

du toucher est commun à toutes les plantes et qu'il influe sur la croissance. On parle de thigmomorphogenèse. Le fait de toucher une plante régulièrement, de la brosser, de lui taper sur la «tête», de la soumettre au vent... diminue sa croissance en hauteur et augmente celle en épaisseur, la rendant plus trapue et solide face aux sollicitations mécaniques.

TOUCHER, GOÛTER, SENTIR...

Ce sens du toucher s'élargit en un «sens mécanique» qui permet aux plantes de percevoir l'orientation de la gravité et par conséquent leur inclinaison par rapport à la verticale. De fait, une tige placée à l'horizontale se courbe et se redresse à la verticale à mesure qu'elle croît. Ce sens, gravitropique, passe par la sédimentation de gros grains d'amidon dans des cellules spécialisées (des statocytes), situées dans les pointes racinaires ou les tiges. Le principe est comparable à notre propre gravipercption qui, dans notre oreille interne, est réalisée par des petits cailloux de calcaire (les otolithes) pris dans un gel et reposant sur des cils mécanosensibles.

Chez les plantes, l'écoulement des grains d'amidon microscopiques à l'intérieur des statocytes a été étudié récemment par notre laboratoire, à Clermont-Ferrand. Notre équipe a

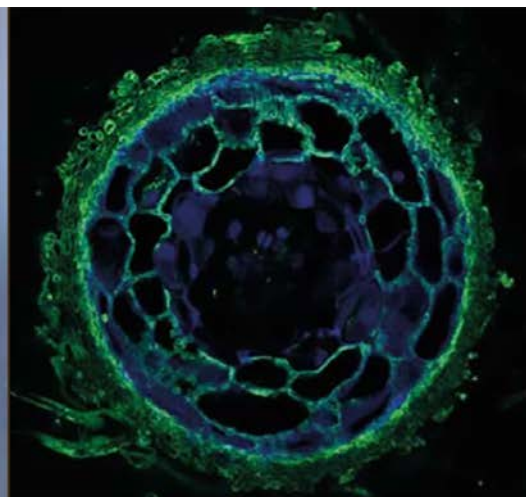
voisines non attaquées, la mise en œuvre de défenses biochimiques. Ces molécules chimiques constituent un véritable langage pour la plante et lui permettent de communiquer avec d'autres espèces vivantes, nous y reviendrons.

Une ouïe est plus surprenante encore chez les plantes. Elle relève de la perception de vibrations mécaniques puisque le son est une vibration de l'air. Même si ce sens a fait l'objet de publications récentes, il est encore objet de controverses scientifiques et le cas de l'ouïe n'est pas complètement tranché. Citons néanmoins les travaux de Monica Gagliano et Stefano Mancuso, de l'université de Florence, en Italie, qui, en 2012, ont montré que des racines de maïs poussant dans une solution liquide s'orientent vers une source sonore.

LE SIXIÈME SENS

La sensibilité des plantes n'est pas uniquement tournée vers l'extérieur. De nombreux signaux circulent également à l'intérieur de la plante et fonctionnent comme des relais d'information des signaux extérieurs. Ce peut être des hormones de croissance, des petites molécules informatives comme des sucres, et même des courants électriques (voir *La neurobiologie végétale, une idée folle ?*, par F. Bouteau, page 36).

Le champignon *Laccaria amethystina* établit des mycorhizes avec le pin Douglas (à gauche). Sur une coupe transversale vue au microscope (à droite), on distingue les filaments fongiques (en vert) à l'extérieur et à l'intérieur de la racine (les cellules végétales sont en bleu).



montré que les grains d'amidon sont agités en permanence dans les cellules, ce qui confère à ce système granulaire des propriétés proches de celles d'un liquide, comme dans un niveau à bulle, et permet à la plante de «sentir» l'inclinaison de sa tige, même à un angle très faible.

La perception des substances chimiques en solution (le goût) ou volatiles (l'odorat) est la chémopercption. Par ces sens, impliquant des récepteurs spécialisés, les plantes attaquées par un herbivore émettent dans l'air des bouquets de senteurs chimiques qui induisent dans toutes leurs feuilles, mais aussi chez les plantes

Les signaux intérieurs et extérieurs se combinent parfois et déclenchent une réponse coordonnée de la plante. Un exemple frappant est le redressement d'une tige ou d'un tronc à la verticale, par la courbure de sa base. Cette réponse est non seulement mise en œuvre suite à la perception de l'inclinaison de la tige par rapport à la verticale (gravipercption, signal extérieur), mais aussi par la perception interne des déformations effectuées par la tige en cours de redressement et par la correction de la rectitude de l'axe. Ce sixième sens est celui de la proprioception, c'est-à-dire la perception de la

> position du corps dans l'espace. Il a été découvert chez les plantes en 2012, à nouveau dans notre laboratoire de Clermont-Ferrand.

Notre groupe a également montré que les plantes adaptent leur sensibilité à la répétition insistante des signaux extérieurs, comme si trop de perception nuisait à la perception... Un peuplier, dont la tige est fléchie de façon répétée en laboratoire afin de mimer l'effet du vent, développe une réponse de croissance qui est diminuée de près de 90 % dès la deuxième flexion. Cette désensibilisation correspond à une véritable accommodation de la plante.

Les plantes sont donc sensibles, par toutes les cellules vivantes de leur corps. Sont-elles pour autant capables de communiquer ? D'abord, qu'est-ce que cela signifie ? Communiquer consiste à relier deux systèmes sensibles par un échange de messages : ils doivent être émis d'un côté et reçus de l'autre. Les plantes sont équipées pour la réception, on l'a vu, mais sont-elles aussi capables d'émettre dans le milieu environnant ?

Depuis les années 1980, de nombreux exemples de communication entre une plante et une autre, ou un animal ou une bactérie, ont été découverts et étudiés. Donnons deux exemples.

Le premier emprunte la voie aérienne. Dans le cas d'une attaque d'herbivore, la feuille grignotée perçoit l'agression et répond en synthétisant une kyrielle de substances visant à repousser l'incommodant. Elle se charge notamment de tannins ou d'enzymes perturbant la digestion de l'animal. Ce n'est pas tout. De petites substances volatiles sont aussi produites et émises dans l'air. Ces messages chimiques sont de petits composés organiques volatils (notés COV) qui sont perçus par les voisins de la plante agressée. Celles-ci réagissent en synthétisant à leur tour des molécules de défense alors même qu'elles ne sont pas attaquées. C'est une sorte de « vaccination » générale...

LE MYTHE DE CES HYPHES

Le deuxième exemple de communication est souterrain. En forêt, toutes les racines des arbres vivent en association étroite avec des champignons du sol, formant des organes chimères, des mycorhizes (du grec *mukes*, champignon, et *rhiza*, racine). Les fines racines des arbres sont étroitement emballées, voire parcourues en leur sein, de filaments : ce sont les hyphes (voir les photos page précédente). Les zones de contact qu'ils établissent avec les cellules végétales à l'intérieur des racines forment une très grande surface d'échanges que traversent diverses substances de l'arbre vers le champignon et *vice versa*.

La mycorhize est un organe de symbiose, une association à bénéfices réciproques, ce qui signifie que les deux partenaires tirent profit

de leur étroite association. Le champignon améliore la nutrition minérale de l'arbre, en augmentant le volume de sol exploré, grâce aux hyphes qui se déploient beaucoup plus largement que les seules racines. Il excelle dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol. Le champignon est aussi capable de mobiliser des ressources du sol, inaccessibles à la plante seule, grâce à la sécrétion d'enzymes : par exemple, des phosphatases fongiques découpent les polyphosphates du sol en petits phosphates simples qui sont ensuite absorbés par les hyphes et gagnent les tissus conducteurs de l'arbre. Quant à la plante, autotrophe, elle fournit au champignon hétérotrophe une part, non négligeable, de sa production photosynthétique (des sucres essentiellement).

L'activité photosynthétique d'un arbre ne profite pas seulement à ses champignons mycorhiziens. En effet, l'utilisation de traceurs radioactifs a révélé que des substances carbonées fabriquées par un arbre se retrouvent dans l'arbre voisin. Les substances circuleraient à travers les hyphes, extrêmement nombreux, des champignons mycorhiziens.

Pour avoir une idée du réseau, rappelons que des centaines de souches fongiques différentes peuplent le sol d'une forêt et déploient, nous l'avons dit, jusqu'à 1 kilomètre de filaments par centimètre cube de sol ! En outre, une souche de champignon est associée à plusieurs arbres, sur une surface de 1 à 10 mètres de diamètre. Chaque arbre abrite au niveau de ses racines de nombreuses

Le *Wood Wide Web*, le réseau internet des forêts. Plantes et arbres sont connectés par les hyphes de champignons via des mycorhizes. Ils peuvent ainsi échanger nutriments et information.

