



autonomes, que nous mettons en place seuls. Par contre, d'autres méthodes se sont développées en interdépendance avec des microbes de ce que l'on pourrait appeler le «microbiote de nos sociétés», une sorte de phénotype étendu collectif. Dès le temps de la chasse, nous avons recruté des microbes pour faisander les viandes, c'est-à-dire rendre plus digestes les chairs des animaux sauvages, musclés et raidis par l'hallali. Par la suite, nous avons domestiqué des microbes pour préparer les aliments d'origine agricole, pain, vin, bière, fromage, manioc, choucroute, saucissons et, c'est moins connu, beurre, café et chocolat.

On retrouve dans ces utilisations culturelles des fonctions du microbiote intestinal! D'abord, ces fermentations assurent la présence de vitamines des cellules microbiennes, alors que celles de l'aliment d'origine s'oxydent durant le stockage. Ensuite, la fermentation rend comestibles certains aliments, car les microbes consomment ou inactivent certains composés nocifs. Dans leur fermentation, les choucroutes éliminaient les glucosinolates toxiques des premiers choux domestiqués. La panification au levain détruisait les phytates des premières céréales, des molécules entraînant une déminéralisation de l'organisme. Enfin, les fermentations introduisent une flore compétitive qui limite l'installation des pathogènes, par concurrence directe ou bien grâce aux effets antibiotiques de l'acidité et de l'alcool produits.

Notre évolution culturelle a opéré une forme de mimétisme inconscient avec

notre évolution biologique. Toutes deux impliquent l'émergence d'une dépendance aux microbes et d'une intrication accrue au sein du phénotype étendu. Certes, des évolutions alimentaires occidentales récentes nous ont libéré des aliments fermentés, qu'on garde plus par hédonisme que par nécessité. Néanmoins, ces fermentations ont été nécessaires à l'émergence de notre alimentation agricole par le passé.

#### Et du point de vue des microbes?

**Marc-André Selosse :** Le monde végétal nous enseigne que les microbes créent des liens entre les macroorganismes auxquels ils s'associent. Les plantes sont mises en réseau par des champignons du sol, par des clones de bactéries qui passent d'une racine à l'autre, portés par l'eau ou des insectes, mais aussi par des insectes pollinisateurs ou des parasites qu'elles partagent: deux plantes voisines s'interinfluent par ces relations communes.

On peut croire que les plantes, immobiles, sont un cas particulier, mais en fait les animaux peuvent eux aussi partager des clones de levures ou de bactéries. C'est d'ailleurs par échange avec des individus qui nous entourent, nos parents en particulier, que nous construisons notre microbiote. Aujourd'hui d'ailleurs, c'est parce que nos pratiques d'hygiène ré-

## Dans les sociétés latines, la toxoplasmose aurait contribué à l'instauration de formes de machisme et de domination masculine!

duisent ces échanges que nous commençons à avoir recours à des probiotiques.

Se pose alors la question de savoir si certains microbes partagés n'affectent pas les relations interindividuelles. Par exemple, il leur serait bénéfique, évolutivement parlant, de favoriser des entraides entre les macroorganismes dont ils sont les hôtes, renforçant par là ce qui est leur gîte et leur couvert. La question n'est guère posée pour l'homme, dont le libre arbitre semble inaccessible à des microbes et pourtant...

D'abord, les microbes interfèrent avec nos comportements (voir l'entretien >

> 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.