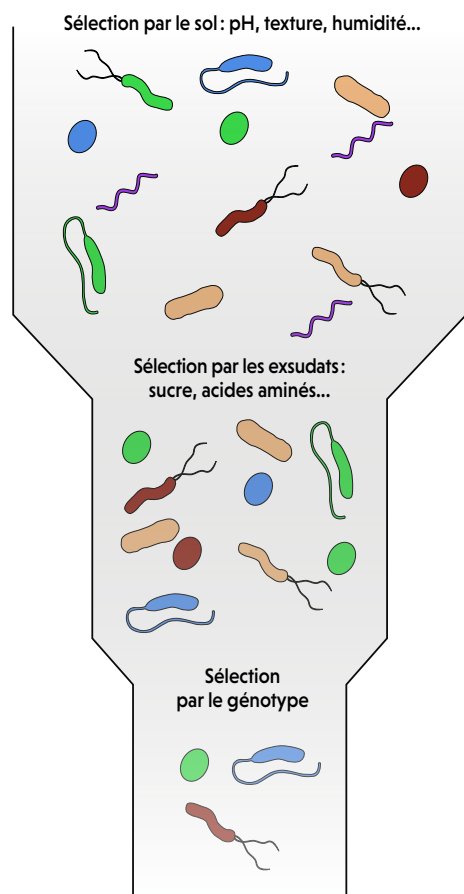




Même si les mécanismes impliqués dans le processus demeurent inconnus, ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives sur le plan agronomique: ils suggèrent que l'on pourrait moduler des traits végétaux (floraison, résistance à la sécheresse ou aux maladies) à l'aide du microbiote, indépendamment du fond génétique des plantes. En dehors des aspects agronomiques, le microbiote des plantes joue aussi un rôle important dans les sols pollués par des métaux lourds ou des composés organiques toxiques persistants tels que les hydrocarbures.

Pour pousser sur ces sols, la plupart des plantes acquièrent dans leur rhizosphère un microbiote capable d'immobiliser les métaux ou de biodégrader les polluants organiques, jouant ainsi un rôle de barrière protectrice pour la plante. Toutefois, certaines plantes, dites hyperaccumulatrices, favorisent un microbiote capable de solubiliser les métaux, ce qui augmente leur absorption dans la plante. Ainsi, l'arabette de Haller (*Arabidopsis halleri*) accumule deux fois plus de cadmium dans un sol natif que dans une terre stérilisée. Ce microbiote spécialisé, préadapté et tolérant aux métaux serait même en partie transféré de la plante mère à la descendance, par colonisation des graines.

De la même façon, des microorganismes capables de dégrader les hydrocarbures ont été

LA SÉLECTION DU MICROBIOTE RHIZOSPHERIQUE

La comparaison des microbiotes rhizosphériques de diverses plantes provenant de différents sols renseigne sur le processus de sélection. Trois filtres successifs semblent à l'œuvre:

- 1) Les caractéristiques du sol (son pH, sa texture...).
- 2) Les composés chimiques produits par les racines, ou «rhizodépôts», dont les bactéries et champignons peuvent se nourrir.
- 3) Un tri se fait finalement en fonction de certaines des caractéristiques génétiques de la plante (son génotype).

détectés à la surface des graines de certaines plantes et dans leur rhizosphère. Ils procurent à leur plante hôte un avantage adaptatif pour se développer sur les sols pollués. Ces phénomènes naturels peuvent être mis à profit dans la recherche de bioprocédés de dépollution. La mise au point de telles techniques, combinant les potentiels des plantes et de leur microbiote associé – c'est la phytoremédiation –, est aujourd'hui une priorité, car elles constitueraient une alternative à l'excavation et au traitement chimique des polluants.

Quels enseignements tirer de ces premières recherches sur le microbiote des 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 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. Et peut-être un nouveau best-seller consacré au microbiote des plantes... ■

BIBLIOGRAPHIE

M. CREGGER ET AL., The *Populus holobiont*: dissecting the effects of plant niches and genotype on the microbiome, *Microbiome*, vol. 6(1), p. 31, 2018.

S. UROZ ET AL., Ecology of the forest microbiome: Highlights of temperate and boreal ecosystems, *Soil Biology and Biochemistry*, sous presse.

Y. COLIN ET AL., Taxonomic and functional shifts in the beech rhizosphere microbiome across a natural soil toposequence, *Scientific reports*, vol. 7(1), art. 9604, 2017.

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.

L'ESSENTIEL

● Toute communication nécessite un émetteur et un récepteur qui échangent des signaux, et donc de la sensibilité, c'est-à-dire de la capacité à percevoir le signal et à y répondre de manière adaptée.

● On a longtemps cru que les plantes étaient dépourvues de telles capacités. Il n'en est rien. Elles ont des sens qui

s'apparentent à la vision, à l'odorat, ou encore au toucher... et bien d'autres encore.

● Ainsi équipées, elles perçoivent leur environnement et communiquent, par exemple en alertant leurs voisines. Elles peuvent également échanger des informations par l'intermédiaire de champignons qui tissent un réseau souterrain.

L'AUTEURE



CATHERINE LENNE est chercheuse au laboratoire Physique et physiologie intégratives de l'arbre en environnement fluctuant (INRA-UCA), à l'université Clermont-Auvergne.

Une communication pleine de sens

Les plantes ne végètent pas ! Dotées de nombreux sens, parfois très similaires à ceux des animaux, elles échangent quantité d'information et de matière. Bienvenue sur les autoroutes de l'information végétale.

D

ans nos villes, chaque mètre carré du macadam d'un trottoir cache un écheveau de câbles, de fibres optiques et de tuyaux en tout genre où circulent des données. C'est que nous vivons à l'ère des communications ! Heureusement, rien de tel dans la nature. Détrompez-vous...

C'est pire ! Dans une prairie ou une forêt, chaque centimètre cube de sol contient de 100 à 1 000 mètres d'hyphes, un réseau de fins filaments invisibles à l'œil nu qui constituent l'essentiel des champignons (ceux que nous ramassons ne sont que des structures temporaires destinées à produire des spores). Or ces hyphes, de diverses espèces, connectent souvent plusieurs arbres, pas nécessairement de la même espèce, et tissent une sorte de *Wood Wide Web* (voir la figure, page 34), des « autoroutes de l'information souterraines ».

Par ce réseau, les arbres échangent de l'information, de la matière... Ainsi, les plantes communiqueraient ! Et pour ce faire, >

A misty forest scene with tall, slender trees. A network of white lines and glowing nodes is overlaid on the bottom half of the image, suggesting a communication network. The overall color palette is green and white, with a soft, ethereal atmosphere.

Les arbres communiquent par
de multiples canaux et tissent
parfois des réseaux que
certains comparent au Web.

> elles disposent de bien des moyens, les hyphes des champignons n'étant qu'un exemple. Mais pour bien communiquer, il convient d'abord de percevoir son environnement, ses voisins... À ce niveau, les plantes n'ont rien à envier aux animaux: leurs capacités sensorielles sont étonnantes.

En biologie, la sensibilité est la capacité pour un récepteur (organisme ou cellule) à recevoir des stimulations d'origine physique (lumière, température, acidité...) ou vivante (agents pathogènes, herbivores...) et à y répondre.

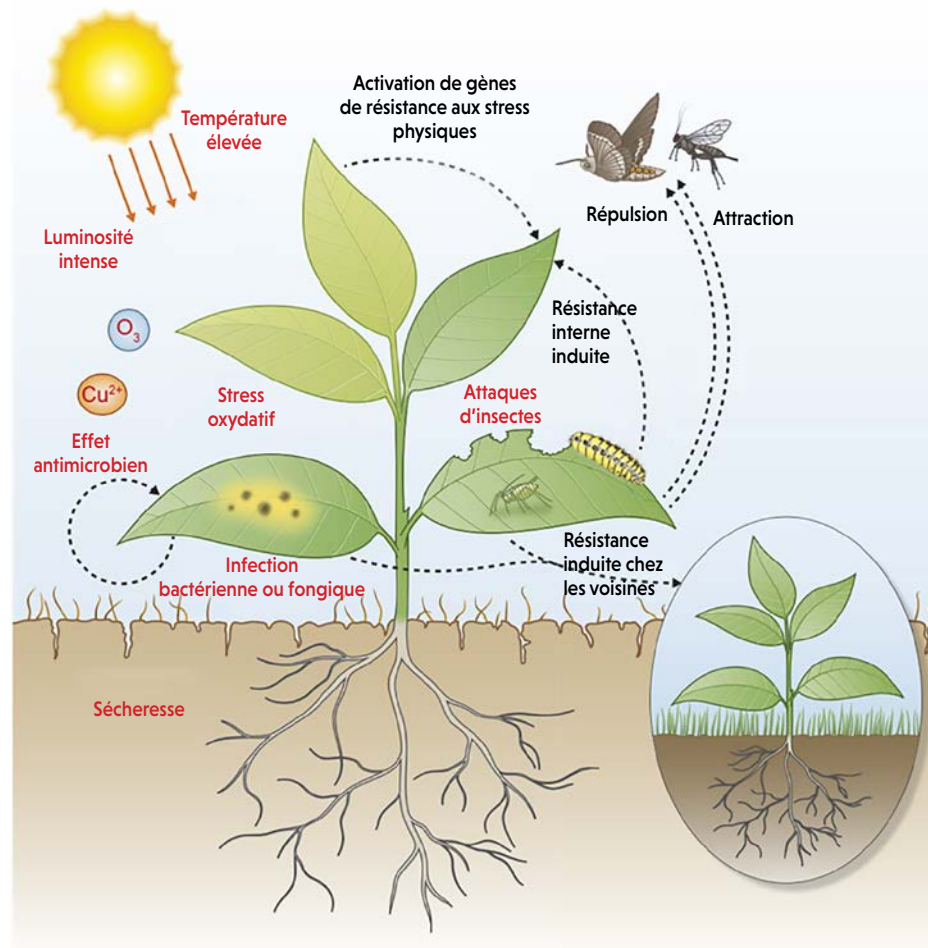
DES ÊTRES « HYPERSENSIBLES »

La sensibilité était encore, jusqu'à récemment, réservée au monde animal. Mais depuis une trentaine d'années, on découvre qu'elle est aussi répandue dans le monde végétal. Condamnées à l'immobilité, incapables de fuir un danger, les plantes ont développé des « sens » comparables à ceux des animaux. Seule différence, essentielle, les perceptions sont diffusées, à l'instar de notre toucher, et ne sont pas concentrées dans des organes dédiés (oreilles, yeux...).

Au risque d'être taxé d'anthropomorphisme, on peut identifier chez les plantes des sens analogues à ceux dont nous, humains, sommes dotés: la vue, le goût, l'odorat...

La vision animale se définit classiquement comme la perception des rayonnements lumineux et leur interprétation cognitive par le cerveau. La perception de la lumière est le fait d'organes photorécepteurs, les yeux et en particulier la rétine, qui concentre les photorécepteurs. Chez les plantes, ni œil ni cerveau, mais un très grand nombre de photorécepteurs constitués de petites molécules photosensibles enchâssées dans de grosses protéines. Ces photorécepteurs sont présents dans toutes les cellules vivantes de la plante, sous forme soluble ou insérées dans les membranes. Les végétaux perçoivent leur environnement lumineux grâce à trois grandes familles de photorécepteurs: les phytochromes, spécialisés dans la perception des radiations rouges et infrarouges, les phototropines dans le bleu et les cryptochromes dans le bleu et les ultraviolets. Détaillons un peu.

Les phytochromes sont activés par la lumière rouge clair tandis que le rouge lointain (l'extrémité du spectre visible, avant l'infrarouge) et le très proche infrarouge les inactivent. Avec ces « yeux » diffus, la plante distingue les plantes voisines et l'ombre qu'elles peuvent lui faire, et ne les confond pas avec, par exemple, un mur. En effet, le rouge lointain est réfléchi par les tissus chlorophylliens, mais pas par les matières minérales. Cette « vision » déclenche une réponse de croissance adaptée, accentuée en hauteur, comme une fuite hors de la zone d'ombre, dans une course effrénée verticale vers la lumière.



Les composés organiques volatiles émis par les feuilles en réponse à divers stimuli (en rouge) déclenchent de multiples effets (en noir).

Les phototropines, sensibles à la lumière bleue, sont quant à elles responsables des mouvements d'orientation des plantes vers une source lumineuse, un phénomène découvert par Charles Darwin, dès les années 1880. Les phototropines sont également à la base du réveil quotidien de la plante, lorsqu'à l'aube, les premiers rayons lumineux frappent les feuilles et que les radiations bleues provoquent l'ouverture des stomates et les premiers échanges gazeux de la plante.

En fin de compte, si la nature des photorécepteurs diffère, le principe physique de base de la vision, c'est-à-dire la perception lumineuse, est lui universel et se décline dans tout le vivant, que ce soit chez les bactéries, les champignons, les animaux ou les végétaux.

Côté toucher, on connaît depuis longtemps des exemples spectaculaires du sens mécanique chez les plantes (voir *Et pourtant elles bougent !*, par C. Lenne, page 16) : les feuilles de la dionée qui se referment rapidement sur un insecte; la sensitive *Mimosa pudica*, qui replie ses folioles sous la caresse... Mais on sait moins que ce sens