



Stefano Mancuso, promoteur de la « neurobiologie » végétale, au département d'horticulture de l'université de Florence. MASSIMO SESTINI

SABAH RAHMANI

Plus de doute, les plantes savent communiquer! Loin des clichés sur les plantes vertes et passives, la biologie végétale ne cesse d'observer depuis une quinzaine d'années des facultés surprenantes que l'on croyait réservées au monde animal. Elles communiquent entre elles et avec des insectes, « appellent » la pluie, élaborent des stratégies pour combattre des agresseurs, alertent leurs voisines en cas de danger, gardent des événements en mémoire, et, à la grande surprise des chercheurs, sont parcourues de signaux électriques mystérieux.

« Certains aspects sont connus depuis longtemps : les fleurs sentent bon pour attirer les pollinisateurs, les fruits sont colorés et parfumés pour attirer les animaux qui dispersent les graines, rappelle Francis Hallé, botaniste, ancien enseignant à l'université de Montpellier et auteur de *Plaidoyer pour l'arbre* (Actes sud, 2005). Mais ce qui est intéressant et nouveau, c'est la communication entre les plantes elles-mêmes. » Le premier exemple, et sans doute le plus spectaculaire, fut découvert dans les années 1990, lorsque le biologiste sud-africain Wouter Van Hoven montra que des acacias avaient tué près de 3 000 koudous dans les ranchs! Les arbres s'étaient mis à produire plus de tanins (molécules au goût amer) pour rendre toxique la digestion des feuilles par ces herbivores trop nombreux qui menaçaient la survie des végétaux. Les branches blessées émettaient alors un gaz volatil, l'éthylène, pour prévenir les autres acacias du danger afin qu'ils enclenchent à leur tour leur système de défense avant même l'arrivée des koudous.

Plus tard, en 2015, des chercheurs ont publié une étude étonnante sur le cas de cyprès qui résistent au feu. Le botaniste espagnol Bernabé Moya avait constaté en 2012 qu'à la suite d'un incendie dans la région de Valence, seuls 12 cyprès méditerranéens sur 946 avaient brûlé, alors que les autres végétaux s'étaient bien moins défendus. Comment l'expliquer? Côté plante, on a observé que le cyprès (*Cupressus sempervirens*) est très résistant à l'inflammation en raison de la constitution de ses feuilles : ses « écailles » sont capables de retenir l'eau, avec 84% à 96% d'humidité, même par temps sec et chaud. Le cyprès met sept fois plus de

# Les plantes Ces grandes communicantes

BIOLOGIE

Les végétaux échangent des informations, s'adaptent aux situations de crise, dorment, mémorisent, attirent la pluie... Une source d'émerveillement autant que d'interrogations pour les chercheurs

temps à brûler qu'un pin. Côté sol, les feuilles sèches forment une litière épaisse qui retient l'eau. Enfin, côté ciel, quand le feu approche et que la température du cyprès atteint 60 °C, celui-ci dégage dans l'atmosphère des composés volatils et semble prévenir ses congénères, qui libèrent aussi des molécules avant même que leur température n'augmente : « Les feuilles sont composées, outre la cellulose et de la lignine, leurs éléments de structure, d'un mélange organique de résines – composés de terpènes, etc. – qui, lorsqu'il est libéré dans l'atmosphère, se transforme en composés organiques volatils », explique Bernabé Moya. En se libérant d'une partie de sa résine inflammable, le cyprès réduit fortement ses risques de brûler.

« Les plantes, organismes sessiles, enracinés, ne sont pas capables de battre en retraite ou de s'enfuir, mais elles peuvent modifier leur métabolisme pour s'adapter aux variations de l'environnement », souligne Daniel Chamovitz, biologiste à l'université de Tel-Aviv. Et parfois ce sont elles qui modifient leur environnement! Les recherches récentes ont montré que

la formation des nuages n'était pas seulement le fruit de l'humidité dans l'atmosphère dégagee par les végétaux. En 2014, l'agronome brésilien Antonio Donato Nobre a confirmé, dans un rapport scientifique intitulé « L'avenir climatique de l'Amazonie », que « les arbres amazoniens

**Dans les années 1990, le biologiste sud-africain Wouter Van Hoven a montré que des acacias avaient tué près de 3 000 koudous dans les ranchs**

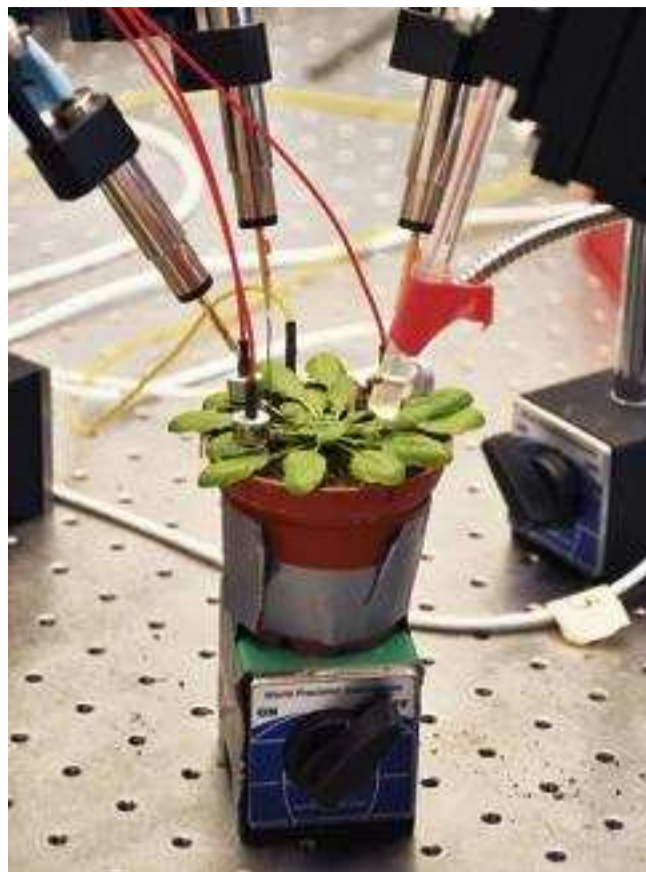
émettent des substances volatiles qui agissent comme précurseurs, des sortes de "graines" qui aident à la condensation de la vapeur d'eau ». Pour le chercheur, « l'efficacité de ces particules dans la nucléation des nuages provoque des pluies

abondantes et bénéfiques ». Pour Francis Hallé, « c'est très intéressant et complexe sur le plan chimique car chaque espèce d'arbre a son propre parfum, son propre message, pour attirer la pluie ».

La communication biochimique complexe des plantes est encore loin d'avoir dévoilé tous ses secrets. Mais plus encore, c'est l'électrophysiologie des végétaux qui suscite régulièrement la surprise des chercheurs. Si on savait que les plantes ont une activité électrique, on a longtemps sous-estimé son importance. Les plantes blessées, par exemple, émettent des signaux électriques qui les traversent. Pourquoi et comment? Au département de biologie moléculaire de la plante à l'université de Lausanne, l'équipe dirigée par le professeur Edward Farmer s'est demandé « si ces signaux électriques générés quand on blesse la plante peuvent déclencher des mécanismes de défense ». Car les protéines de défense sont non seulement produites dans les parties attaquées, mais aussi dans les parties saines de la plante.

Grâce au modèle de l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), l'équipe a réussi à identifier les gènes qui déclenchent le signal électrique et à confirmer le lien avec l'activation de protéines de défense loin de la blessure. Les résultats publiés en 2013 dans *Nature* identifiaient trois gènes GLR (*glutamate receptor-like*), semblables à ceux des animaux, impliqués dans ce processus électrophysiologique. « Ce qui est surprenant, c'est que ces gènes sont très similaires aux gènes activés dans les synapses rapides du cerveau humain, alors qu'une plante n'a aucun neurone. C'est très intrigant et stimulant », s'enthousiasme Edward Farmer. Il explique que toute cellule biologique a un potentiel électrochimique de membrane qui agit comme une petite pile polarisée, mais la transmission électrique d'une cellule végétale à l'autre sur une longue distance reste une énigme. Avec une moyenne de 8 à 10 cm par minute – « un peu la vitesse d'une chenille qui marche sur une feuille » – le signal électrique a une vitesse hétérogène et « cet entre-deux est un vrai casse-tête pour la recherche », ajoute-t-il.

Les hypothèses se focalisent sur le système vasculaire de la plante, composé du phloème (tissu conducteur de la sève élaborée depuis la feuille vers le reste de la plante) et du xylème (tissu conducteur de la sève brute – eau et sels minéraux – depuis les racines jusqu'au reste de la plante). Selon Farmer, « de nombreux chercheurs pensent que c'est l'un ou l'autre qui agit



Une arabette des dames, dans le laboratoire d'Edward Farmer, à l'université de Lausanne. UNIVERSITÉ DE LAUSANNE



Feuille sensible de « Mimosa pudica » après stimulation. MURIEL HAZAN/BIPHOTO

dans la transmission électrique, mon laboratoire pense que ces deux types de cellules travaillent ensemble pour l'envoi du signal. Mais on ne sait toujours pas qui fait quoi.

Les nombreuses et déroutantes similitudes entre l'activité électrique des plantes et le système nerveux des animaux suscitent encore des débats, parfois houleux, dans la communauté des biologistes. Bien avant les travaux d'Edward Farmer, Stefano Mancuso, de l'université de Florence, et Frantisek Baluska, de l'université de Bonn, soulignaient dans leurs travaux l'importance de l'activité « synaptique » des plantes. A tel point qu'en 2005, Mancuso utilise pour la première fois l'expression « neurobiologie » végétale en fondant avec Baluska le Laboratoire international de neurobiologie végétale, à Sesto Fiorentino, près de Florence. Mais pour Farmer, pas question d'utiliser ce terme car la plante n'a pas de neurones.

A contrario, Baluska souligne que « ce qui est important, c'est que la plupart des molécules responsables de la communication et des activités neuronales dans le cerveau humain sont aussi présentes chez les plantes, avec des fonctionnements très similaires. Le processus est très proche et implique d'une certaine manière que les plantes ont aussi des processus d'information, de mémoire, de décisions, de résolution de problèmes ». Mais comment expliquer ce mécanisme alors que la plante n'a pas de cerveau ? « Les plantes sont capables de produire et d'émettre des signaux électriques sur toutes les cellules de leur corps. De ce point de vue, il y a une sorte de cerveau diffus, alors que chez les animaux tout est concentré dans un seul organe », détaille Stefano Mancuso.

Directeur de recherche à l'INRA, Bruno Mouliat, quant à lui, relativise : « Le piège des végétaux est qu'ils assurent de nombreuses fonctions – comme le mouvement, le vasculaire, le musculaire – avec les mêmes tissus. La question de l'activité synaptique des plantes est troublante, mais on ne peut pas encore trancher. »

A l'instar de Darwin, qui comparait l'action des racines à celle du cerveau animal, les partisans de la neurobiologie ont souvent concentré leurs recherches sur les racines. Dans l'un de leurs articles, publié en 2013, Mancuso et Baluska insistent sur le fait que les apex racinaires – les extrémités – ont « une très grande sensibilité aux stimuli environnementaux ». « La pointe de racine [la coiffe] agit comme l'organe sensoriel le plus important de la plante ; elle détecte des paramètres physiques divers telles que la gravité, la lumière, l'humidité, l'oxygène et les nutriments inorganiques essentiels », expliquent-ils. Les racines poussent ainsi plus vite que la partie aérienne de la plante. Ils ajoutent que les cellules de la « zone de transition » sont « très actives dans le réarrangement du cytosquelette, le transport de molécules

séismes, ces phénomènes seraient dus à la réception d'un signal électromagnétique par les racines de l'arbre. Mais l'étude de ce mécanisme ne permet pas encore de localiser l'épicentre et l'ampleur d'un séisme.

La mémoire des plantes, elle, n'est plus un tabou. De nombreuses études ont montré que les plantes sont capables de se souvenir d'un stress (climat, torsion, etc.) et de s'adapter à leur environnement. Cette mémoire varie de quelques jours à une quarantaine de jours pour le *Mimosa pudica*, par exemple, qui selon l'équipe de Mancuso montre aussi des capacités d'apprentissage. Pour autant, Francis Hallé prévient qu'il ne s'agit pas d'une « mémoire ou d'un apprentissage comparable aux nôtres. Une plante que vous n'arrosez que rarement, par exemple, aura l'habitude de vivre au sec, elle s'en « souvient ». Par contre, si vous l'arrosez beaucoup, eh bien, le jour où vous ne l'arrosez plus, elle meurt. Car la plante dépend aussi de ce qu'il lui est arrivé dans les époques antérieures ».

Cette mémoire est généralement activée avec l'expression d'un gène jusqu'alors inactif. « Les gènes peuvent être modifiés chimiquement par des facteurs environnementaux tels que le stress, et ces modifications épigénétiques peuvent dans certains cas être transmises à la génération suivante. Cette sensibilité du génome est surprenante et nous commençons à peine à explorer la portée du contrôle épigénétique du développement de la plante », explique Lincoln Taiz, professeur émérite à l'université de Californie. Si l'être humain a près de 25 000 gènes, les végétaux en ont souvent beaucoup plus, comme le riz, qui en compte plus de 40 000. Alors que l'animal a la possibilité de se déplacer, la plante a finalement trouvé ses réponses dans la richesse et la variabilité génétique. « Un gage de longévité », assure Francis Hallé, pour qui le plus important reste sans doute encore à découvrir. ■

### Au Japon, des chercheurs ont observé, quelques jours avant un séisme, une activité électrique anormale des arbres, qui s'intensifie à l'approche du jour J

[endocytose] et le recyclage des vésicules d'endocytose, ainsi que dans les activités électriques ». Ils supposent, en conclusion, que « la zone de transition » de la racine agit comme « une sorte de centre de commandement » de la plante.

Au Japon, des chercheurs ont ainsi observé depuis longtemps, trois ou quatre jours avant un séisme, une activité électrique anormale des arbres qui s'intensifie à l'approche du jour J. D'après les dernières mesures de Yoshiharu Saito, directeur de l'Institut technique de l'environnement et des prévisions des

## Des capacités sensorielles étonnantes

Dites-vous bien une chose : les plantes vous voient. Elles savent même si vous portez une chemise bleue ou rouge, si vous avez repeint votre maison ou déplacé leur pot d'un bout à l'autre du salon », écrit Daniel Chamovitz, biologiste à l'université de Tel-Aviv, dans son ouvrage très sérieux *La Plante et ses sens* (Buchen-Chastel, 2014). Elles n'ont pas d'yeux et pourtant elles voient, elles n'ont pas de nez et pourtant elles sentent, elles n'ont pas d'oreilles et pourtant elles réagissent au son... Les plantes ont une vingtaine de capacités sensorielles. Grâce à plus de 700 capteurs répertoriés dans le monde végétal, elles analysent en permanence leur environnement pour mesurer la température, l'humidité, la lumière, etc.

*Mimosa pudica*, souvent citée en exemple, est l'une des rares espèces végétales à réagir dès qu'on

la touche en refermant ses feuilles. Contrairement à celui des plantes carnivores, son mouvement est une réaction défensive. Plus insolite, la « plante qui danse » (*Desmodium gyrans*) est sensible à la musique ! Cette légumineuse d'Asie agite ses folioles dès que de la musique ou des ondes sonores comme la voix lui parviennent. « Plus on répète la musique, mieux elle bouge. Elle devient une ballerine, s'amuse le biologiste Francis Hallé. Mais nous ne savons pas comment ça marche ni à quoi ça sert. »

#### Le sommeil des végétaux

Le sujet est délicat : la communauté des biologistes est mal à l'aise lorsqu'on parle de musique et de plantes. Depuis les années 1960, diverses expériences menées par des amateurs ou des chercheurs peu estimés par leurs pairs soumettent les plantes à divers styles de musique pour étudier leur réaction. Les

résultats font bondir le milieu académique : le classique et le jazz favoriseraient la croissance des plantes alors que le metal les tuerait ! Plus sérieusement, il est certain que les perceptions sensorielles des végétaux sont très sophistiquées et souvent beaucoup plus complexes que chez les humains.

L'arabette des dames a, par exemple, au moins onze photorécepteurs différents, situés sur différentes parties de la plante, alors que les humains en ont quatre, situés dans les yeux. En étudiant le phototropisme, Darwin avait déjà découvert qu'une plante dont on a coupé ou occulté le bourgeon n'est plus sensible à la lumière. Mais les recherches ultérieures ont montré que les feuilles jouent aussi un rôle.

Si on fait pousser une plante à l'horizontale, elle se redresse, car la plante a aussi le sens de l'orientation et celui de la gravité. Or des expé-

riences ont montré que cela ne suffit pas, car « les plantes combinent leurs perceptions », explique Bruno Mouliat, qui travaille sur la biomécanique des plantes à l'INRA. « Ce qui est nouveau, c'est qu'elles perçoivent aussi leur état propre, par exemple leur forme, en rapport avec l'environnement. C'est ce qu'on appelle la proprioception. »

Certains laboratoires, comme à l'université de Sendai, au Japon, travaillent sur le sommeil des végétaux. Il ne s'agit pas ici de cycle saisonnier annuel, mais du sommeil nocturne pour tenter de comprendre l'horloge interne de la plante. Le monde végétal regorge encore de nombreuses énigmes, comme celle que posent certains arbres dits « timides », qui laissent toujours quelques centimètres entre leurs cimes sans jamais se toucher lorsqu'ils sont regroupés entre individus de la même espèce. ■ S. R.A.

## Sensibilité ou intelligence ?

Je pousse donc je suis ? Depuis une dizaine d'années, un vif débat sur l'intelligence des plantes anime la communauté des biologistes spécialistes du monde végétal. Hérésie, crient les uns, vérité, affirment les autres. A la tête des seconds, Stefano Mancuso, fondateur du Laboratoire international de neurobiologie végétale, persiste et signe dans son dernier ouvrage, *Brilliant Green* (Michael Pollan, 2015, non traduit) : « Les études les plus récentes du monde végétal ont démontré que les plantes sont sensibles (et donc sont douées de sens), qu'elles communiquent (entre elles et avec les animaux), dorment, se souviennent et peuvent même manipuler d'autres espèces. Elles peuvent être décrites comme intelligentes. »

Chez les chercheurs interrogés sur le sujet, le malaise est systématique. Déjà en 2008, trente-six biologistes européens et nord-américains avaient signé un manifeste publié dans *Trends in Plant Science*, menés par l'Italien Amedeo Alpi (université de Pise), pour dénoncer l'emploi du mot « neurobiologie », qui sous-entendrait une intelligence des plantes. Il faut dire qu'un traumatisme a longtemps ébranlé les biologistes végétaux. En 1973, la sortie du livre *The Secret Life of Plants*, de Peter Tompkins et Christopher Bird (*La Vie secrète des plantes*, Robert Laffont, 1975), soutenait la thèse selon laquelle les plantes nous sont semblables. Ce best-seller a suscité pour longtemps un regard suspicieux sur la discipline.

#### Anthropocentrisme

Pour le botaniste Francis Hallé, « le terme intelligence n'est pas adapté aux plantes, mais aux animaux et aux êtres humains », même s'il reconnaît que « la plante qui n'a pas de cerveau est capable de manipuler un animal qui en a un ». Daniel Chamovitz (université de Tel-Aviv) préfère décrire la plante comme « consciente de son environnement ». Edward Farmer (université de Lausanne) ne souhaite surtout pas être « associé à ces chercheurs qui disent que les plantes sont intelligentes ». Même s'il confie avec humour que les capacités des plantes sont si « fabuleuses et tellement différentes de nous que parfois [il] les regarde comme des extraterrestres ! Mais il ne [lui] vient pas à l'esprit de les comparer aux êtres humains, car ce serait anthropocentrique ». Idem pour Lincoln Taiz (université de Californie), qui met ses confrères en garde contre « les métaphores anthropomorphiques ».

Pour Stefano Mancuso, « essayer de vous sentir différent du reste de la nature est une attitude stupide. Il est évident que l'homme fait partie de la nature, il n'a rien de plus important que les autres organismes au niveau biologique. C'est vraiment un point de vue incroyablement anthropocentrique de porter ce regard sur la nature ». Chaque partie accuse donc l'autre d'anthropocentrisme !

Pour sortir de l'impasse, nous avons interrogé Philippe Descola, anthropologue et professeur au Collège de France : « Il n'existe pas de définition anthropologique de l'intelligence, et pas d'universalité de l'idée de l'intelligence non plus. » Mais il rappelle que, dans la tradition occidentale, le naturalisme domine le champ de pensée, avec l'idée que « l'humain se distingue du reste du monde par le fait qu'il aurait des dispositions cognitives et morales particulières que l'on dénie aux non-humains. Il subsiste dans notre schéma mental la hiérarchie des êtres d'Aristote, qui place les plantes au-dessous des animaux et des humains ».

Signataire du manifeste d'Alpi en 2008, Lincoln Taiz reconnaît aujourd'hui que « la définition de l'intelligence a maintenant été élargie pour inclure l'intelligence en essaim » dans les organismes sociaux et l'intelligence artificielle dans les machines. Donc, il est juste d'utiliser l'expression « intelligence des plantes », tant que l'on prend soin de la distinguer de l'intelligence animale, qui exige un système nerveux. « Les frontières tombent, c'est très intéressant car on ne sait pas trop où l'on va », dit Philippe Descola, qui voit ce débat comme une marque probable de la fin du cycle naturaliste dans les sociétés occidentales. ■