

plantes ? Grâce à ces approches simplificatrices, fondées sur l'emploi d'un sol stérilisé réinoculé avec des microbiotes plus ou moins complexes ainsi que de plantes mutantes, la compréhension des relations complexes entre la plante et son microbiote a beaucoup progressé. Le rôle de ce dernier dans la nutrition, le développement et la santé des plantes est aussi de plus en plus clair : il est essentiel dans l'accès à des réserves de nutriments non accessibles directement aux racines des plantes. Le microbiote module aussi la physiologie et la phénologie – les événements périodiques qui font la vie des plantes : floraison, chute des feuilles, etc.

Une biodiversité microbienne menacée

Le microbiote constitue aussi une première barrière de défense contre les organismes pathogènes et les polluants. Si une partie de ce microbiote semble être modulée dans sa composition et son activité par la plante elle-même, une part significative provient

de l'environnement, et notamment du sol. Les expériences en conditions contrôlées montrent d'ailleurs qu'une plante cultivée en l'absence de tout microorganisme pousse très difficilement et qu'elle est souvent moins résistante aux perturbations environnementales (sécheresse, attaque de pathogènes, pollution).

La biodiversité joue donc un rôle essentiel dans le développement des plantes. Or la forte anthropisation de notre environnement, la sélection des variétés cultivées et l'érosion des sols due à nos pratiques de culture réduisent fortement la diversité microbienne. Dans ce contexte, les plantes vont-elles finir à long terme par ne plus trouver dans le sol les microbiotes dont elles ont besoin ?

De nombreuses recherches sur le microbiote des plantes sont encore nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes régulant les interactions plantes-microorganismes. De nouvelles méthodes de culture plus productives et plus respectueuses de l'environnement sont sans aucun doute à la clé. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

S. Uroz *et al.*, *Ecology of the forest microbiome : Highlights of temperate and boreal ecosystems*, *Soil Biology and Biochemistry*, sous presse.

M. Jeanbille *et al.*, *Soil parameters drive the structure, diversity and metabolic potentials of the bacterial communities across temperate beech forest soil sequences*, *Microbial Ecology*, vol. 71, pp. 482-493, 2016.

S. Uroz, *Specific impacts of beech and Norway spruce on the structure and diversity of the rhizosphere and soil microbial communities*, *Scientific Reports*, vol. 6, article 27756, 2016.

D. Bulgarelli *et al.*, *Structure and functions of the bacterial microbiota of plants*, *Annual Review of Plant Biology*, vol. 64, pp. 807-838, 2013.



ESPÈCES D'OURS!

EXPOSITION JUSQU'AU 19 JUIN 2017
AU JARDIN DES PLANTES

GRANDE GALERIE DE L'ÉVOLUTION
36 RUE GEOFFROY SAINT-HILAIRE - PARIS 5^e

ESPECESDOURS.FR

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Logos: République Française, MUSEUM, 5 ANJOU PARIS, LE JARDIN DES PLANTES, TROISCOULEURS, 20, Disney signature, inter, #EspescesdOurs, Facebook, Twitter, YouTube.

Vertical text on the right: Ours polaires © Steven Kozlovski / Nature Picture Library - Ours brun © Wladimir Bratjak Shutterstock.com

Au-delà de l'organisme, l'holobionte

Marc-André Selosse

Le concept d'organisme montre aujourd'hui ses limites : il faut désormais prendre en compte le fait qu'un animal ou une plante ne peut vivre sans les multiples microorganismes qui l'habitent.

En 1931, l'université du Kentucky entama l'amélioration de fétuques (des graminées) pour enrichir les pâtures de l'ouest américain. Après sélection des individus les plus performants, la variété *Kentucky 31* fut commercialisée en 1943. Largement semée, la plante forma bientôt des prairies denses. Hélas, les bovins montrèrent bientôt d'étranges symptômes. Chute de la queue et des sabots, comportements de stress et activité nocturne, production de lait et de viande réduite de 30 %, avortements plus fréquents... *Kentucky 31* est aujourd'hui une peste envahissante, qui coûte cher à l'agriculture.

D'où provenaient ces nuisances ? On découvrit, un peu tard, le responsable : un champignon du genre *Neotyphodium*, qui vit dans la plante et produit des alcaloïdes. Certains sont toxiques pour les insectes, d'autres pour les mammifères. Un vasoconstricteur, l'ergovaline, explique la gangrène des extrémités des bovins ; l'acide lysergique (un stupéfiant dont dérive le LSD) altère le comportement. Ce champignon est cependant invisible, car il ne sort jamais de la plante ; il en colonise tous les tissus, et en particulier les graines. Il se reproduit donc en se propageant à la descendance. On avait involontairement sélectionné des champignons toxiques, parce qu'ils amélioraient

la croissance, mais sans se rendre compte qu'ils tuaient les herbivores.

Ainsi, les propriétés des grands organismes résultent parfois de microorganismes qui les habitent. L'apport est parfois décisif : si l'on prive *Kentucky 31* de champignon par un traitement antifongique, la plante, rendue comestible, est attaquée par les herbivores et ne s'installe pas durablement dans la nature. C'est le consortium plante-champignon qui est concurrentiel.

Une coexistence cruciale

Les plantes et les animaux sont habités de microbes qui façonnent leurs traits : cela a conduit au concept d'holobionte (du grec *holo*, tout, et *bios*, vie), qui désigne l'unité biologique composée de l'hôte (plante ou animal) et de tous ses microorganismes. De plus en plus de biologistes substituent ce concept à la vision d'organismes isolés, car tous sont accompagnés. Comment se mettent en place les holobiontes ? En quoi cela modifie-t-il l'hôte ? Nous allons voir que la coexistence au sein de l'holobionte détermine l'évolution des partenaires.

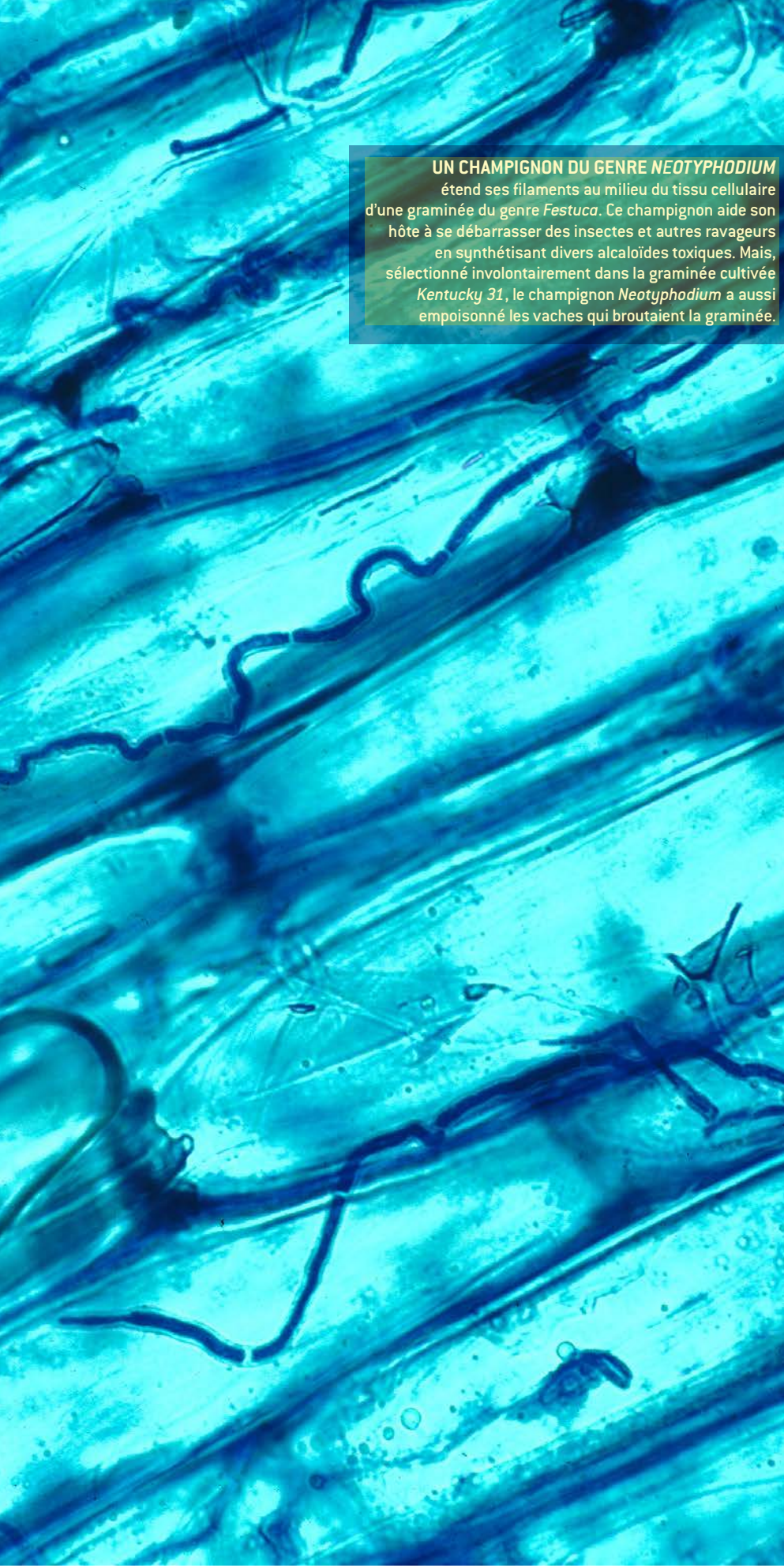
L'holobionte cumule les propriétés de l'organisme hôte et de ses passagers, dont il assemble tous les génomes. Cela a conduit à la notion d'hologénome, qui

L'ESSENTIEL

■ L'holobionte désigne l'ensemble constitué par un organisme et les microorganismes qu'il héberge.

■ Ces microorganismes, dont certains sont hérités de génération en génération, jouent un rôle essentiel dans la biologie d'un animal ou d'une plante.

■ L'holobionte constitue un écosystème complexe qui façonne à la fois l'hôte et ses microorganismes.

A detailed microscopic image showing plant tissue with various cellular structures. Dark, wavy, thread-like structures, likely fungal hyphae of *Neotyphodium*, are visible winding through the lighter-colored plant cells. The overall image has a blueish tint.

UN CHAMPIGNON DU GENRE *NEOTYPHODIUM*
étend ses filaments au milieu du tissu cellulaire d'une graminée du genre *Festuca*. Ce champignon aide son hôte à se débarrasser des insectes et autres ravageurs en synthétisant divers alcaloïdes toxiques. Mais, sélectionné involontairement dans la graminée cultivée *Kentucky 31*, le champignon *Neotyphodium* a aussi empoisonné les vaches qui broutaient la graminée.

étend le génome de l'organisme en lui adjoignant ceux de ses microbes.

En fait, l'holobionte est un peu comme un train très fréquenté : d'abord, il est très peuplé, car chaque organisme abrite de nombreux microbes. Ensuite, certains passagers sont des abonnés, d'autres le prennent juste une fois. En effet certains microbes, comme *Neotyphodium*, sont héréditaires, passagers de toujours qui persistent de génération en génération sans quitter l'hôte. Loin d'être les plus fréquents, ils sont souvent étroitement intégrés dans les fonctions de l'holobionte, si bien qu'on les a parfois repérés tardivement, comme chez *Kentucky 31*.

Microbes hérités ou passagers

Un autre exemple est fourni par la respiration. À l'échelle cellulaire, ce processus est assuré par les mitochondries, des organites qui produisent l'énergie dont a besoin la cellule. Or la mitochondrie s'est révélée être une bactérie qui vit depuis des lustres dans nos cellules. Les premiers observateurs l'avaient supposé parce que les mitochondries se divisent en deux, comme des bactéries. L'élucidation de la biochimie de la respiration, au début du XX^e siècle, a montré les liens étroits de la mitochondrie avec le reste du métabolisme cellulaire, rejetant une origine bactérienne dans l'ombre. Après les années 1960, la découverte d'ADN et d'un génome bactérien réduit dans les mitochondries a finalement établi leur nature de bactérie. La respiration est ainsi une propriété holobiontique des cellules adjointes aux mitochondries qu'elles nourrissent...

Il en va de même pour la photosynthèse : les algues et les plantes l'assurent grâce aux plastides, les organites cellulaires qui contiennent la chlorophylle. Or ceux-ci ont également un petit génome bactérien, ce qui en fait des bactéries photosynthétiques (plus exactement des cyanobactéries).

Certaines propriétés cellulaires vitales sont donc celles de passagers montés à bord il y a fort longtemps ; ils y restent parce qu'ils sont héréditaires, grâce à leur présence dans les cellules reproductrices – spores ou ovules.

Partie héréditaire de l'holobionte, les passagers de toujours demeurent moins divers que les passagers d'un jour, qui embarquent à chaque génération. En effet,