (févr. 20)
réf. DO106



N° 105 (nov. 19)
réf. DO105



N° 104 (juil. 19)
réf. DO104



N° 103 (avr. 19)
réf. DO103



N° 102 (févr. 19)
réf. DO102



N° 101 (nov. 18)
réf. DO101



N° 100 (août 18)
réf. DO100



N° 99 (mai 18)
réf. DO099



N° 98 (févr. 18)
réf. DO098

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR/HORS-SERIE.HTML



À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science – Service marketing
170 bis Boulevard du Montparnasse – 75014 Paris – email : boutique@pourslscience.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,90 €.

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

1^{re} réf. _____ x 10,90 € = _____ €
2^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Offre valable jusqu'au 31/12/21 en France Métropolitaine. Pour une livraison à l'étranger, merci de consulter boutique.pourslscience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande 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@pourslscience.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 :

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



PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
ABONNEZ-VOUS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

A

PICORER



Retrouvez tous
nos articles sur
www.pourlascience.fr

P.42

421

La composition du cannabis varie, autant que celle de n'importe quelle plante, selon l'environnement et la souche. On en extrait ainsi jusqu'à 421 composés chimiques, dont 61 sont des cannabinoïdes.

P.92

UN DOIGT

Chez les théropodes, dont les oiseaux sont les seuls représentants actuels, on observe une réduction du nombre de doigts du membre antérieur. Cette perte est adaptative, car elle réduit la masse du membre et facilite ainsi le vol. De cinq, on passe à quatre, puis à trois, comme chez la plupart des oiseaux actuels... voire moins : l'émeu, qui avait des ancêtres volants, n'a plus qu'un doigt !

P.22

« Loin d'être futile, la cosmétique est une arme puissante susceptible de consolider ou de retirer toute crédibilité politique »

VIRGINIE TOURNAY
chercheuse au Cevipof

P.6

80 %

On estime qu'environ 80 % des personnes atteintes du Covid-19 souffrent de troubles de l'odorat. Nombre d'entre elles souffrent aussi d'une perturbation du goût, voire d'une perte totale de ce sens.

P.88

GIVRE DE PROFONDEUR

Quand, dans le manteau neigeux, les variations de température entre la neige en surface et celle au contact du sol dépassent 20 °C par mètre, des grains d'environ 1 millimètre en forme de pyramide maya apparaissent. Ce « givre de profondeur » coule très facilement, comme du gros sel, ce qui le rend dangereux, car susceptible de provoquer une avalanche.

P.54

1 000 KM³

Il y a 640 000 ans, la chambre magmatique sous l'actuel parc de Yellowstone, aux États-Unis, s'est vidangée. Elle a émis 1 000 kilomètres cubes de lave et a recouvert de cendres la moitié de l'Amérique du Nord. La dépression créée à la suite de son effondrement mesurait 45 kilomètres de large pour 85 kilomètres de long.

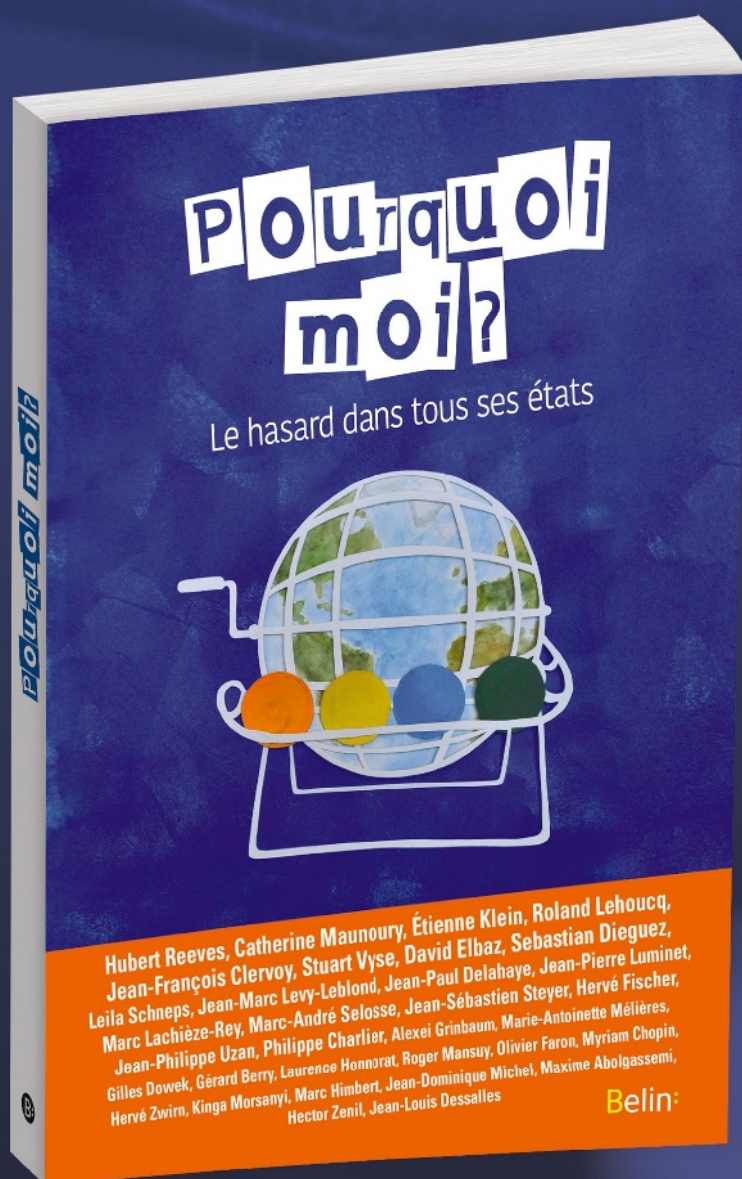
P.34

MAFIEUX

Le coucou gris, qui parasite le nid de la pie, a un comportement mafieux avec elle. Si la pie expulse l'œuf intrus, le coucou détruit tous les œufs du nid. Il est plus rentable pour la pie d'accepter l'œuf parasite que de s'en débarrasser : c'est sa seule chance de voir naître sa propre progéniture.

LE HASARD

**enfin décrypté
en 30 questions !**



En librairie **le 13 janvier**

Belin:

Dédicaces des auteurs à TimeWorld les 21, 22 et 23 janvier au Cnam