

> sauna où la température ambiante atteint 90 °C, la température de contact serait de 81 °C avec l'inox et de 49 °C avec le bois. On comprend pourquoi les bancs des saunas sont en bois... Ce contraste est aussi apparent en plein été, où l'on a vite fait de se brûler au contact d'une surface métallique exposée en plein soleil.

DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE DUES AU FLUX THERMIQUE

La température de contact ne suffit toutefois pas à expliquer complètement nos sensations, pour au moins deux raisons. L'une est physique: la température de contact n'est pas celle qui règne à l'endroit où se trouvent nos cellules nerveuses thermosensibles. L'autre est physiologique: ces cellules ne sont pas des thermomètres.

Commençons par la physique. Tant que les températures des deux corps ne se sont pas égalisées dans tout leur volume, de la chaleur passe du corps chaud au corps froid. L'intensité de ce flux thermique dépend surtout du matériau ayant l'effusivité la plus faible: la main cède ainsi trois fois plus de chaleur à la barre de métal qu'à la barre en bois.

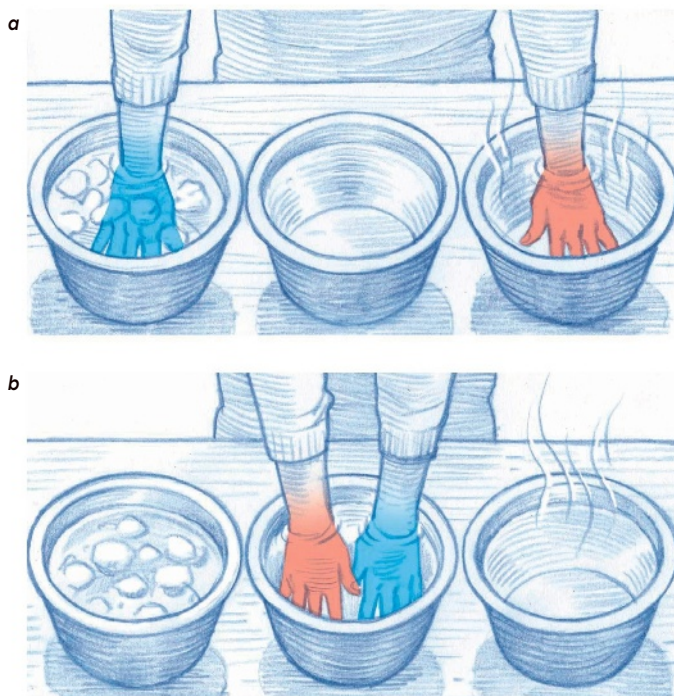
Il en serait de même, mais dans des proportions moindres, avec du carrelage (ou du marbre) et un parquet de bois. C'est aussi pour cela que, afin de décongeler rapidement un aliment, mieux vaut le placer sur une plaque dédiée, en aluminium épais, que sur une planche à découper en bois: le flux thermique sera multiplié par 4 et le temps de décongélation réduit.

Au flux thermique sont associées des variations de température à l'intérieur des corps en contact. Ces variations ne sont pas instantanées. Dans le cas de l'inox, par exemple, en 1 seconde, la variation de température se fait sentir jusqu'à 4 millimètres de profondeur. Mais dans du bois ou dans le doigt, cette distance est nettement inférieure au millimètre. Autrement dit, la température de nos cellules nerveuses situées sous l'épiderme, épais d'environ 1 millimètre, continue à évoluer durant les secondes qui suivent le contact.

Ensuite, l'une des caractéristiques importantes des cellules thermosensibles, sans entrer dans les détails de leurs divers types, est que ces cellules réagissent non pas à la température, mais à la vitesse de variation de cette dernière (voir l'encadré ci-dessus). Autrement dit, ce qui compte pour nos sensations, c'est la phase transitoire durant laquelle la

SENSIBILITÉ AUX VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

Les cellules thermosensibles de la peau réagissent aux variations de température et non à la température elle-même. Une expérience simple et bien connue illustre ce fait. On commence par plonger la main gauche dans de l'eau chaude et la main droite dans de l'eau froide, et on attend un peu (a). Puis on plonge les deux mains dans une eau tiède (b); les sensations sont alors inversées: la main gauche transmet une sensation de froid (en bleu), tandis que la main droite transmet une sensation de chaud (en rouge).



température de notre derme évolue, soit quelques secondes. Le résultat est en accord avec la température de contact: plus celle-ci diffère de la température du doigt, plus la variation de la température à l'intérieur du doigt sera importante et plus la sensation de chaud ou de froid sera intense.

Ainsi, si les sensations de température au toucher du bois et du métal sont différentes, c'est parce que les changements de température induits dans notre doigt par le contact avec ces matériaux ne sont pas les mêmes. En fait, lorsque nous touchons un objet, nous sommes sensibles à une combinaison de sa température et de son effusivité, combinaison qui diffère d'un matériau à l'autre.

Ces sensations thermiques ont leur rôle dans le confort et le bien-être. Aussi les concepteurs de vêtements ou même les équipementiers pour l'aménagement intérieur des voitures font-ils de plus en plus attention aux valeurs de l'effusivité des matières utilisées dans leurs produits. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Krapez, **Mesure de l'effusivité thermique**, *Techniques de l'Ingénieur*, R 2 957, septembre 2006 (<https://bit.ly/2ZNZrh6>).

W. M. Bergmann Tiest et A. M. L. Kappers, **Tactile perception of thermal diffusivity**, *Attention, Perception, & Psychophysics*, vol. 71, pp. 481-489, 2009.

A. Sarda et al., **Heat perception measurements of the different parts found in a car passenger compartment**, *Measurement*, vol. 35(1), pp. 65-75, 2004.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 507 (jan. 20)
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)
réf. PL503



N° 502 (août 19)
réf. PL502



N° 501 (juillet 19)
réf. PL501



N° 500 (juin 19)
réf. PL500



N° 499 (mai. 19)
réf. PL499



N° 498 (avr. 19)
réf. PL498



N° 497 (mar. 19)
réf. PL497



N° 496 (févr. 19)
réf. PL496

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.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 31/07/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.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@pourlascience.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

LES CHÉTOGNATHES TROUVENT ENFIN LEUR PLACE !

Avec leur tête chevelue et leur mâchoire fournie, les chétognathes ont longtemps été une énigme pour les zoologistes, qui peinaient à situer ces curieux vers marins dans la classification animale. Mais une solution est enfin apparue...

Les chétognathes ont longtemps été une énigme pour les zoologistes. Ces petits animaux marins transparents à symétrie bilatérale tiennent leur nom (du grec *khaitē*, «chevelure», et *gnathos*, «mâchoire») de puissants crochets préhenseurs qui, de part et d'autre de leur tête renflée, donnent l'impression d'une chevelure. Des arcs de petites dents entourent par ailleurs la bouche. Les côtés portent des nageoires paires et l'extrémité postérieure est munie d'une nageoire caudale. Ces animaux de taille modeste (4 centimètres en moyenne) sont de redoutables prédateurs à la morsure empoisonnée qui se nourrissent de copépodes (petits crustacés), de petits poissons ou de... chétognathes. Pendant deux siècles, du fait de ces étranges attributs, les zoologistes ont échoué à les situer dans la classification animale. Mais récemment, des données issues du développement, de la phylogénie et de la paléontologie ont amené à la résolution du problème.

On doit au naturaliste hollandais Martinus Slabber la première représentation d'un chétognathe, en 1775. Mais ces animaux n'ont été étudiés qu'en 1824, à bord de l'*Astrolabe* durant l'expédition de Jules Dumont d'Urville, par les biologistes marins Jean René Quoy et Joseph Gaimard. Au cours des années suivantes, les zoologistes classent tour à tour les chétognathes près des annélides, des nématodes, des mollusques... À tel point qu'en 1844, Charles Darwin s'exclame qu'ils sont «remarquables par l'obscurité de leurs affinités».

PROCHES DES CORDÉS ?

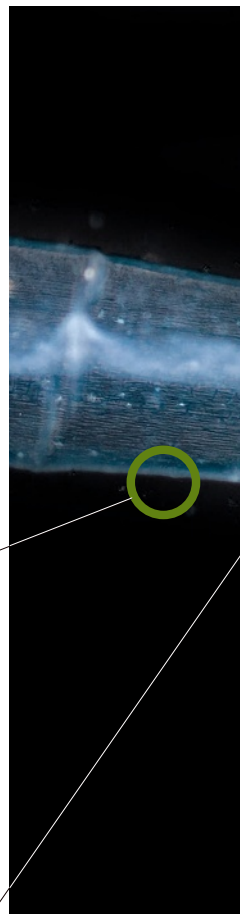
À la fin du XIX^e siècle, les embryologistes allemands décrivent leur développement. Curieusement, ils observent que la bouche de l'embryon se forme secondairement. Or, à l'époque, sur des critères morphologiques et, surtout, embryologiques, les zoologistes séparent les bilatériens – les animaux à symétrie bilatérale – en deux grands taxons, les protostomiens (animaux à bouche

Les chétognathes ont une forme de torpille ou de flèche (on les nomme *arrow worms* en anglais).

Cette espèce commune de chétognathe des eaux peu profondes de la mer du Nord et des côtes fait partie des plus petites de ce groupe.



Hervé Le Guyader a récemment publié : *L'Aventure de la biodiversité*, (Belin, 2018).



EN CHIFFRES

150

Jusqu'à présent, environ 150 espèces de chétognathes ont été décrites, mais on pense qu'il en existe plutôt 250.

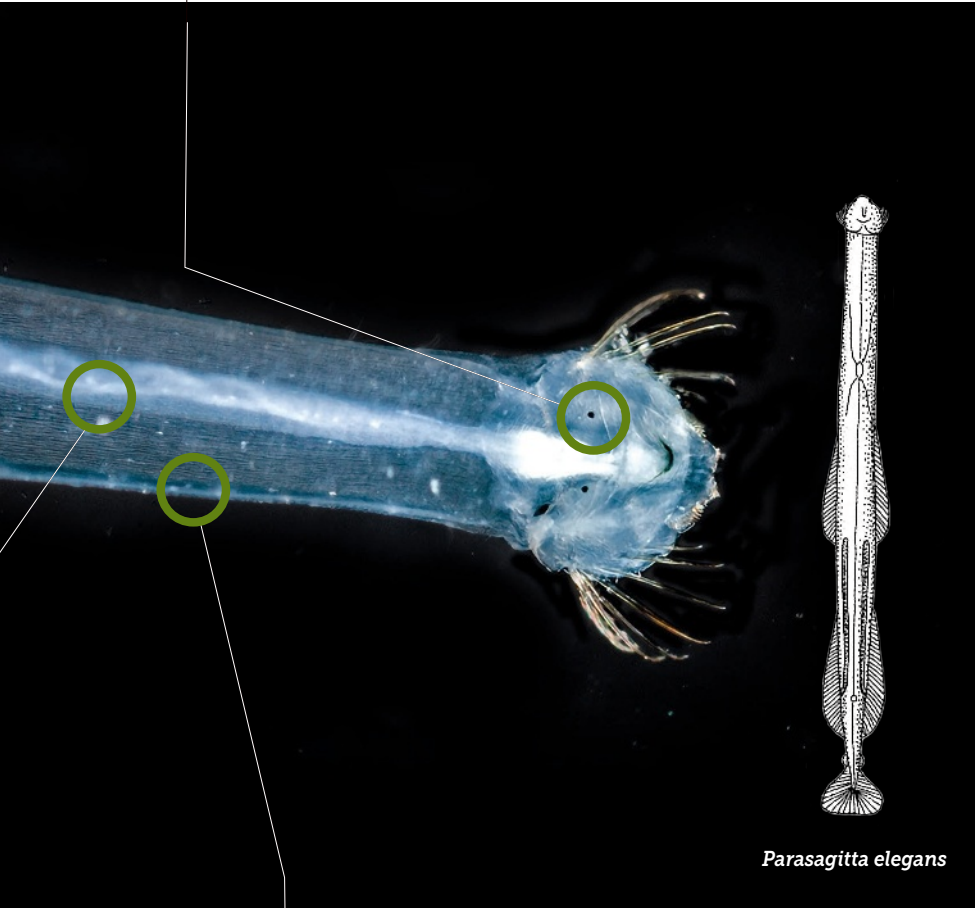
12 cm

Le plus grand chétognathe connu mesure 12 centimètres; le plus petit, 2 millimètres. Les gnathostomulides et les rotifères les plus grands mesurent respectivement 1 et 3 millimètres. Les plus petits gnathostomulides et rotifères, quant à eux, ne dépassent pas 0,3 et 0,05 millimètre.

15 %

Présents surtout dans les eaux tropicales et tout le long de la colonne d'eau (certaines espèces sont benthiques, d'autres non), les chétognathes forment parfois jusqu'à 15 % de la masse du plancton marin.

Munie d'une paire d'yeux, la tête peut se couvrir d'un capuchon qui, enveloppant les crochets, améliore le comportement hydrodynamique de l'animal.



Parasagitta elegans

Chez cette espèce, les nageoires sont toutes situées sur la moitié postérieure (non visible) de l'animal.

formée premièrement) et les deutérostomiens (animaux à bouche formée secondairement). Les chétognathes sont donc classés dans les deutérostomiens, avec les échinodermes (oursins, étoiles de mer...) et les cordés, qui incluent les vertébrés. Et on les trouve toujours à cette place dans les traités de zoologie moderne, tels celui de 1959 de la zoologiste new-yorkaise Libbie Hyman ou celui des frères Brusca, dont la deuxième édition date de 2003. Pourtant, les chétognathes ont bien l'air de protostomiens, en particulier quand on observe l'organisation de leur système nerveux central, qui ressemble à celui d'un annélide ou d'un mollusque.

Au cours de la dernière décennie du xx^e siècle, cependant, les phylogénies moléculaires (les études des liens de parenté des organismes *via* la comparaison de leurs séquences d'ADN) commencent à résoudre les multiples problèmes de la classification animale. La division en deutérostomiens et protostomiens est validée et ces derniers se partagent en deux taxons: les ecdysozoaires, ou animaux à mue (arthropodes, nématodes...), et les spiraliens (appelés à l'époque «lophotrochozoaires»), animaux dont les premières divisions cellulaires de l'œuf suivent une segmentation spirale (annélides, mollusques...).

L'ÉTRANGE GROUPE DES GNATHIFÈRES

Or, dans cette nouvelle classification, les chétognathes se situent parmi les protostomiens, sans toutefois y trouver réellement leur place. En effet, ils sont la source d'un artéfact classique de reconstruction phylogénétique qui entraîne le regroupement de taxons non apparentés évoluant plus rapidement. De plus, à l'intérieur des spiraliens, c'est le bazar. Si certains regroupements paraissent solides, comme celui des annélides et des mollusques, nombre d'embranchements, comme les plathelminthes, se déplacent d'une branche à l'autre au gré des phylogénies.

Pas à pas, les zoologistes mettent de l'ordre dans les spiraliens en suivant deux directions. D'une part, ils passent ➤



Parasagitta setosa
Longueur maximale: 14 mm

> de la phylogénie moléculaire à la phylogénomique, c'est-à-dire l'utilisation de la plus grande fraction possible du génome – au mieux de son intégralité – pour réaliser des phylogénies plus fiables; d'autre part, ils n'omettent pas pour autant l'anatomie comparée.

C'est alors que Martin Sørensen, de l'université de Copenhague, décrit en 2002 un animal microscopique, *Limnognathia maerski*, récemment découvert dans une île du Groenland. Ce dernier arbore un pharynx pourvu de mâchoires d'une extrême complexité, qui ressemblent à celles d'autres organismes microscopiques: les rotifères, des animaux planctoniques d'eau douce, et les gnathostomulides, de minuscules vers vivant dans les sables marins. Or en 1995, le zoologiste allemand Wilko Ahlrichs a rassemblé rotifères et gnathostomulides en un même taxon, les gnathifères (porteurs de mâchoires). *L. maerski* les y rejoint donc, mais il faut attendre encore sept ans pour qu'une équipe allemande, autour de Thomas Hankeln, de l'université de Mayence, confirme par phylogénomique que ce groupe forme réellement un taxon. Les chétognathes feraient-ils eux aussi partie des gnathifères, malgré leur taille macroscopique?

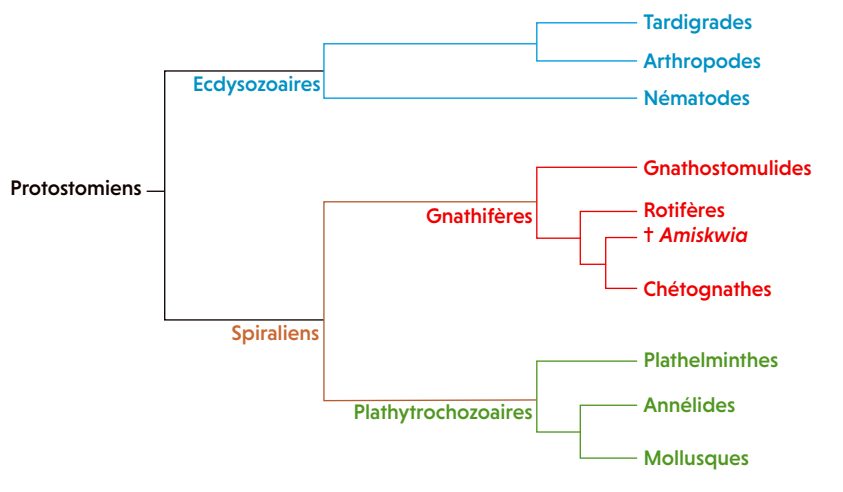
LES CHÉTOGNATHES, DES GNATHIFÈRES?

Plusieurs indices récents vont dans ce sens. Dans les années 2000, autour de Yannick Le Parco, du centre d'océanologie de Marseille, une équipe s'était lancée dans l'étude des gènes de développement des chétognathes, en particulier les gènes *Hox*, qui spécifient l'organisation antéro-postérieure de l'organisme. De manière inattendue, l'un des six gènes répertoriés présentait une grande originalité: c'était un gène mosaïque, aux caractéristiques à la fois de gènes *Hox* connus pour organiser l'avant et le milieu des animaux, et d'autres gènes *Hox* connus pour organiser la partie postérieure. Or en 2017, Andreas Fröblius, de l'université de Giessen, en Allemagne, et Peter Funch, de l'université d'Aarhus, au Danemark, ont trouvé chez un rotifère un gène mosaïque identique! Chétognathes et rotifères sont donc probablement des proches parents.

Puis, en 2019, une équipe de l'institut de science et technologie d'Okinawa, au Japon, autour de Ferdinand Marlétaz, a mené un travail très soigné de phylogénomique pour prendre en compte l'hétérogénéité de la composition des séquences nucléiques et minimiser ainsi

LE NOUVEL ARBRE DES PROTOSTOMIENS

Après avoir côtoyé tour à tour annélides (sangues, vers de vase, lombrics...), nématodes (vers non segmentés) et mollusques, les chétognathes font aujourd'hui partie d'un nouveau taxon, les gnathifères, aux côtés d'autres animaux marins ou d'eau douce comme les rotifères, les gnathostomulides et *Limnognathia maerski* (non représenté sur cet arbre simplifié). Hormis les chétognathes et le fossile *Amiskwia*, les gnathifères connus sont microscopiques.



les artéfacts de reconstruction des phylogénies. La résolution en a été largement améliorée et, ô surprise, les chétognathes se sont retrouvés... dans les gnathifères (voir l'encadré ci-dessus).

Ainsi, la découverte d'un nouveau taxon, les gnathifères, a résolu le mystère des chétognathes: ces animaux marins centimétriques appartiendraient bien à ce groupe, aux côtés de leurs minuscules cousins, les rotifères et les gnathostomulides. Comment une telle différence de taille est-elle possible chez des animaux si proches? Un fossile a tout récemment fourni une réponse. En 2019, en effet, Jean-Bernard Caron et Brittany Cheung, de l'université de Toronto, ont réinterprété *Amiskwia*, un fossile du Cambrien, il y a environ 500 millions d'années.

On avait d'abord vu ce fossile comme un chétognathe avant d'abandonner cette interprétation. Mais les deux chercheurs ont décelé des mâchoires en bon état dans son pharynx, mâchoires qui ressemblent profondément à celles des gnathostomulides... Ainsi, les gnathifères ont reçu un fossile de choix, qui prouve l'ancienneté du groupe. Or *Amiskwia* mesure quelques centimètres... Les gnathifères présentent donc une dynamique évolutive intéressante de miniaturisation. Si les chétognathes sont restés de taille centimétrique, les autres membres du groupe sont devenus minuscules. Qui aurait eu l'idée de classer des géants parmi des nains? ■

BIBLIOGRAPHIE

F. Marlétaz et al., **A new spiralian phylogeny places the enigmatic arrow worms among gnathiferans**, *Curr. Biol.*, vol. 29, pp. 312-318, 2019.

J.-B. Caron et B. Cheung, ***Amiskwia* is a large Cambrian gnathiferan with complex gnathostomulid-like jaws**, *Commun. Biol.*, vol. 2, article 164, 2019.

A. Fröblius et P. Funch, **Rotiferan *Hox* genes give new insights into the evolution of metazoan bodyplans**, *Nat. Commun.*, vol. 8, article 9, 2017.

D. Papillon et al., ***Hox* gene survey in the chaetognath *Spadella cephaloptera*: Evolutionary implications**, *Dev. Genes Evol.*, vol. 213, pp. 142-148, 2003.

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE D'ABONNEMENT

**DURÉE
LIBRE**

3 FORMULES
AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pouirlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	4,90€ PAR MOIS	6,50€ PAR MOIS	8,20€ PAR MOIS

29 %
de réduction *

31 %
de réduction *

43 %
de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email: pouirlascience@abopress.fr

☒ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en prélèvement automatique**

PAG20STD

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher) et je complète l'autorisation de prélèvement ci-dessous.

☐ FORMULE PAPIER • 12 n° du magazine papier 4,90€ PAR MOIS -29 % DPV4E90	☐ FORMULE PAPIER + HORS SÉRIE • 12 n° du magazine papier • 4 Hors-série papier 6,50€ PAR MOIS -31 % PPV6E50	☐ FORMULE INTÉGRALE • 12 n° du magazine (papier et numérique) • 4 Hors-série (papier et numérique) • Accès illimité aux contenus en ligne 8,20€ PAR MOIS -43 % IPV8E20
--	--	--

2 / Mes coordonnées

Nom :
 Prénom :
 Adresse :
 Code postal [] [] [] [] Ville :
 Tél. : [] [] [] [] [] [] [] []
 E-mail :@.....
 (indispensable pour la formule intégrale)
 J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement: 1 an. Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2021 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <https://boutique.pouirlascience.fr>. Photos non contractuelles.

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@pouirlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris cedex 14 – Sarl au capital de 32 000€ – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

3 / Mandat de prélèvement SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : Prénom :
 Adresse :
 Code postal [] [] [] [] Ville :

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) [] [] [] [] [] [] [] []
 IBAN []
 (Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom :
 Adresse :
 Code postal [] [] [] [] Ville :

Date et signature

Organisme Créancier: Pour la Science
 170 bis, bd. du Montparnasse – 75014 Paris
 N° ICS FR92ZZZ426900
 N° de référence unique de mandat (RUM)

**4 / MERCI DE JOINDRE
IMPÉRATIVEMENT UN RIB**

Partie réservée au service abonnements. Ne rien inscrire

L'AUTEUR



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

DES ODEURS POUR CRÉER DES SAVEURS

Certaines odeurs sont associées à des saveurs, notamment salée ou sucrée. L'effet sert à réduire le sucre ou le sel, mais aussi à mieux cuisiner.

Jadis les idées nutritionnelles de la théorie des humeurs se limitaient à combattre des excès de tempéraments par des aliments opposés. C'est pourquoi, encore aujourd'hui, on mange du melon, froid et humide, avec du jambon cru, sec et chaud. Les progrès de la chimie, après le XVIII^e siècle, ont permis d'analyser le contenu des aliments en composés dont on a progressivement mieux compris l'action sensorielle, nutritionnelle ou toxique. Aujourd'hui, la biodisponibilité des composés des aliments (leur aptitude à passer dans l'organisme avant élimination) est l'objet d'études. C'est en vertu de cette biodisponibilité que le carotène bêta (ou provitamine A) des carottes est plus ou moins actif, selon que l'on mange les carottes râpées en salade ou bien en purée.

Toutefois, les qualités des aliments ne sont pas plus réductibles à la composition chimique qu'à la biodisponibilité, car les diverses modalités sensorielles interagissent. Il en est ainsi de l'odeur et de la saveur: récemment, Elisabeth Guichard et ses collègues du Centre des sciences du goût, à Dijon, ont exploré comment certaines odeurs font croire à la perception de saveurs (*J. Agric. Food Chem.*, 6 novembre 2019).

Les chercheurs dijonnais sont partis de l'analyse d'un jus d'orange. Les composés odorants, séparés du jus par chromatographie, étaient proposés à des personnes à qui l'on demandait de décrire l'odeur, puis la saveur évoquée. Des analyses statistiques ont dégagé pour chaque stimulus une fréquence de détection de l'odeur et une fréquence de détection d'une saveur.

Les odeurs florales évoquent une saveur sucrée. Un bon moyen de réduire les quantités de sucre dans les pâtisseries ?



Au total, 33 impressions odorantes ont été associées à du sucré, 16 à de l'acide, 10 à du salé et 21 à de l'amer. Par exemple, les descripteurs «odeur fruitée», «odeur sucrée», «odeur de fraise», «odeur florale» sont corrélés à une saveur sucrée; les odeurs de pomme de terre, de champignon, sulfurée sont plutôt associées à une saveur salée. Les odeurs de fromage, d'agrumes sont associées à la saveur acide; les odeurs d'herbes aromatiques, de fumé, d'épicé sont associées à l'amertume.

Il serait long d'entrer dans les détails de l'étude, mais l'utilisation en cuisine des résultats est claire: on peut réduire le sucre ou le sel, notamment, en ajoutant des composés odorants corrélés à ces saveurs. Par exemple du (E)-bêta-ocimène pour du sucré, de la 1-octène-3-one ou du furfural pour du salé, du géraniol pour de l'acide...

Pour réduire davantage le sucre ou le sel sans perdre en saveur, le cuisinier devrait aussi construire des consistances hétérogènes, en plaçant par exemple les composés sapides dans la périphérie des fragments que la mastication formera. Ces composés seront alors plus facilement accessibles et agiront plus efficacement que s'ils étaient enfouis au cœur des fragments d'aliments. Cela rejoint ce qu'Ana Carolina Mosca et ses collègues

de Wageningen, aux Pays-Bas, ont montré dès 2010: des gels où du sucre est réparti de façon homogène sont perçus moins sucrés que s'ils sont faits de couches de différentes concentrations, surtout si ces gels sont très tendres. Les cuisiniers le savaient, puisqu'ils disent depuis longtemps qu'il ne faut pas trop «coller» les gelées, sous peine de perdre du goût. ■



LA RECETTE

- 1 Chauffer 500 g de bouillon de volaille non salé pour y dissoudre 25 g de gélatine (en feuilles, préalablement trempées dans de l'eau froide) et seulement 2 g de sel.
- 2 Y mettre des lamelles très minces de champignons de Paris juste le temps qu'elles soient assouplies, puis les récupérer à l'écumoire et en couvrir un film alimentaire.
- 3 Mettre ce film dans un large plat, et couler un peu de gelée fortement poivrée. Laisser prendre.
- 4 Quand la gelée est prise, tapisser la surface avec une mince couche de jambon.
- 5 Badigeonner de sauce mayonnaise (jaune d'œuf, vinaigre, huile de tournesol, piment de Cayenne, mais pas de sel).
- 6 Couler à nouveau de la gelée.
- 7 Quand la gelée est prise, replier le film sur lui-même, décoller la partie supérieure et replier le reste encore en deux. Puis replier encore une fois en deux.
- 8 Mettre au froid.
- 9 À l'emporte-pièce carré, détailler des portions de ce millefeuille peu salé.