

souches de champignons différentes. De plus, les hyphes entremêlés dans le sol se connectent par des ponts joignant les cellules. Les filaments des champignons du sol forment ainsi un réseau interconnecté, comparable à celui d'un réseau de neurones ou à un réseau internet. Certains n'hésitent pas à pousser l'analogie plus loin en parlant d'un *Wood Wide Web*, un réseau internet forestier (voir la figure page ci-contre).

Cependant, si l'échange de substances d'un arbre à l'autre par le sol est bien démontré en conditions contrôlées et entre deux jeunes plants partageant le même pot, plusieurs points importants restent débattus. Le premier est la voie réelle de ces échanges : il est difficile de prouver sans équivoque que les substances carbonées échangées voyagent effectivement par voie fongique. Les racines sécrètent en effet de grandes quantités de substances carbonées dans le sol et celles-ci pourraient être absorbées directement par le champignon mycorhizien voisin, sans emprunter le *Wood Wide Web*.

Par ailleurs, la quantité de carbone et de nutriments transférée semble en réalité très faible : selon les études, de 1 à 10% seulement de la totalité des produits assimilés par l'arbre donneur seraient retrouvés dans l'arbre receveur, et certains considèrent même cette quantité négligeable et qu'il est peu probable qu'elle représente une source trophique importante pour l'arbre receveur...

Néanmoins, certaines de ces substances carbonées, même en quantité infime, suffiraient à véhiculer des informations d'une plante à l'autre, ce qui appuierait la notion de communication par le sol entre les plantes. Ces signaux informatifs joueraient un rôle dans la germination et le développement des plantules, dans les défenses et la « vaccination » des plantes contre les attaques.

LES PLANTES NE SONT PAS DES LÉGUMES

Émettre et percevoir des signaux, répondre de façon adaptée, communication, sensibilité... La découverte des étonnantes capacités des plantes a bousculé la vision de la société, et de la communauté scientifique, sur le monde végétal. Du statut d'êtres insensibles où elles végétaient depuis plus de 2000 ans et les travaux d'Aristote, dont la vision hiérarchique et anthropocentrée du monde a curieusement traversé les siècles jusqu'à nous, intacte dans ses grandes lignes, elles sont passées brusquement à celui d'êtres intelligents. Mais les contours de l'intelligence sont multiples et discutés par les spécialistes ! C'est un exercice difficile, et de fait, l'intelligence n'a toujours pas de définition consensuelle.

Si l'intelligence se résume à percevoir le monde, et répondre de façon adaptée aux signaux perçus, alors oui, les plantes sont intelligentes, mais au même titre que tous les êtres vivants, bactéries, vers de terre ou humains.

Si l'intelligence inclut aussi la résolution de problèmes, la mémorisation, le traitement de l'information, la communication... alors là encore, les plantes sont intelligentes.

Mais si l'intelligence ne peut se départir de la notion de conscience, de volonté et de prise de décision, d'émotions, d'empathie... cette fois rien ne prouve que les plantes sont intelligentes. En tout cas, rien ne prouve que leur intelligence soit comparable à la nôtre.

Des spécialistes de « l'intelligence en essaim » la comparent à celle des colonies d'insectes sociaux où chaque membre spécialisé dans une tâche participe à l'intelligence collective du groupe. L'intelligence des plantes pourrait plutôt être à cette image, distribuée dans toutes les cellules vivantes du corps végétal où chacune est dotée de milliers de senseurs moléculaires et de capacités de réponse adaptée. Les réponses sont intégrées à l'échelle des tissus, via de nombreux échanges de signaux internes, chimiques ou électriques, puis à l'échelle des organes et de la plante entière. Une intelligence diffuse dont le résultat collectif est quoi qu'il en soit hautement performant et réactif.

Depuis 2005, une nouvelle discipline, la « neurobiologie végétale », a émergé. Les pionniers, Stefano Mancuso et František Baluška, de l'université de Bonn, en Allemagne, ont été vivement critiqués par la communauté scientifique. Usant de métaphores et de parallèles avec les capacités cognitives humaines, ce courant de pensée flirte avec l'anthropomorphisme, allant jusqu'à identifier dans les tissus des racines des ressemblances anatomiques avec les neurones d'un cerveau humain.

C'est sans doute trop. L'anthropomorphisme est un outil utile quand il est bien dosé. Mais il devient contreproductif lorsqu'il est omniprésent, dans les livres ou les médias, qui usent et abusent de mots et d'analogies scientifiquement discutables. Le choix des mots n'est jamais anodin et substituer « l'amitié » à la « coopération », les « cris » à la « communication chimique volatile », la « prise de décision » à la « réponse adaptée » témoigne de cette volonté affichée d'humaniser les plantes.

Pourquoi vouloir à tout prix comparer les plantes à l'homme ? La science-fiction fait de même avec les formes de vie extraterrestres, comme si l'autre faisait un peu moins peur quand il nous ressemble... Le danger principal de l'anthropomorphisme est de dériver vers l'anthropocentrisme, qui place l'homme au centre du monde, à part (voire au-dessus), comme un modèle absolu à atteindre, dans un refus prétentieux d'en faire une espèce parmi les autres. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. BÉRUT ET AL., Gravisensors in plant cells behave like an active granular liquid, *PNAS*, 1801895115, 2018.

M. AMEYE ET AL., Green leaf volatile production by plants: a meta-analysis, *New Phytologist*, prépublication en ligne, 2017.

M. VAN DER HEIJDEN ET AL., Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future, *New Phytologist*, vol. 205, pp. 1406-1423, 2015.

M. MESCHER & C. DE MORAES, Role of plant sensory perception in plant-animal interactions, *Journal of Experimental Botany*, vol. 66, pp. 425-433, 2015.

L'ESSENTIEL

● Dès le XVIII^e siècle, on a découvert des phénomènes bioélectriques chez les plantes.

● Ils s'apparentent à l'activité de neurones en ce qu'ils consistent notamment en la transmission de potentiel d'action (des inversions locales de polarité électrique des membranes) sur de longues distances.

● Les acteurs moléculaires de ces réseaux de communication sont pour une grande part homologues à ceux des animaux.

● On trouve également leurs équivalents chez les microorganismes : la signalisation électrique serait une modalité très ancienne, datant des premières formes de vie.

LES AUTEURS



FRANÇOIS BOUTEAU
Laboratoire interdisciplinaire
des énergies de demain,
université Paris-Diderot



PATRICK LAURENTI
Laboratoire interdisciplinaire
des énergies de demain,
université Paris-Diderot

La neurobiologie végétale, une idée folle ?

La transmission de signaux électriques sur de longues distances n'est pas l'apanage des neurones des animaux. Des phénomènes similaires ont cours chez les plantes, et seraient même partagés par l'ensemble du vivant.

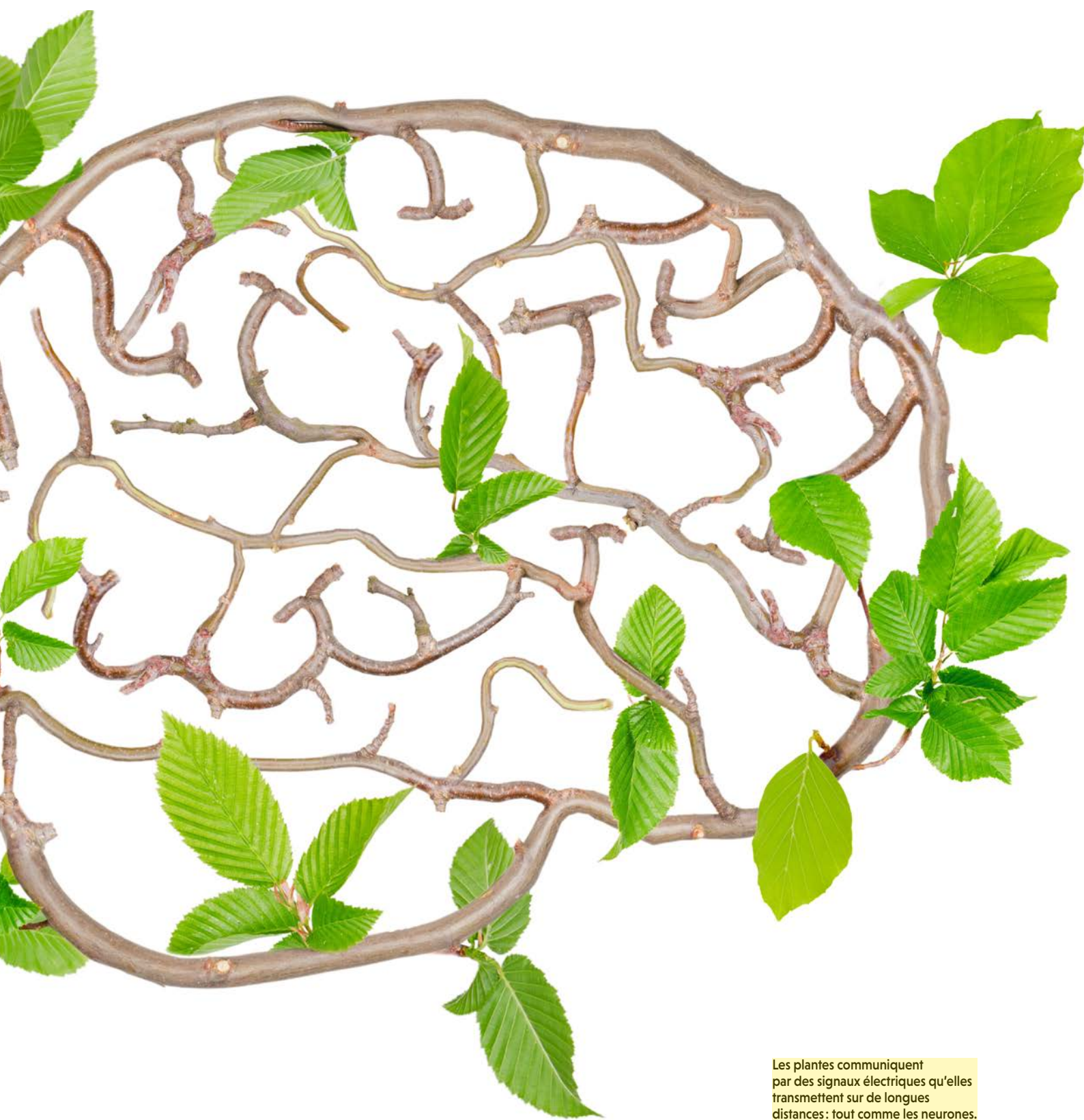
D

epuis une décennie, une controverse enflammée fait rage autour de l'idée d'intelligence. Elle oppose les chercheurs qui voudraient la restreindre aux seules activités conceptuelles humaines à ceux qui non seulement l'utilisent pour divers organismes vivants, mais l'octroient aussi volontiers aux systèmes informatiques. À peu près au centre de la mêlée, une

polémique du même ordre se pose sur les « capacités insoupçonnées » des plantes, à partir desquelles certains auteurs n'hésitent pas à en déduire qu'elles sont dotées d'intelligence. Nous n'entrerons pas dans ce débat qui nécessiterait une solide clarification épistémologique du concept d'intelligence.

Néanmoins, un ensemble de données moléculaires, physiologiques et comportementales indiquent qu'un certain nombre de mécanismes neurobiologiques pourraient être partagés par l'ensemble des eucaryotes (les organismes dont les cellules ont un noyau), voire par l'ensemble des organismes vivants. Dès lors, en se plaçant dans le contexte phylogénétique et en abandonnant une vision idéaliste des différentes lignées du vivant, la





Les plantes communiquent par des signaux électriques qu'elles transmettent sur de longues distances : tout comme les neurones.

► neurobiologie des plantes n'est peut-être pas une idée aussi folle qu'on le pense.

Et cette idée n'est pas récente ! Suite aux travaux pionniers de l'Italien Luigi Galvani à la fin du XVIII^e siècle, l'explorateur Allemand Alexander von Humboldt réalisa de multiples expériences concluant à une similarité de la nature bioélectrique des animaux et des plantes. Plus encore, à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, des potentiels d'action, c'est-à-dire des messages électriques qui se transmettent (*voir l'encadré page ci-contre*), furent mis en évidence chez divers végétaux, principalement la dionée et le mimosa pudique. Ainsi, l'excitabilité de certaines cellules végétales serait un moyen de communication intercellulaire chez ces organismes.

Malgré ces démonstrations répétées, le concept de système nerveux végétal perdit de sa popularité à l'occasion de la découverte des hormones végétales. La communauté scientifique opta alors en faveur d'un mécanisme de signalisation chimique. La découverte de potentiels d'action non seulement chez quelques plantes spécialisées, mais chez toutes les autres échappa au final à la majorité des spécialistes des plantes.

COMMUNICATION LONGUE DISTANCE

Pourtant, preuve avait été faite que la signalisation électrique sur de longues distances constitue un moyen efficace de communiquer de cellule à cellule chez l'ensemble des eucaryotes. Chez les plantes, des signaux électriques à propagation rapide sont produits en réponse à de nombreux stimuli : des pluies acides, une irradiation, un choc froid, un stress osmotique (quand les concentrations en composés divers varient notablement d'un côté à l'autre d'une membrane biologique) ou une attaque d'agents pathogènes.

Ces signaux résultent de flux d'ions à travers la membrane cellulaire conduisant à une dépolarisation transitoire locale du potentiel électrique de la membrane, cette variation dépendant du type de stimulus et des ions circulant. Chez les plantes, au moins trois types de signaux électriques se propageant à longue distance ont été identifiés : deux sont typiques des végétaux (les ondes de dépolarisation lente et les hyperpolarisations transitoires), et nous n'en parlerons pas ici, alors que ceux de la troisième catégorie, les potentiels d'action, ont les mêmes caractéristiques (*voir la figure ci-contre*) que leurs homologues du monde animal : ils obéissent à la loi du « tout ou rien », se déplacent à vitesse et

amplitude constantes et sont suivis d'une période réfractaire.

Chez les plantes, les potentiels d'action se propagent sur de longues distances principalement *via* les tubes criblés du phloème dédiés par ailleurs à la sève dite élaborée (*voir les*

Repères, page 6), c'est-à-dire transportant les sucres. Ces canaux tissent un réseau de câbles au travers de tout l'organisme. Ces potentiels d'action sont caractérisés, comme dans les cellules animales, par une phase de dépolarisation rapide du potentiel membranaire suivi d'une phase de repolarisation tout aussi rapide.

Toutefois, les ions impliqués diffèrent. En effet, chez les plantes, la phase de dépolarisation des potentiels d'action ne résulte pas d'un mouvement d'ions sodium (Na^+), ceux-ci étant toxiques pour la plupart des cellules végétales, mais d'ions calcium (Ca^{2+}). Lors de l'initiation de la dépolarisation, des canaux favorisent l'augmentation de la concentration en Ca^{2+} dans le cytoplasme induisant l'ouverture d'autres canaux qui laissent passer des ions chlorures (Cl^-) responsables de la phase de dépolarisation proprement dite. Enfin, un troisième type de canaux s'ouvre aux ions potassium (K^+) et déclenche la phase de repolarisation.

Dès que le stimulus atteint une intensité critique, un seuil (c'est la règle du « tout ou rien »), le potentiel d'action s'autoperpétue et se déplace le long des tubes criblés du phloème : le signal est envoyé. Il peut également être transmis sur de plus courtes distances au travers des pores (des plasmodesmes) entre cellules adjacentes, de façon similaire à la transmission par des synapses électriques.

CHEZ LES PLANTES, AU MOINS TROIS TYPES DE SIGNAUX ÉLECTRIQUES SE PROPAGEANT À LONGUE DISTANCE ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS

