

**ABONNEZ-VOUS À
POUR LA
SCIENCE**

SCIENCE

2 FORMULES AU CHOIX

	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	79€ Au lieu de 114,40 €	99€ Au lieu de 174,40 €

31 %
de réduction *

43 %
de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Next2C – Service abonnements Pour La Science –
26 BD Président Wilson CS 40032 – 67085 Strasbourg CEDEX – email : pourlascience@abopress.fr

PAG20STDOS



OUI, je m'abonne
pour 1 an à **POUR LA SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐ **FORMULE PAPIER + HORS SÉRIE**

- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier

79€
Au lieu de ~~114,40€~~

P1A79E

☐ **FORMULE INTÉGRALE**

- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne

99€
Au lieu de ~~174,40€~~

11A99E

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom: Prénom:

Adresse:

Code postal Ville:

Téléphone

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@.....

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

Nº

--	--	--	--	--

--	--	--	--	--

--	--	--	--	--

--	--	--	--	--

Date d'expiration Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire:

* 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.pourlascience.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://lebrand.fr/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.

ÉRIC BAPTESTE



« Les microbes sont passés du statut d'ennemi à celui d'allié potentiel et, plus encore, de coarchitecte de notre monde »

De quand date l'idée de microbiote ?

Éric Baptiste : Je pense que l'idée de microbiote remonte à la découverte des microbes, car les premiers observés, notamment par le Néerlandais Antoni Van Leeuwenhoek à la fin du XVII^e siècle, venaient parfois de leur propre corps, par exemple de la salive. Plus largement, avec l'invention des premiers microscopes suffisamment performants, le constat de l'ubiquité des microbes s'impose.

Cependant, ces pionniers n'envisa-
geaient pas les interactions de ces mi-
crobes avec leurs hôtes telles que nous les

BIO EXPRESS

2003
Docteurat en
phylogénomique.

2007
Docteurat en
philosophie
de la biologie.

2009
Prix Paoletti du
CNRS, récompensant
les travaux des
jeunes chercheurs.

2018
Publie *Tous
entrelacés!* (Belin).

voyons aujourd'hui. Cette idée selon laquelle ces microbes embarqués ont un effet sur l'organisme, animal ou plante, qui les héberge est beaucoup plus récente. Je crois que cette thématique est devenue très prégnante depuis une quinzaine d'années seulement.

Entre-temps, les microbes n'ont-ils pas plutôt fait figure d'ennemi ?

Éric Baptiste : Vous avez raison. Dès la découverte de ce nouveau monde invisible, la question s'est posée : est-ce que ces microbes nous ignorent ? Nous veulent du bien ? Du mal ? La dernière hypothèse domine vite, à mesure que

L'on découvre les effets pathogènes de certains microbes, avec les figures marquantes de Louis Pasteur, Robert Koch... La vision est donc d'abord celle de deux mondes en opposition.

L'idée qu'ils puissent se rencontrer autrement que par compétition interposée deviendra populaire bien plus tard. Aujourd'hui, certains microbes sont passés du statut d'ennemi à celui d'allié potentiel et, plus encore, de coarchitecte de notre monde. Et finalement, en comprenant que nous interagissons avec des microbes, qui plus est en grand nombre, nous nous redécouvrons nous-mêmes. C'est peut-être un des points les plus remarquables de cette nouvelle vision.

Que doit-on aux microbes, notamment à ceux que l'on héberge ?

Éric Baptiste : La vraie réponse est : « On aimerait bien le savoir ! » De nombreuses études sont en cours pour déterminer les contributions des microbes à nos traits prétendument humains. Et évidemment, explorer ces questions chez l'humain reste compliqué, pour de bonnes raisons éthiques. Des travaux sur des animaux modèles chez qui on retire les microbes ou on en ajoute ont mis en lumière des effets des microbes sur le sang, les os, le système immunitaire, le système nerveux... Le spectre potentiel est très large, de troubles psychologiques jusqu'au bon déroulement de la croissance et du développement. Mais jusqu'où s'étend vraiment le rôle des microbes ? La réponse n'est pas encore claire, d'où la nécessité d'approfondir les recherches.

Par exemple, nous ignorons si les microbes avec lesquels nous interagissons sont les responsables des effets auxquels ils sont associés, c'est-à-dire s'ils sont causaux et jouent un rôle direct, ou si leur présence est juste la conséquence de tout un tas d'autres changements dans le corps. Prenons le vieillissement. Certains microbes nous font-ils vieillir ou bien est-ce en vieillissant que nous acquérons des microbiomes différents ? Selon la réponse, les perspectives sont très différentes. Ce sujet est juste en train d'être débroussaillé.

Vous parlez de microbiome, en quoi est-ce différent du microbiote ?

Éric Baptiste : Le premier est l'ensemble des gènes des microorganismes, tandis que le second rassemble les groupes de microbes, les espèces, les

souches... Les deux termes ne posent pas les mêmes questions, car les gènes peuvent circuler d'un microbe à l'autre. On croit que l'on connaît une espèce donnée, mais placée dans un environnement distinct de celui où on l'a prélevée, ses gènes et ses composants sont modifiés et parfois remplacés par d'autres. Une bactérie *Escherichia coli* de la terre et un *Escherichia coli* de l'intestin ne sont pas nécessairement les mêmes microorganismes, car ils vivent dans des communautés différentes.

est organisé, structuré, et les tâches sont réparties. Certains microbes en interaction *via* leurs gènes contribuent à développer le système immunitaire, d'autres influent sur l'humeur et favorisent l'anxiété. Alors bien sûr, les microorganismes impliqués sont largement réunis dans l'intestin. Mais dans un même endroit, les microbes n'assurent pas qu'une seule fonction et tous ceux présents ne sont pas dédiés à cette seule fonction. Certains ne font que passer, d'autres sont sélectionnés pour

La pandémie actuelle de Covid-19 oblige à nous positionner, en tant qu'êtres humains, par rapport aux microbes

Dans certaines analyses, il est plus intéressant d'aller au niveau de résolution du génome et d'identifier les ensembles de gènes présents et interagissant pour, par exemple, fabriquer tel ou tel métabolite, quels que soient les microbes qui les hébergent. Peu importe l'espèce, seuls les gènes comptent.

Mais en pratique, il est beaucoup plus facile d'identifier ce que l'on pense être des marqueurs d'espèces, comme l'ARN 16S (un composant très conservé utilisé en phylogénie), que de séquencer l'ensemble des gènes. Une simple énumération d'espèces ne donne qu'une connaissance approximative des communautés microbiennes, et surtout des processus qui s'y déroulent.

On fait souvent le pari que les espèces ne changent pas trop et pas trop vite. Mais en fait, chaque être humain est une niche pour un ensemble de microbes, une communauté amenée à se transformer : les générations microbiennes se succèdent, accumulent des mutations. Nos microbiomes évoluent le temps d'une vie.

Comment fonctionne un tel microbiome ?

Éric Baptiste : En parlant de microbiome, on a l'impression de parler d'un tout. Ce n'est pas le cas. Un microbiome

être en cet endroit par l'hôte, d'autres encore sont cosélectionnés pour que les voisins remplissent une fonction. Cette idée de collectif entre hôte et microbes est essentielle et pourrait éclairer d'un jour nouveau notre développement, notre survie... Ailleurs que chez les humains, des conséquences très fondamentales ont été décrites.

Ainsi, chez les guêpes parasitoïdes *Nasonia*, les microbes contribuent à maintenir la barrière entre espèces. C'est ce qu'ont montré Seth Bordenstein, de l'université Vanderbilt, à Nashville, aux États-Unis, et ses collègues. Débarrassées de leurs microbes, des guêpes que l'on pensait appartenir à des espèces différentes deviennent fertiles entre elles.

Cela n'invite-t-il pas à penser l'évolution d'une manière différente ?

Éric Baptiste : La question est celle de l'unité de sélection. On peut l'envisager comme composée, d'une part, de microbes, eux-mêmes faisant partie d'une diversité d'espèces et, d'autre part, de leur hôte appartenant à une autre espèce. La sélection porterait alors sur les interactions au sein d'ensembles multispécifiques, et *L'Origine des espèces* deviendrait « *L'Origine des symbioses* » ! Ce n'est pas tout à fait la même chose. ➤

> Les études du microbiome brouillent les frontières de ce qui est sélectionnable, car les produits de gènes microbiens interagissent avec ceux des gènes de l'hôte et d'autres microbes. C'est un nouveau champ disciplinaire qui s'ouvre, la génétique des communautés. Notons que l'on trouve des communautés de microbes structurées ailleurs que dans des hôtes vivants.

Là encore, des interactions entre des microbes et biotopes peuvent être l'objet de sélection, et aboutir à la définition d'unités de sélection auxquelles on pense peu. Ainsi, des biologistes pensent

sommes des composants de réseaux d'interactions plus larges. Or en perturbant l'environnement, on bouscule les réseaux auxquels on appartient, on les déstructure et l'on se met éventuellement en danger.

N'est-ce pas ce que montre la pandémie actuelle de Covid-19 ?

Éric Baptiste : Oui. Un « petit virus » chamboule nos vies au quotidien. Mais les microbes sont partout, et ce n'est pas le seul virus que l'on rencontrera. Or notre manière de gérer cette interaction, ici non désirée, peut constituer un mo-

vieillessement : la médecine va évidemment être transformée par l'étude des microbiomes. En écologie, la place des microbiomes dans la compréhension de la dynamique des écosystèmes et de leur stabilité va aller croissant. Leur possible « réparation », par exemple par la bioremédiation, passera aussi par les microbiomes.

Même les juristes vont devoir en tenir compte. En effet, si des microbes rendent certains services écologiques, faut-il leur donner des droits au même titre que des rivières, des forêts, des montagnes, comme on le fait déjà... ? Si oui, lesquels ? Comment protéger ces êtres vivants ? Les philosophes vont également trouver des questions sur lesquelles plancher. Et n'oublions pas les artistes, qui s'emparent également des microbes pour créer des œuvres d'art (*voir le portfolio, page 28*). Donc oui, il y a un avenir à faire confluer la microbiologie avec les disciplines déjà installées.

Attardons-nous sur la médecine.

Que voyez-vous comme développements possibles ?

Éric Baptiste : On peut imaginer beaucoup d'applications dans le domaine de la médecine personnalisée, mais elles supposent encore des études approfondies. Cependant, on peut concevoir que l'on connaisse des biomarqueurs – des espèces seules ou en interaction, ou bien des gènes, des réseaux de gènes – fortement corrélés avec des états de santé, soit qu'ils y contribuent, soit qu'ils les accompagnent. Dès lors, une médecine personnalisée consisterait à cibler ces biomarqueurs à des fins diagnostiques, par exemple en identifiant des souches bactériennes particulières. D'autres souhaiteraient employer des microbes dans un cadre thérapeutique en cherchant des probiotiques destinés à rétablir un équilibre dans le microbiote intestinal.

Ce sont deux mouvements en apparence antinomiques : mieux connaître les interactions avec nos microbes ou des microbes entre eux, et malgré tout traiter des individus. C'est ce que je vois dans l'avenir, une sorte de paradoxe permis par les microbes : une pensée à la fois plus intégrée et plus personnalisée.

Si des microbes rendent certains services écologiques, faut-il leur donner des droits comme on le fait déjà pour des rivières, des forêts, des montagnes... ?

que des cycles biogéochimiques, comme celui de l'azote, peuvent faire l'objet d'une sélection. Plus encore, selon certains, microbes et microbiomes jouent des rôles fondamentaux pour expliquer la stabilité de la vie sur Terre.

Cette stabilité étant un peu mise à mal en ce moment...

Éric Baptiste : En effet ! Sachant qu'il y a des interactions plus ou moins robustes, parfois résilientes, on peut se demander ce qui nous attend quand des composantes du monde vivant disparaissent. Les écosystèmes vont-ils s'effondrer ? Pour répondre, dans un sens évolutif large, on doit comprendre les conditions de stabilité des écosystèmes, le rôle des microbes et de leurs interactions dans cette stabilité... C'est tout nouveau comme questionnement.

Notre santé, nous l'avons dit, repose en partie sur nos microbes. Mais nous-mêmes, en tant qu'êtres humains,

dèle pour notre façon de gérer les interactions que l'on pourrait cette fois souhaiter avec d'autres microbes. En appliquant les gestes barrières, voire en se confinant, chacun comprend que ces toutes petites choses invisibles sont, en fait, extrêmement importantes et impactantes. On a là une interaction qui oblige à nous positionner, en tant qu'êtres humains, par rapport aux microbes.

Vous parliez de la génétique des communautés comme une nouvelle science. Quels autres exemples peut-on donner ?

Éric Baptiste : Je pense qu'énormément de nouvelles collaborations interdisciplinaires peuvent être construites autour des microbes. On peut aborder la question en cherchant les disciplines où il y a un avant et un après la découverte des microbes. Outre les sciences de l'évolution, concernées au premier chef, nous avons parlé de la santé et du