



POUR LA

SCIENCE

Janvier 2016 - n° 459

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

Pourquoi rêvons-nous ?

Les réponses
inattendues des
neurosciences



M 02687 - 459 - F: 6,50 € - RD



Belgique : 7,20 € - Canada : 10,95 CAD - Guadeloupe/St Martin : 7,30 € - Guyane : 7,30 € - Italie : 7,20 € - Luxembourg : 7,20 €
Maroc : 60 MAD - Martinique : 7,30 € - TOM : 980 XPF - Port. cont. : 7,20 € - Réunion : 9,30 € - Suisse : 12 CHF - Tunisie : 8,40 DT.

■ POUR LA
SCIENCE
www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs : François Savatier, Philippe Ribeau-Gésippe, Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Correction et assistance administrative : Anne-Rozenn Joubert

Marketing : Laurence Hay et Ophélie Maillet

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Presse et communication : Susan Mackie

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Anciens directeurs de la rédaction : Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Maud Bruguère, Brigitte Courtois, Hervé Dole, Romain Gicquaud,

Anne-Lise Lamy, Hervé Le Guyader, Bernard Marty, Christian

Mazelle, Olivier Mousis, Christophe Pichon, Grant Raisbeck,

Hans Ringström, Mélanie Roffet-Salque, Payton Sheets, Loïc Villain

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr)

Tél. : 01 55 42 84 28 • Fax : 01 43 25 18 29

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne : <http://boutique.pourlascience.fr>

Courriel : pourlascience@abopress.fr

Téléphone : 03 67 07 98 17

Adresse postale : Service des abonnements - Pour la Science, 19 rue de l'Industrie, BP 90053, 67402 Illkirch Cedex

COMMANDES DE LIVRES OU DE MAGAZINES :

Pour la Science, 628 avenue du Grain d'Or, 41350 Vineuil

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort :

Magazine disponible sur www.direct-editeurs.fr

Canada : Edipresse : 945 avenue Beaumont, Montréal,

Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303 rue du Pré-aux-Œies - 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06.

Tarifs d'abonnement 1 an - 12 numéros

France métropolitaine : 59 euros Europe : 71 euros

Reste du monde : 85,25 euros

SCIENTIFIC AMERICAN Editor in chief : Mariette DiChristina.

Executive editor : Fred Guteri. Design director : Michael Mrak. Editors :

Ricky Rusting, Philip Yam, Robin Lloyd, Mark Fischetti, Seth Fletcher,

Christine Gorman, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong.

President : Keith McAllister. Executive Vice President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public

français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou

les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans

la revue « Scientific American », dans les livres édités par

« Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la

Science S.A.R.L. », 8 rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de tra-

duction, d'adaptation et de représentation

réservés pour tous les pays. La marque et le

nom commercial « Scientific American » sont

la propriété de Scientific American, Inc. Li-

cence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est inter-

dit de reproduire intégralement ou partiellement

la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou

du Centre français de l'exploitation du droit de co-

pie (20 rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).



Maurice Mashaal
rédacteur en chef

Une vie de rêves...

Non, nous ne rêvons pas quatre ou cinq fois seulement dans la nuit : en fait, cette activité mentale occupe près du quart de notre vie. Non, nous ne rêvons pas uniquement lors du sommeil dit paradoxal. Non, les rêves érotiques ne sont pas fréquents. Non, les rêves ne se construisent pas instantanément au réveil...

L'univers du rêve paraît si étrange et mystérieux que ce phénomène a été et est toujours l'objet d'un bon nombre d'idées fausses. Les songes se sont vu attribuer un sens divinatoire ou prémonitoire depuis la nuit des temps, dans toutes les civilisations. Ce n'est qu'avec Freud, à partir de la fin du XIX^e siècle, que leur étude sérieuse a débuté. Le fondateur de la psychanalyse voyait en eux l'expression des désirs refoulés de l'individu, désirs formulés dans le rêve de façon indirecte, symbolique, en raison de

La vision qui émerge est très différente de celle de la psychanalyse

l'autocensure qu'impose le « surmoi ». L'idée, séduisante par sa simplicité et par le cadre interprétatif qu'elle offre, s'est largement imposée au XX^e siècle, jusque dans la culture populaire.

L'interprétation psychanalytique des rêves n'est cependant pas le fin mot de l'histoire. L'article de la spécialiste Isabelle Arnulf montre que les neurosciences renouvellent profondément le sujet (voir pages 26 à 35). La masse de données scientifiques recueillies fait émerger une compréhension du rêve bien différente de celle de la psychanalyse. Même s'il reste encore beaucoup à étudier et à éclaircir, le rêve se révèle remplir de multiples fonctions : il aide l'individu à anticiper, à affronter les menaces, à gérer les émotions négatives, à consolider ses souvenirs, à comprendre les autres... De quoi donner encore plus de substance à la belle phrase de Gaston Bachelard : « On n'a jamais bien vu le monde si l'on n'a pas rêvé ce que l'on voyait. » ■

3 Édito

Actualités

- 6 Des tétrapodes disparus régénéraient leurs membres
- 7 Quand l'environnement façonne les langues
- 8 La cire d'abeille, utilisée depuis au moins 10 000 ans



- 11 Équations d'Einstein : une conjecture démontrée
- 12 Surdité liée au bruit : le rôle clé de la pejvakine

Retrouvez plus d'actualités sur
www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Point de vue**
Pénurie d'antivenins en Afrique : un problème financier... et culturel
Jean-Philippe Chippaux
- 16 **Entretien**
Financement de la recherche :
« L'ANR ne fait pas bouillonner les idées comme elle le devrait »
Patrick Petitjean
- 21 **Homo sapiens informaticus**
Aux origines des trolls
Gilles Dowek
- 22 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Mensonges privés, vérités publiques
Gérald Bronner
- 24 **Lu sur SciLogs.fr**
Moins de fèces, moins de phosphore
Jean-Louis Hartenberger

Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement
Pour la Science brochés sur la totalité du tirage.
En couverture :    Shutterstock.com/Hamara, PathDoc

   LA UNE

26 NEUROSCIENCES Pourquoi rêvons-nous ?

Isabelle Arnulf

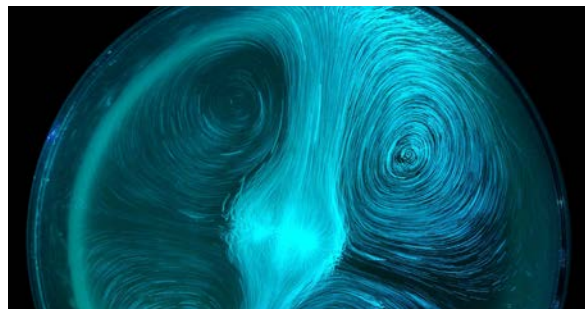
Les neurosciences ont ouvert de multiples fenêtres sur le rêve, qui occupe plus du quart de notre vie. En dévoilant ce qu'il contient, elles révèlent peu à peu à quoi il sert.



36 PHYSIQUE Un océan dans une flûte de champagne

Gérard Liger-Belair, Clara Cilindre, Fabien Beaumont et Guillaume Polidori

Les effets de condensation observés lors du débouchage d'une bouteille de champagne et les mouvements tourbillonnaires imprimés au liquide par la remontée des bulles rappellent certains phénomènes atmosphériques ou océanographiques.



42 ASTROPHYSIQUE Détecter la lumière de toutes les étoiles disparues

Alberto Domínguez, Joel Primack et Trudy Bell

Plusieurs générations d'étoiles, aujourd'hui éteintes, ont empl   l'Univers d'un rayonnement ambiant que les astronomes commencent tout juste à détecter.

50 INFORMATIQUE S'adapter à la cyberguerre

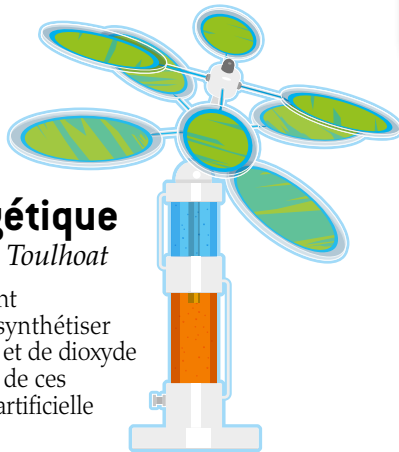
Keren Elazari

Chaque appareil connecté est une cible potentielle pour les cybercriminels. Les gouvernements ne pourront sécuriser le cyberspace que si les particuliers sécurisent leurs propres équipements.

56 ÉNERGIE Des carburants solaires pour la transition énergétique

Antoine Fécant et Hervé Toulhoat

En recueillant le rayonnement du Soleil, il est possible de synthétiser des carburants à partir d'eau et de dioxyde de carbone. Les rendements de ces procédés de photosynthèse artificielle s'améliorent peu à peu.



64 ÉCOLOGIE Faut-il vendre la peau de l'ours polaire ?

Rémy Marion et Farid Benhammou

L'ours blanc, un cousin de l'ours brun adapté à la banquise, est menacé par la réduction et la pollution de son habitat. On peine cependant à quantifier l'impact réel de ces menaces sur ses populations.



70 HISTOIRE DES SCIENCES Edmond Pâris, de la pirogue au bateau à vapeur

Géraldine Barron

Au XIX^e siècle, fasciné par l'ingéniosité des pirogues vues lors de ses voyages, un jeune officier de la Marine se prend de passion pour la construction navale. Le récent bateau à vapeur devient vite son cheval de bataille...

Rendez-vous

78 Logique & calcul

Le problème des 8 reines... et au-delà

Jean-Paul Delahaye

De combien de façons différentes peut-on placer n reines sur un échiquier de taille $n \times n$ dans des positions compatibles ?

84 Science & fiction

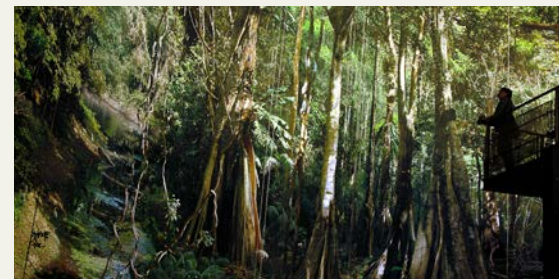
Quel animal roule comme Sonic et BB-8 ?

J.-Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 Art & science

Et en Amazonie coule la Seine...

Loïc Mangin



89 Idées de physique

Petite force deviendra grande

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

92 Question aux experts

Pourquoi les hommes ont-ils des tétons ?

Andrew Simons

94 Science & gastronomie

Faut-il piquer les viandes ?

Hervé This

96 À lire

98 Bloc-notes

Les chroniques de Didier Nordon

POUR LA
SCIENCE.fr

LETTRE D'INFORMATION



Ne manquez pas
la parution
de votre magazine
grâce à la NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



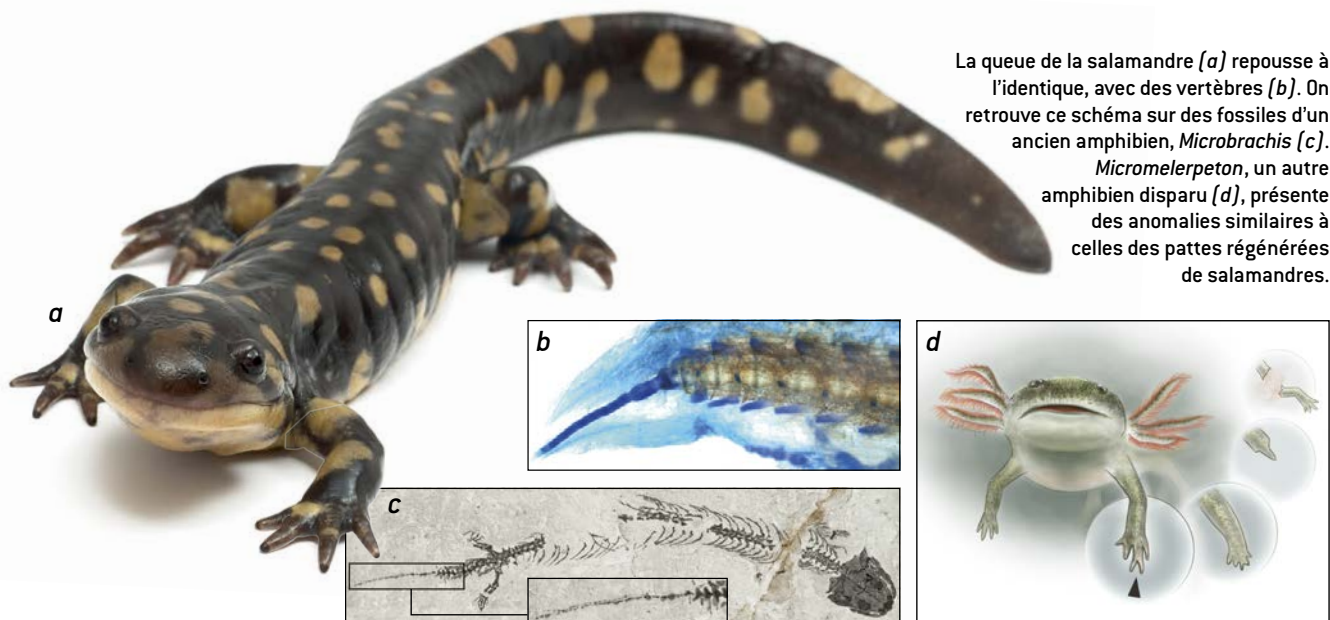
Recevez gratuitement la lettre d'information en inscrivant uniquement votre adresse mail sur www.pourlascience.fr

Actualités

Évolution

Des tétrapodes disparus régénéraient leurs membres

Les salamandres ne sont pas les seuls tétrapodes dont les membres peuvent repousser. Il y a 300 millions d'années, de lointains cousins amphibiens avaient aussi cette faculté.



La queue de la salamandre (a) repousse à l'identique, avec des vertèbres (b). On retrouve ce schéma sur des fossiles d'un ancien amphibien, *Microbrachis* (c). *Micromelerpeton*, un autre amphibien disparu (d), présente des anomalies similaires à celles des pattes régénérées de salamandres.

La salamandre est un cas doublement étrange dans l'histoire de l'évolution. D'abord, elle est le seul tétrapode actuel connu capable de régénérer ses pattes et sa queue (le lézard, par exemple, ne régénère que sa queue). Ensuite, son développement diffère de celui des autres tétrapodes : les premiers doigts qui se forment chez la salamandre sont les deux doigts les plus antérieurs (les plus proches de la tête), alors que chez tous les autres tétrapodes actuels connus, ces doigts se forment en dernier. Ces deux curiosités seraient-elles liées ? C'est ce que Nadia Fröbisch, de l'institut Leibniz pour la science de l'évolution et de la biodiversité, à Berlin, et ses collègues ont voulu savoir. En recherchant ces propriétés chez des espèces éteintes de tétrapodes, ils ont découvert que la

salamandre a eu des prédécesseurs il y a 300 millions d'années... qui n'étaient pas ses ancêtres directs.

Comment retracer le développement d'espèces éteintes ? En rassemblant les fossiles d'une espèce, en les classant du plus jeune individu au plus âgé grâce à leur ossification, puis en regardant la séquence obtenue comme un film retraçant le développement d'un seul individu. En 2007, Nadia Fröbisch et ses collègues avaient ainsi montré qu'un amphibien du Paléozoïque (il y a environ 300 millions d'années), *Apateon*, développait ses doigts de la même façon que les salamandres.

Ils ont cette fois retrouvé un développement similaire chez deux autres amphibiens de la même époque, *Micromelerpeton* et *Sclerocephalus*, mais plus éloignés de la salamandre dans l'arbre

phylogénétique des tétrapodes. Cette propriété existait donc très probablement chez leur dernier ancêtre commun, à la tête d'un large groupe les englobant (les temnospondyles), voire chez un ancêtre plus lointain.

La régénération des membres, elle, se repère grâce aux malformations qu'elle introduit. Chez la salamandre, elle produit parfois des doigts supplémentaires, la fusion de doigts ou de phalanges, ou des phalanges de diverses tailles. Si *Apateon* et *Sclerocephalus* n'ont pas encore révélé s'ils régénéraient leurs membres, les biologistes ont repéré de telles anomalies chez *Micromelerpeton*, signe que cet amphibien en avait bien la capacité. Cette dernière existait donc elle aussi déjà il y a 300 millions d'années, soit 80 millions d'années avant le premier

fossile connu de salamandre, voire plus tôt.

Plus étonnant encore, les biologistes ont montré que deux amphibiens aussi anciens, les microsaures *Hylopletesion* et *Microbrachis*, régénéraient leur queue selon un processus similaire à celui à l'œuvre chez la salamandre. Or dans l'arbre des tétrapodes, les microsaures sont bien plus proches des amniotes, la branche qui englobe les mammifères et les sauropsides (oiseaux, tortues, crocodiles, serpents, lézards...), que des salamandres et de *Micromelerpeton*. On pensait donc trouver un mécanisme de régénération plus proche de celui du lézard.

Lorsqu'un lézard perd sa queue, celle qui repousse n'est pas aussi perfectionnée que la première. Formée d'un unique tube de cartilage, elle reste

Linguistique

Quand l'environnement façonne les langues

Le rotokas, une langue de Nouvelle-Guinée, n'a que 6 consonnes et 5 voyelles, tandis que le khoon, parlé dans le sud de l'Afrique, en compte respectivement 128 et 28. Comment expliquer une telle variabilité ? Une collaboration internationale a montré que l'environnement est en partie responsable. Christophe Coupé, du laboratoire Dynamique du langage (DDL), à Lyon, a contribué à cette étude. Il nous en présente les résultats.

fonctionnelle en tant que balancier, mais n'a plus la souplesse de la queue d'origine, constituée de vertèbres articulées. La salamandre, elle, produit une queue identique à celle amputée, avec vertèbres, muscles et innervation. Lors de sa régénération, elle apparaît comme un fin filament qui se segmente peu à peu, et c'est cette signature que les biologistes ont retrouvée sur les fossiles des deux microsaures.

Ainsi, la capacité à se régénérer est probablement un trait bien plus ancien que 300 millions d'années. Un ancêtre tétrapode commun des salamandres et des microsaures (et donc des amniotes) devait en être doté, voire un ancêtre plus lointain encore, un sarcoptérygien, commun aux tétrapodes et aux dipneustes. Ces poissons à poumons sont eux aussi capables de régénérer leur queue... La propriété aurait ensuite été perdue au moins une fois au cours de l'histoire évolutive des tétrapodes, le long de la lignée qui a conduit aux amniotes.

Quant au développement étrange des doigts des salamandres, s'il a coexisté 300 millions d'années avec la capacité à se régénérer chez le *Micromelerpeton*, le *Sclerocephalus* et la salamandre, on n'en trouve pas trace chez les microsaures. En revanche, les grenouilles, pourtant plus proches cousines des salamandres que le *Micromelerpeton*, ne se développent pas comme elles : chez le têtard en cours de métamorphose, les doigts antérieurs apparaissent en dernier. Et pour brouiller encore les pistes, le têtard est capable de régénérer sa queue... tant qu'il n'entame pas sa métamorphose. L'histoire de la régénération des tétrapodes est loin d'être close !

Marie-Neige Cordonnier

Nature, vol 527, pp. 231-234, 2015

Comment avez-vous eu l'idée de tester l'influence de l'environnement sur les langues ?

Christophe Coupé : Tout part d'une hypothèse qualifiée d'adaptation acoustique, proposée par l'ornithologue américain Eugene Morton dans les années 1970. Selon cette hypothèse, le système de communication utilisé par une espèce animale évolue et s'adapte à l'environnement, à l'instar d'un organisme vivant. Ainsi, les animaux ajustent leurs vocalisations pour qu'elles se propagent de façon optimale dans leur habitat. Cette hypothèse a globalement été validée et, depuis quelques années, on cherche à l'appliquer à l'espèce humaine.

Quelles langues avez-vous étudiées ?

C. C. : Nous avons travaillé sur environ 630 langues de la base de données LAPSyD, développée par notre laboratoire, en collaboration avec le linguiste américain Ian Maddieson. Pour chaque langue, cette base contient une fiche d'identité phonologique : inventaire des sons, complexité des syllabes (liée au nombre de consonnes et de voyelles qui les composent), etc. Nous avons exclu de l'étude les langues parlées sur un trop grand espace, tels l'anglais et le français, car un vaste territoire peut

rassembler des environnements très différents les uns des autres.

Comment avez-vous pris en compte les paramètres environnementaux ?

C. C. : Depuis une dizaine d'années, de plus en plus de données satellitaires sont mises à disposition. Nous avons ainsi obtenu des mesures précises de la couverture forestière, de la température, de l'altitude et des précipitations pour



Christophe Coupé, chargé de recherche au CNRS

l'ensemble des régions émergées de la planète. Nous avons croisé ces données avec celles issues de recensements linguistiques, pour connaître le nombre de locuteurs de chaque langue, ainsi que l'aire géographique qu'ils occupent, avec l'aide d'un logiciel de cartographie numérique.

Et qu'avez-vous trouvé ?

C. C. : Nous avons montré qu'en moyenne, plus la température est élevée et la végétation dense, moins les consonnes sont nombreuses.

Le nombre de voyelles, lui, ne subit pas d'impact. La complexité des syllabes tend aussi à diminuer quand la densité de la végétation augmente.

Comment l'expliquez-vous ?

C. C. : Les hautes fréquences se propagent moins bien quand la végétation est dense et la température élevée. Or les consonnes diffèrent les unes des autres en bonne partie par des variations dans leurs composantes spectrales de hautes fréquences. Elles sont donc plus difficiles à distinguer dans ces conditions, ce qui explique qu'elles soient moins nombreuses. C'est d'ailleurs parce que nous avons ce mécanisme physique à l'appui de nos corrélations que nous pensons qu'elles traduisent une relation causale.

Quelle est l'importance de l'effet constaté ?

C. C. : Il n'est pas très fort, mais bien réel. Pour les 630 langues analysées, nous estimons que les différences de température et de végétation expliquent un peu plus de 10 % des variations du nombre de consonnes. De multiples autres facteurs, notamment sociaux, s'ajoutent pour expliquer la variabilité des sons des langues.

Guillaume Jacquemont

E. Underwood, Science,
8 novembre 2015

Archéologie

La cire d'abeille, utilisée depuis au moins 10 000 ans

Des tessons de poterie néolithique provenant du pourtour méditerranéen et qui portent des traces de cire témoignent de l'ancienneté de la relation homme-abeille, voire de celle de l'apiculture.



Des abeilles mellifères sur des alvéoles de cire (ci-dessus) et un essaim sauvage posé sur une branche (à droite). Tout à droite, la célèbre représentation d'une cueillette de miel paléolithique [grotte de l'Araignée près de Valence, en Espagne].

Depuis la découverte de traces de ruches sur le site cananéen de Tel-Rehov, dans le nord d'Israël, on sait que l'apiculture a 3 000 ans au moins. Comment en savoir plus ?

La cire, mélange complexe de composés aliphatiques (des chaînes carbonées), peut être identifiée par chromatographie en phase gazeuse et par spectrométrie de masse. Pour mieux situer dans le temps la relation homme-abeille, une équipe de 65 chercheurs coordonnée par Mélanie Roffet-Salque, de l'université de Bristol, a analysé 6 400 tessons issus de toute une série de pays méditerranéens et européens afin d'y rechercher des traces de cire.

La plus ancienne attestation de cire d'abeille dans une poterie provient du Néolithique anatolien, puisque les chercheurs en ont identifié deux résidus sur des tessons du VII^e millénaire avant notre ère. Des résidus ont également été trouvés dans des tessons du VI^e millénaire en Anatolie du Nord, ce qui suggère un long usage de la cire d'abeille

en Anatolie au début du Néolithique.

Par ailleurs, le très grand nombre de tessons de poterie portant des résidus de cire identifiés pour les Balkans suggère qu'au V^e millénaire et avant, les paysans du courant méditerranéen de néolithisation employaient souvent ce produit de la ruche. Il en était de même chez ceux du courant danubien de néolithisation, des résidus ayant été identifiés dans nombre de tessons du Rubané (culture dite aussi à céramique linéaire) provenant d'Autriche, d'Allemagne et de Pologne.

Parvenus sur le territoire actuel de la France, les courants danubien et méditerranéen ont fusionné pour donner la culture chasséenne (-4200 à -3500), dont les paysans utilisaient aussi la cire, ont constaté les chercheurs. De très nombreux tessons portant des traces de cire ont aussi été identifiés sur des sites slovènes du V^e millénaire avant notre ère. Le Néolithique du sud de l'Angleterre aussi a livré sept tessons à résidus de cire. Curieusement,

aucune trace de l'usage de cire n'a été trouvée en Espagne pour le moment, mais un site algérien du V^e millénaire avant notre ère en a livré.

Que conclure ? Le contact avec la cire d'abeille n'implique pas qu'il y ait eu apiculture. Les chasseurs paléolithiques ont sans doute très tôt appris à enfumer les ruches pour y prélever des rayons de miel. Une représentation de cette activité vieille de 8 000 ans a été retrouvée dans la grotte de l'Araignée, près de Bicorp, non loin de Valence en Espagne. Pour autant, l'attestation massive de contact avec la cire dans les courants de néolithisation méditerranéen et danubien suggère que les produits de la ruche étaient d'emploi fréquent, sinon quotidien. Étant donné que la chasse au miel détruit les ruches sauvages, il est vraisemblable que nos ancêtres aient très tôt appris à se ménager un approvisionnement régulier en miel. Au Levant, sans doute dès les débuts du Néolithique.

François Savatier

Nature, en ligne le 11 novembre 2015

20 mille espèces

d'abeilles sauvages
sont connues. Seules
quelques-unes d'entre
elles font du miel
en quantité*