

> page 86): ainsi, les psychobiotiques modifient notre humeur. L'agent de la toxoplasmose *Toxoplasma gondii* opère une manipulation inattendue de nos comportements. Cet unicellulaire affecte normalement les rongeurs et les félins, ces derniers se contaminant en mangeant les premiers. Chez les souris, l'infection provoque une baisse de réactivité et un attrait pour les odeurs d'urine de chats, ce qui les rend beaucoup plus vulnérables à ces prédateurs.

On a longtemps cru que la toxoplasmose n'entraînait pas de symptômes chez l'homme, hormis des malformations fœtales ou des avortements. Mais, coïncé dans notre système nerveux, le parasite y distille des modifications certaines quoique inutiles, car nous ne serons jamais la proie d'un chat. Il abaisse la vigilance: les accidentés de la route comptent une plus forte proportion d'individus infectés! Il réduit la répulsion pour les odeurs d'urine féline, ce qui rappelle son effet chez les rongeurs! Enfin, il augmente (légèrement) les risques de dépression et de schizophrénie et ralentit le développement moteur de l'enfant...

Quant aux comportements relationnels, des tests psychologiques suggèrent que le parasite rend les hommes plus dominants, sans doute en augmentant la synthèse de testostérone, et rend les femmes plus confiantes et attentionnées. Certains ont même suggéré que dans les sociétés latines où la prévalence de la toxoplasmose est élevée à cause de la consommation de viandes moins cuites, cette maladie aurait contribué à l'instauration de formes de machisme et de domination masculine.

Et chez d'autres animaux ?

Marc-André Selosse: Là aussi, le partage de microbes interfère bel et bien dans les relations entre individus. L'équipe d'Eugene Rosenberg, de l'université de Tel Aviv, a montré une influence sur le choix du partenaire sexuel, après avoir partagé une population de mouches *Drosophila melanogaster* en deux lots, élevés respectivement sur mélasse ou sur amidon. Lorsqu'on mélange des drosophiles des deux lots, les accouplements sont bien plus fréquents entre individus ayant reçu la même nourriture. Or, après traitement antibiotique, cette préférence disparaît... Réensemencés avec des excréments, les insectes retrouvent un comportement correspondant à celui des animaux dont proviennent les déjections. En un mot, le microbiote choisit le partenaire! Le tube digestif des animaux élevés sur amidon est riche en un lactobacille. Administrée à des individus traités par antibiothérapie, cette bactérie fait

Des expériences ont montré que le microbiote choisit le partenaire sexuel de son hôte... au moins chez la mouche drosophile

réapparaître la préférence. Ces lactobacilles favorisés par l'amidon modifieraient les phéromones sexuelles qui attirent le partenaire lors de l'accouplement.

L'holobionte signe-t-il la fin de la recherche d'entités autonomes ? Ou bien va-t-il simplement décaler les limites de ces entités, en y incluant le microbiote, sans modifier notre façon de voir le monde ?

Marc-André Selosse: Nous sommes encore loin d'avoir une image précise des effets des réseaux induits par les partages de microbes entre animaux. Mais l'idée d'holobionte masque de tels réseaux, en tentant de sauver des entités séparées. L'holobionte est une approximation de premier ordre des réseaux d'interaction entre espèces, limitée aux microbiotes et éliminant les ordres suivant. Or nous sommes pris dans des réseaux plus complexes: réseaux microbiens partagés, réseaux trophiques avec les écosystèmes qui nous nourrissent... Nous devons comprendre ces liens et cerner leur intensité.

En deux siècles, la notion d'organisme a apporté beaucoup en termes de compréhension et de connaissance. Elle n'est pas inutile: nous parlons d'organismes depuis le début! Mais elle véhicule une vision du monde qui apparaît de plus en plus comme un artefact du monde macroscopique, dissimulant les interactions et les dépendances avec les microbes. Il faut aller au-delà de l'organisme et même de l'holobionte en ce qu'il impose des frontières, et faire place, à présent, aux interactions, une autre vision du monde dont l'exploration commence juste. Demain, une biologie des interactions offrira de nouveaux horizons pour la gestion des milieux, la production alimentaire et la santé. Transcender la vision d'une nature juxtaposant des organismes peut nous aider à mieux gérer les crises environnementales et sanitaires.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

BIBLIOGRAPHIE

E. ROSENBERG ET AL.,
Diet-induced mating preference in *Drosophila*, *PNAS*, vol. 115(10), E2153, 2018.

M. THION ET S. GAREL,
On place and time: microglia in embryonic and perinatal brain development, *Curr. Opin. Neurobiol.*, vol. 47, pp. 121-130, 2017.

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.

Vous en avez connu le pire,
découvrez-en le meilleur



« Si on veut donner le goût des sciences,
il faut d'abord leur donner du goût. »

Étienne Klein

humenSciences

humensciences.com



L'ESSENTIEL

● La théorie de l'évolution porte aujourd'hui essentiellement sur les individus d'une population.

● Elle pourrait être étendue pour prendre en compte les communautés microbiennes où des microorganismes interagissent entre eux et avec leur hôte.

● De nouvelles entités multispécifiques en prise avec la sélection naturelle sont alors à identifier et à étudier.

● Certaines concernent les humains et leurs microbiotes, l'ensemble formant un nouveau type d'«être» complexe.

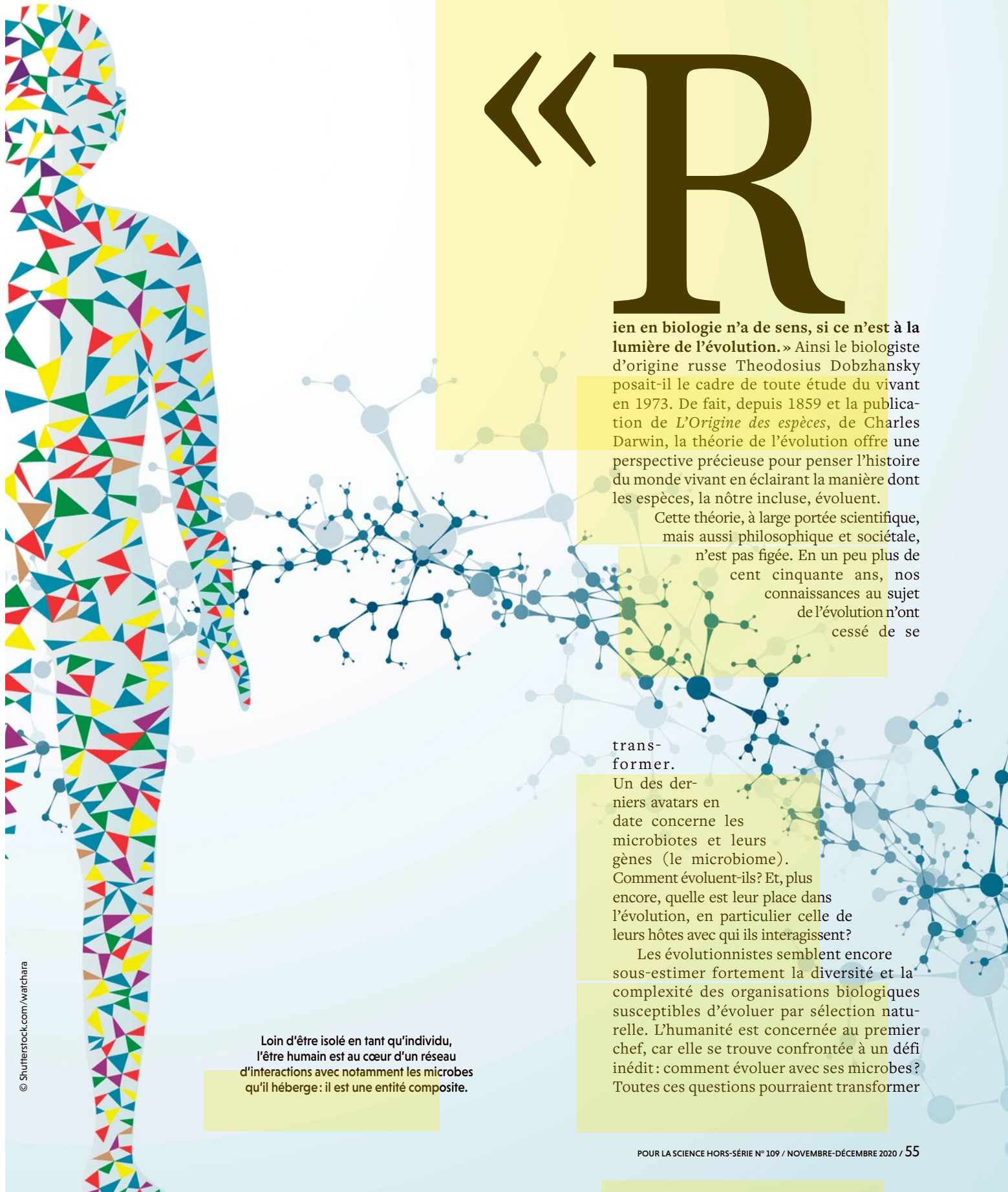
L'AUTEUR



ÉRIC BAPTESTE est directeur de recherche du CNRS, à l'institut de biologie Paris-Seine. Il codirige avec Philippe Lopez l'équipe Adaptation, intégration, réticulation et évolution, à Sorbonne Université, à Paris.

Il est un autre, pluriel

Il est temps que la théorie de l'évolution... évolue pour prendre en compte les microbes avec lesquels les organismes complexes, comme nous les humains, interagissons au quotidien.



«R

ien en biologie n'a de sens, si ce n'est à la lumière de l'évolution.» Ainsi le biologiste d'origine russe Theodosius Dobzhansky posait-il le cadre de toute étude du vivant en 1973. De fait, depuis 1859 et la publication de *L'Origine des espèces*, de Charles Darwin, la théorie de l'évolution offre une perspective précieuse pour penser l'histoire du monde vivant en éclairant la manière dont les espèces, la nôtre incluse, évoluent.

Cette théorie, à large portée scientifique, mais aussi philosophique et sociétale, n'est pas figée. En un peu plus de cent cinquante ans, nos connaissances au sujet de l'évolution n'ont cessé de se

trans-
former.

Un des derniers avatars en date concerne les microbiotes et leurs gènes (le microbiome). Comment évoluent-ils? Et, plus encore, quelle est leur place dans l'évolution, en particulier celle de leurs hôtes avec qui ils interagissent?

Les évolutionnistes semblent encore sous-estimer fortement la diversité et la complexité des organisations biologiques susceptibles d'évoluer par sélection naturelle. L'humanité est concernée au premier chef, car elle se trouve confrontée à un défi inédit: comment évoluer avec ses microbes? Toutes ces questions pourraient transformer

Loin d'être isolé en tant qu'individu, l'être humain est au cœur d'un réseau d'interactions avec notamment les microbes qu'il héberge: il est une entité composite.

- > en profondeur nos idées sur l'évolution des espèces, et même avoir des répercussions sur notre avenir.

UNE THÉORIE, BEAUCOUP DE QUESTIONS

Traditionnellement, l'évolution par sélection naturelle opère au sein de populations, c'est-à-dire d'ensembles d'individus apparentés, lorsque trois conditions sont réunies. D'abord, il faut que les membres d'une population ne soient pas tous semblables. Ensuite, il faut que les différences qui apparaissent influent sur les capacités de survie ou de reproduction. Enfin, il faut que ces traits plus ou moins avantageux soient héréditaires, pour que des adaptations soient transmises de parents à descendants. Dans ce cas, à mesure des générations, les spécimens les mieux adaptés voient leur fréquence au sein du groupe augmenter, et modifient les populations.

L'évolution se déroulerait ici principalement par une compétition sans fin, au sein d'une lignée, où chaque membre, confronté à ses semblables, est soumis à l'épreuve de la sélection naturelle. Selon cette logique, la valeur sélective se mesure souvent par le succès reproductif, c'est-à-dire par le nombre de descendants.

Néanmoins, l'évolution peut aussi *a contrario* façonner l'histoire de la vie en «altérant» les capacités de survie et de reproduction isolées de certains. Les transitions évolutives, rares mais essentielles, rendent compte de ce contre-pied, et complètent la théorie standard de l'évolution. Durant ces événements, de nouvelles espèces émergent d'interactions durables entre des entités biologiques qui, pour l'occasion, perdent leur capacité à se reproduire ou à survivre seules au profit d'un collectif.

Ainsi, depuis près de deux milliards d'années, les mitochondries, descendantes captives des cellules bactériennes ayant contribué à la naissance des cellules eucaryotes, ne peuvent plus se reproduire ni survivre en dehors de ces «nouvelles» cellules. De même, la transition vers la multicellularité, à l'origine par exemple des animaux, a fait suite à la division du travail reproductif entre cellules en interaction qui ont depuis perdu leur capacité à survivre seules. À l'issue d'une transition évolutive, des individus d'un nouveau type constituent donc des nouvelles populations (eucaryotes, organismes multicellulaires, etc.) sur lesquelles la sélection naturelle va désormais agir.

Dans le cadre de ces théories, les évolutionnistes débattent pour déterminer quels éléments (gènes? génomes? organismes?) et quelles populations (mono- ou multispécifiques?) subissent la sélection naturelle ou émergent de transitions évolutives. Depuis une dizaine d'années, les analyses de la dynamique des communautés microbiennes sont venues enrichir considérablement ces débats. Car les travaux sur les microbiomes

laissent entrevoir la possibilité que les théories classiques de l'évolution par sélection naturelle ne modéliseraient qu'imparfaitement l'évolution des cellules microbiennes. Plus précisément, ces théories pourraient sous-estimer le statut évolutif de nombreuses associations microbiennes, en ne les reconnaissant pas comme des groupes capables d'évoluer en tant que tels.

D'HOMO SAPIENS À CHOSMO SAPIENS

Les débats sur l'holobionte (voir l'entretien avec M. A. Selosse, page 48) illustrent ces questions nouvelles. Sommes-nous des assemblages coconstruits par des informations génétiques de microbes et d'humains, des *Chosmo sapiens* (un collectif «métahumain» intégrant les microorganismes qui nous accompagnent), plutôt que des *Homo sapiens* dont certains traits caractéristiques seraient uniquement codés dans les gènes de notre espèce? Et si les biologistes se trompaient sur les frontières réelles de notre être? Autrement

L'UNIVERS DES MICROBES EST PEUT-ÊTRE EN RÉALITÉ UN MONDE FONDAMENTALEMENT MULTICELLULAIRE ET STRUCTURÉ

dit, existons-nous vraiment, aux yeux de la sélection naturelle, sans nos microbes?

Plus généralement, c'est la question de notre capacité à identifier les entités filtrées par la sélection naturelle qui est posée par les analyses portant sur les associations microbiennes. Certaines d'entre elles méritent-elles d'être pensées comme des individus évolutifs de plein droit, et lesquelles? Un biofilm composé d'espèces diverses, poussant aux abords d'un étang, a-t-il un avenir évolutif? Une communauté de microbes, capable de fixer l'azote par des passages de relais fonctionnels entre membres de différentes espèces (quand des espèces distinctes enchaînent des réactions métaboliques successives), a-t-elle un futur en raison de la sélection naturelle? Si oui, l'enjeu est de taille: les microbiomes pourraient héberger un nombre considérable d'organisations multicellulaires issues de transitions évolutives masquées.

La question se pose désormais: l'évolution microbienne se joue-t-elle principalement au niveau des cellules isolées ou au niveau d'organisations multicellulaires plus intégrées? Certains microbes ne sacrifieraient-ils pas en partie leur potentiel reproductif au profit de la persistance ou de la reproduction d'un collectif