

ne se font qu'entre individus ayant reçu la même nourriture. Or, après traitement antibiotique, cette préférence disparaît. Mais elle réapparaît lorsqu'on recontamine ces animaux avec des excréments : l'origine de ceux-ci détermine alors le choix sexuel. L'explication est simple : des lactobacilles

traîne déjà un parfum désuet. En effet, les interactions, en particulier microbiennes, nient la pertinence d'une vision autonome de l'organisme. Certes, l'holobionte fait survivre l'organisme en une unité élargie. Mais dans un monde d'interactions, y a-t-il encore vraiment des « unités » ? Considérons un instant une interaction qui occupe mon équipe de recherche.

Les champignons mycorhiziens colonisent les racines de plusieurs plantes, parfois d'espèces différentes. De même, chaque plante s'associe à différents champignons, de dizaines d'espèces. Les mycorhizes créent donc un réseau de plantes connectées par des champignons, et vice-versa. Or certaines plantes se nourrissent de ce réseau : leurs champignons leur fournissent des sucres qu'ils ont acquis sur les plantes voisines. Des espèces de la famille des orchidées et des bruyères ont parfois perdu la chlorophylle, et sont entièrement nourries par le réseau. D'autres, en revanche, sont encore vertes et nourries par la photosynthèse et par le réseau. Bien plus, ce réseau peut transmettre des signaux : quand une plante est attaquée par un parasite, les plantes connectées au même réseau mycorhizien réagissent à cette attaque, par exemple en fabriquant des tannins qui les prémunissent.

Des réseaux encore plus vastes

Dans cet exemple, où délimiter des unités ? Où s'arrête l'holobionte ? Qui plus est, il existe d'autres réseaux d'interaction : les insectes pollinisateurs interagissent avec plusieurs plantes qui, chacune, interagissent avec plusieurs insectes, nos propres pathogènes interagissent chacun avec plusieurs hôtes, qui subissent chacun plusieurs microbes...

La notion d'holobionte actualise la notion d'organisme, mais dissimule l'importance des interactions elles-mêmes. La science moderne a transposé une philosophie occidentale fondée sur l'individu en une biologie fondée sur l'organisme. Une vraie rupture donnerait aux interactions la place centrale. Une toile d'araignée n'est pas un ensemble de points, mais surtout les fils les reliant. De façon semblable, le vivant est fait d'organismes et surtout de liens entre eux. La notion d'organisme, en deux siècles de recherches, a donné ce qu'elle pouvait en termes de compréhension et de connaissance. Place désormais aux interactions ! ■

La notion d'holobionte actualise la notion d'organisme, mais dissimule l'importance des interactions, qui brouillent les frontières

favorisées par la consommation d'amidon modifient les phéromones sexuelles qui attirent le partenaire.

Pourquoi ces intrusions de microorganismes dans des processus qui pourraient être autonomes ? Avec des collègues, nous avons proposé deux idées simples expliquant cette évolution vers la dépendance. La première est que les microbes peuvent apporter à l'hôte une innovation évolutive qui lui est favorable, par exemple un nouveau parfum floral. La seconde idée est que s'il se trouve des microorganismes réalisant l'une des fonctions de l'hôte, par exemple la synthèse d'une vitamine, ils peuvent s'y substituer au cours de l'évolution.

De tels événements sont sans doute rares, mais des millions d'années de coévolution en ont multiplié la probabilité. De surcroît, quand des fonctions sont perdues chez un partenaire, les mutations qui les restaureraient sont peu probables. Cette dérive vers la dépendance fonde la pertinence du concept d'holobionte. Elle a d'ailleurs des effets symétriques pour les microbes, et fait des fonctions réalisées dans l'holobionte d'authentiques produits de coévolution.

La leçon est terrible pour ceux qui ne voulaient enseigner l'écologie que sur le tard, parce qu'elle exigerait d'abord de maîtriser la physiologie, le développement, la reproduction... bref, de connaître la biologie des organismes. Or voilà que les interactions des microbes entre eux et avec l'hôte dessinent la biologie des organismes, qui apparaît donc comme un écosystème complexe. Comme la poule et l'œuf, les disciplines que sont la biologie et l'écologie se sous-tendent donc mutuellement. L'enseignement de l'écologie doit donc se faire assez tôt dans la formation des biologistes.

Terminons par les limites de l'holobionte. Concept moderne et en vogue, il

■ BIBLIOGRAPHIE

F. Thomas *et al.*, *Biologie évolutive* [2^e édition], De Boeck, 2016.

S. R. Bordenstein et K. R. Theis, *Host biology in light of the microbiome : Ten principles of holobionts and hologenomes*, *PLoS Biology*, vol. 13(8), e1002226, 2015.

M.-A. Selosse *et al.*, *Microbial priming of plant and animal immunity : symbionts as developmental signals*, *Trends in Microbiology*, vol. 22, pp. 607-613, 2014.

M.-A. Selosse, *La symbiose : structures et fonctions, rôle écologique et évolutif*, Vuibert, Paris, 2000.

R. Diaz Heijtz *et al.*, *Normal gut microbiota modulates brain development and behavior*, *PNAS*, vol. 108, pp. 3047-3052, 2011.



Abonnez-vous à

POUR LA SCIENCE

OFFRE DÉCOUVERTE
12 n^{os} par an
4,90€
PAR MOIS
SEULEMENT

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

PAS469

☒ **OUI**, je m'abonne à **Pour la Science** formule Découverte.
 Je règle par prélèvement automatique de 4,90€ par mois et
 je complète l'autorisation ci-contre. **J'économise 24% par mois.**
 (IPV4E90)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____

@ _____

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
 et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 30/11/2016 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre.

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 : _____

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 - 8 rue Férou - 75006 Paris

N° ICS FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Joindre un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

« Une grande partie des maladies émergentes résultent des pressions humaines sur les écosystèmes »

L'émergence ou la réémergence d'agents infectieux – virus, bactéries, etc. – semble se multiplier. Est-ce vraiment le cas, et si oui, pourquoi ? Les réponses de Jean-François Guégan, qui a présidé la partie santé du Plan français d'adaptation au changement climatique (2011-2015).



Jean-François GUÉGAN est directeur de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (UMR MIVEGEC IRD-CNRS-université de Montpellier).

POUR LA SCIENCE

SRAS, Ebola, chikungunya, Zika... : sommes-nous confrontés à des agents infectieux de plus en plus nombreux ?

JEAN-FRANÇOIS GUÉGAN : Depuis trente ans environ, on observe quatre à cinq nouvelles maladies infectieuses émergentes chaque année dans le monde. Elles correspondent soit à l'apparition d'un microorganisme inconnu jusque-là, car cantonné à des régions reculées, comme le VIH ou le virus Zika, soit à la réémergence d'un microorganisme que l'on connaissait déjà, comme pour les gripes aviaires, la peste ou la maladie du sommeil. Ce peut être aussi le développement d'une souche bactérienne résistante aux antibiotiques, à l'exemple des staphylocoques ou des entérocoques multirésistants.

PLS

Constate-t-on une accélération du phénomène ces dernières années ?

J.-F. G. : Sans aucun doute, en termes de fréquence mais aussi de nombre de cas, en particulier du fait de la dernière épidémie de la maladie à virus Ebola en Guinée, au

Liberia et en Sierra Leone, en 2014-2015. Jusque-là, les épidémies d'Ebola frappaient quelques villages d'Afrique centrale et pouvaient être assez facilement circonscrites, d'autant que ces villages étaient isolés. Ainsi, depuis 1976, les précédentes crises avaient touché de l'ordre de 2800 personnes au total, dont 70 % sont mortes. Or la dernière épidémie a explosé en atteignant les villes. Elle a atteint près de 29000 personnes et causé plus de 11 000 morts !

La nouveauté, c'est donc la rapidité de la diffusion du virus et le rôle de la ville comme milieu de transmission et de dispersion, avec des répercussions sanitaires et socioéconomiques considérables. De même que les concentrations humaines, le progrès des infrastructures de transport accroît les interactions humaines et les probabilités de contamination. Le transport de biens est une autre cause de diffusion de vecteurs ou de réservoirs d'agents pathogènes. Le cas des pneus usagés, dans lesquels des résidus d'eau permettent à des larves de moustiques de survivre, est bien répertorié. C'est certainement ce qui a favorisé l'arrivée du moustique tigre *Aedes albopictus* en Italie, d'où il a gagné le sud de la France et l'Espagne.

PLS

Certaines zones biogéographiques sont-elles plus touchées que d'autres ?

J.-F.G. : À l'origine d'une maladie émergente, il y a presque toujours une interaction humaine avec des espaces naturels, et très souvent cela se passe dans les zones tropicales. En effet, de très nombreuses espèces animales y vivent et peuvent servir de réservoir à des microorganismes. Quand elles sont extraites de leur milieu, par exemple pour servir d'animaux de compagnie, qu'elles en sont chassées par la destruction des forêts primaires ou qu'elles sont consommées (« viande de brousse »), elles peuvent contaminer des humains.

La fièvre Ebola et le sida sont des cas typiques. À chaque fois, le virus est resté cantonné des millénaires dans des zones forestières reculées d'Afrique. Avec l'essor de l'industrie forestière, dans les années 1960, on a percé des routes dans la forêt profonde, des camions se sont arrêtés dans les villages, des prostituées et des commerçants sont venus y travailler. Les contacts avec des animaux sauvages « réservoirs » ont augmenté. Ainsi s'est constituée une chaîne de transmission qui a conduit à l'explosion