

UN RÈGNE VÉGÉTAL À REPENSER

Si le comportement intelligent des plantes est enfin admis, les ressorts de cette intelligence à part posent d'épineuses questions.

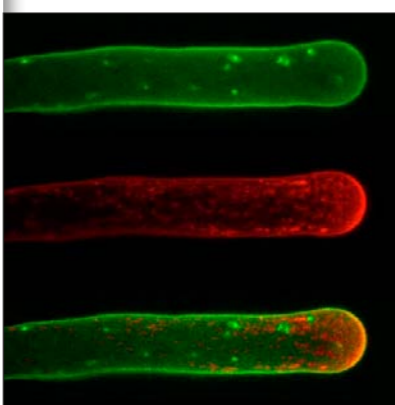
Enthousiasme et fébrilité. Voilà les deux mots résumant le mieux l'ambiance actuelle dans une biologie végétale électrisée par dix ans de découvertes (voir pp. 50-53), lesquelles ont définitivement enterré l'image dépassée de la "plante automate". Résultat : alors qu'en temps ordinaire un scientifique ne s'engage que prudemment derrière une hypothèse hardie, dans une "manip" novatrice ou dans l'invention d'un nouveau mot, les chercheurs semblent ici désinhibés : ils foncent tous azimuts... et souvent avec succès !

Susan Dudley en apporte un témoignage parmi tant d'autres, elle qui prouva la première, en 2007, que les plantes étaient capables de reconnaître leurs parentes. Elle a eu récemment, avec son étudiante Amanda File, l'idée d'observer si les plantes s'associent davantage à des champignons amis (formant ce qu'on appelle des mycorhizes) lorsqu'elles sont entourées de "sœurs" plutôt que d'"étrangères". "Une mycorhize met en contact des plantes voisines, ce qui instaure entre elles un partage des ressources, explique Susan Dudley. Il s'agit donc d'une stratégie qui expose au risque d'être victime de tricheurs biologiques, et il nous semblait logique qu'une plante préfère l'engager avec une parente."

Rapidement, les deux chercheuses conçoivent un protocole à partir de l'ambrosie, une banale mauvaise herbe... et bingo ! "La réponse a dépassé nos espérances : 154 % de colonisation supplémentaire par les champignons lorsque les plantes sont parentes !", s'étonne encore la cher-

cheuse. Publiée en septembre 2012, l'expérience confirme que les plantes sont capables d'être plus "partageuses" avec leurs sœurs qu'avec les étrangères.

Des "manips" comme celle-ci, il ne se passe plus un mois sans qu'il s'en monte une nouvelle. Ce qui ne doit pas cacher la situation : énormément de questions demeurent sans réponse. Paradoxalement, la période actuelle, si féconde en découvertes, révèle aussi l'étendue de notre ignorance, faisant flamber des débats parfois orageux. Il est même rare, dans une discipline, de voir autant de désaccords sur des sujets clés entre chercheurs de premier



plan ! Certes, la vision ancienne de la "plante automate" est bel et bien morte. Et les plantes apparaissent désormais extraordinairement sensibles et dynamiques. Mais le consensus s'arrête là, et il est encore impossible de faire un portrait précis de la "plante nouvelle" qui émerge de la recherche.

Parmi les zones d'ombre, il y a le mécanisme par lequel les plantes se reconnaissent entre elles. D'où peut leur



« Bien que controversée, la neurobiologie végétale est désormais un domaine de recherche, qui étudie notamment les cellules à l'extrémité des racines (à g.), possibles "neurones" des plantes.

venir cette faculté ? La réponse semble être du côté des exsudats, ces cocktails de molécules secrétées par les racines, dont les fonctions sont multiples, allant de la dissolution de la roche à la nutrition des bactéries amies. Sauf qu'aucune molécule "d'identité" n'a encore été identifiée dans les exsudats, ni pour la reconnaissance du soi, ni pour celle de parenté ou d'espèce. Les chercheurs ne sont même pas sûrs que d'autres supports que chimiques ne soient pas impliqués : ainsi, une plante dont les racines rencontrent celles d'une autre plante génétiquement identique, mais physiquement séparée (une bouture), la traite comme une étrangère.

De même, l'échange de messages entre végétaux, s'il est prouvé, n'en reste pas moins énigmatique. On sait que les plantes émettent des composés volatils en permanence, et qu'à chaque stress, la composition de ce "cocktail" change. Mais hormis celles destinées à attirer les insectes, on ignore la fonction de ces centaines de molécules...

UN LANGAGE... MAIS LEQUEL ?

Seraient-elles porteuses d'informations complexes destinées aux autres plantes, constituant ainsi un véritable langage ? Ou ont-elles d'autres fonctions – voire aucune ? Le débat n'est pas tranché. La notion de langage végétal a

ses sceptiques et ses partisans. Susan Dudley fait partie des premiers, arguant que seuls deux récepteurs de signalisation aérienne entre plantes ont été identifiés au bout de trente ans de recherche – pour l'éthylène et le méthyl-jasmonate. "Le langage des plantes se ramènerait plutôt, selon moi, à l'utilisation d'une ou deux notes", estime-t-elle. Prudente, elle n'exclut toutefois pas que de nouveaux composés servant à la communication soient découverts, mais pense qu'il faut "commencer par faire l'hypothèse de la simplicité".

A l'inverse, Ian Baldwin a constaté que, placés sous le vent de congénères "muets", génétiquement modifiés pour

ne plus émettre de composés volatils baptisés GLF, les plants de tabac sauvage réduisent considérablement leur propre activité génétique. "Le silence de leurs voisins les fait taire, c'est donc bien qu'ils entendent !", s'enthousiasme le chercheur. Pour l'instant, nous ne savons pas ce qui sert de nez aux plantes, mais je vous parie que nous allons découvrir cela dans la prochaine décennie !"

Troisième grande incertitude, particulièrement polémique : les plantes ont-elles une neurobiologie ? Soit l'équivalent d'un système nerveux, permettant à l'information de circuler sous forme électrique ? François Bouteau, →

→ directeur du Laboratoire d'électrophysiologie des membranes (LEM), à l'université Paris-Diderot, pense que oui. "La communication électrique chez les plantes et la circulation de messages via des ondes de dépolarisation membranaire ont été mises en évidence il y a des années, rappelle-t-il. Et l'on sait désormais qu'il y a chez les plantes des phénomènes d'exocytose et d'endocytose, soit d'expulsion et d'absorption membranaires de molécules, qui rappellent beaucoup les synapses nerveuses des animaux. Certes, les plantes n'ont ni neurones, ni synapses, ni organe qu'on puisse qualifier de cerveau; chez elles, tout va bien plus lentement... mais on peut bel et bien parler de neurobiologie végétale."

TOUJOURS TROP PEU DE PREUVES

"Neurobiologie végétale": le mot est lâché. A elle seule, cette expression a déclenché une levée de boucliers. Et ce, depuis qu'elle a été forgée par l'Italien Stefano Mancuso, de l'université de Florence, et le Slovaque František Baluška, professeur à l'université de Bonn, cofondateurs en 2005 de la Société pour une neurobiologie végétale. Une tribune, signée de 36 chercheurs issus d'institutions prestigieuses, de Yale à Oxford, en passant par l'Institut national pour la recherche agronomique, est aussitôt venue pourfendre les hérétiques, coupables "d'analogies superficielles" et "d'extrapolations discutables". Pour eux, l'activité électrique détectée chez certaines plantes est trop rudimentaire et chaotique pour justifier l'emploi du mot "neurobiologie". Face à la polémique déclenchée, le tandem italo-slovaque et ses partisans ont finalement baissé pavillon et rebaptisé leur société "Signalisation et comportement des plantes". Tout en restant persuadés que la neurobiologie végétale existe, et qu'elle finira par s'imposer.

Quelques années après l'empoignade, le débat persiste concernant l'importance de la communication électrique entre les plantes: jusqu'où

6 raisons de chercher le "cerveau" des plantes dans leurs racines

Difficiles à étudier car enfouies sous terre, les racines des plantes ont longtemps été négligées. Aujourd'hui pourtant, on examine de plus en plus leur grande sensibilité et leurs comportements sophistiqués et souvent coordonnés. Siège d'une activité chimique et électrique importante, capables d'envoyer des signaux aux tiges et aux feuilles comme d'en recevoir, elles sont vues par certains comme le "cerveau décentralisé" des plantes, qui contrôle l'ensemble de leurs activités.

1. Les racines sont toutes interconnectées

Les racines convergeant toutes vers la base de la tige, chacune d'entre elles est en relation avec toutes les autres. Elles forment donc un réseau où circulent sans cesse, dans toutes les directions, informations et nutriments.

2. Elles intègrent les nombreux signaux reçus

Les racines intègrent et combinent de façon complexe les différents signaux qu'elles reçoivent, afin de produire un comportement; certains signaux sont jugés prioritaires. La détection de rivaux, par exemple, modifie les stratégies d'exploration.

permettrait-elle de parler de neurobiologie végétale? "Le problème, explique Ian Baldwin, qui y croirait plutôt, c'est qu'il est difficile de prouver que l'activité électrique des plantes, qui est indiscutable, transmet des messages

COMMENT UNE PLANTE PEUT-ELLE ÊTRE INTELLIGENTE? TEL EST LE MYSTÈRE

– et encore moins d'en comprendre le sens. Contrairement à l'activité chimique, pour laquelle nous pouvons supprimer des gènes, personne n'a trouvé le moyen d'interrompre

l'activité électrique d'une plante et de regarder le résultat, sauf à l'endommager gravement." Susan Dudley, elle, reste plus réservée sur l'existence de ces signaux. Elle estime en outre que lancer des termes conflictuels comme "neurobiologie végétale", terme "que certains collègues haïssent", provoque des polémiques inutiles qui empêchent d'avancer.

Ces trois incertitudes – reconnaissance, langage chimique et neurobiologie – s'inscrivent dans ce qui reste le grand mystère du monde végétal: celui de la nature et du siège de l'intelligence des plantes. Comment intègrent-elles les centaines d'informations qu'elles reçoivent? Comment se

coordonnent-elles, se synchronisent-elles, se régulent-elles de façon optimale: en un mot, comment chacune de leurs branches, tiges, feuilles, se comporte-t-elle en tant que partie d'un tout intelligent? Peut-on faire tout cela sans un cerveau, fût-il différent? Et si cerveau il y a, où se cache-t-il?

A ces questions, les tenants de la neurobiologie végétale ont une réponse fascinante, quoique contestée – empruntée du reste à Darwin (voir l'encadré ci-contre). Les plantes auraient un cerveau distribué, situé à l'extrémité des racines. Ils argumentent que la pointe de chaque racine possède une zone dite "de transition", située entre le premier et le second

3. Elles ont un pic d'activité électrique aux extrémités

La zone de transition, située entre le 1^{er} et le 2nd millimètre de l'extrémité de chaque radicelle, est parcourue par des courants de faible intensité. C'est la partie de la plante où se déroule la plus forte activité électrique, celle qui consomme le plus d'oxygène.

4. Elles échangent des signaux électriques et chimiques

Avec la sève circulent de multiples molécules qui vont des feuilles et des tiges vers les racines, et inversement. Des signaux électriques ont également été mis en évidence, par exemple pour transmettre aux feuilles l'ordre d'évaporer moins d'eau en cas de sécheresse.

5. Elles adaptent leur croissance

La croissance des racines varie constamment. Selon les informations reçues, elles changent d'orientation, accélèrent, ralentissent, se ramifient... En revanche, si la pointe de la racine est coupée, la croissance est uniforme.

1 mm

Radicelle

Méristème

Zone de transition

Zone d'allongement

Canaux conducteurs

6. Elles sont très riches en capteurs de toutes sortes

On sait déjà que les racines sont sensibles à la température, à l'humidité, aux nutriments du sol, aux signaux émis par leurs congénères ainsi que par les bactéries et champignons du sol. Elles distinguent le haut du bas, fuient la lumière, et réagissent même à certains sons!

DARWIN, DÉJÀ, LE DISAIT...

"C'est à peine une exagération de dire que la pointe de la radicelle, ayant le pouvoir de diriger les mouvements des parties adjacentes, agit comme le cerveau des animaux inférieurs, ce cerveau étant localisé dans la partie antérieure du corps, recevant les impressions depuis les organes des sens, et dirigeant l'ensemble des mouvements", écrivait, dès 1880, Charles Darwin dans *La Puissance du mouvement chez les plantes*. →

→ perdu toute sensibilité à l'environnement, sa "zone de transition" ayant disparu.

"L'hypothèse de la racine-cerveau", défendue par Mancuso et Baluška, est que puisque les centres intégrateurs de chaque racine sont tous interconnectés (car toutes les racines convergent), ils fonctionnent en réseau. Même s'ils sont rudimentaires et de petite taille, leur nombre – des millions, chaque racine étant hérissée d'une cohorte de radicelles à peine visibles – leur permet d'agir comme un cerveau décentralisé. Un cerveau dont les propriétés restent à explorer, de même que la nature exacte des signaux qui le parcourent – selon les deux chercheurs, à la fois électriques et hormonaux –, mais qui est capable de "décider" si et quand il faut faire des réserves, devenir toxique, investir dans les racines, se reproduire, etc. La plante bénéficierait ainsi de l'intelligence collective de ses racines, ce qui expliquerait son comportement complexe; un peu comme une colonie de fourmis parvient à avoir des comportements sophistiqués tandis que chaque fourmi individuelle n'a que des réactions élémentaires.

L'expression d'"intelligence végétale", naturellement, fait aussi polémique. Nombre de chercheurs y souscrivent, comme Ian Baldwin, qui précise toutefois "qu'il faut prendre 'intelligence' dans le sens d'une capacité à percevoir son environnement et à s'y adapter finement, c'est-à-dire dans le sens darwinien". A l'inverse, Francis Hallé, l'un des meilleurs connaisseurs français du monde végétal, estime que "le terme 'intelligence' est fâcheux. Il suppose la notion de choix, alors que les plantes agissent automatiquement". Même son de cloche chez Susan Dudley: "Je n'utilise pas le terme 'intelligence', trop chargé affectivement et mal défini. Au mieux, on peut dire que les plantes sont intelligentes comme les ordina-

teurs le sont". Dans un article intitulé "Intelligence des plantes, pourquoi, pourquoi pas, et où", qui s'efforce d'éclaircir ce débat, la chercheuse tchèque Fatima Cvrčková déplore que le mot "intelligence" soit devenu "au mieux un synonyme d'efficacité darwinienne, au pire une métaphore décorative". Mais ses efforts pour définir des critères rigoureux, incluant la mémoire et les capacités d'appren-

On ne peut qualifier que d'intelligents des comportements aussi sophistiqués

STEFANO MANCUSO
COFONDATEUR DE LA SOCIÉTÉ POUR
UNE NEUROBIOLOGIE VÉGÉTALE

NEUROBIOLOGIE VÉGÉTALE: LÂCHÉ DES 2005, LE TERME CONTINUE DE DIVISER

tissage, finissent par s'enliser: les plantes sont certes douées des deux, mais sous des formes si particulières que le débat continue...

Au cœur des polémiques, il y a d'abord le fait que les mots manquent à cette jeune science pour décrire les réalités découvertes; l'on pioche donc la plupart des termes dans l'univers

animal. Or, plantes et animaux font beaucoup de choses comparables, mais de façons très différentes. Comme l'explique Stefano Mancuso, "les plantes sont des êtres fixés, incapables de fuir. Par conséquent, elles ne construisent pas d'organes. Elles ont une structure modulaire, un peu comme les coraux. Ainsi, si un herbivore arrive et mange 80 % de la plante, les 20 % qui restent survivent. C'est une différence majeure avec les animaux". Du coup, les végétaux accomplissent leurs fonctions sans organes, conclut-il: "Elles respirent sans poumons, détoxifient sans foie, digèrent sans intestin... et ont une intelligence sans cerveau".

Utiliser le même mot pour les deux règnes – peut-on dire que les plantes "parlent", "coopèrent", "savent", "mémo-risent"? – pose donc la vieille question du droit à la métaphore en science. Le grand biologiste Richard Lewontin disait: "On ne peut pas faire de science sans métaphores, mais le prix à payer est une vigilance de tous les instants". En général, on considère légitimes celles qui permettent d'éclairer les observations, de faire des hypothèses fécondes, et pas les autres – autant dire que les critères sont flous...

giste Richard Lewontin disait: "On ne peut pas faire de science sans métaphores, mais le prix à payer est une vigilance de tous les instants". En général, on considère légitimes celles qui permettent d'éclairer les observations, de faire des hypothèses fécondes, et pas les autres – autant dire que les critères sont flous...



Au mieux, disons que les plantes sont intelligentes comme les ordinateurs le sont

SUSAN DUDLEY
BOTANISTE À L'UNIVERSITÉ MCMASTER
(CANADA)

"Intelligence" a ici le sens d'une capacité à s'adapter à son environnement

IAN BALDWIN
CHERCHEUR À L'INSTITUT MAX-PLANCK D'ÉCOLOGIE
CHIMIQUE (ALLEMAGNE)

Mais ce n'est pas qu'une question de mots. Deux visions assez différentes prévalent aujourd'hui au sein de la communauté scientifique. Pour les uns, nous n'avons fait que pousser la porte. Ceux-ci s'attendent à découvrir chez les plantes une multitude de processus de plus en plus proches de ceux en vigueur dans le monde animal: une communication électrique complexe, des capacités de reconnaissance sophistiquées, un langage chimique très élaboré, des sens inédits jusqu'ici (l'ouïe, par exemple, ou la magnétoréception) – voire d'autres capacités, aujourd'hui inimaginables. A terme, on constatera que "la frontière entre plantes et animaux se brouille", comme le dit Francis Hallé, qui assène en passant que "si le riz a deux fois plus de gènes que l'homme, cela montre bien qu'il est au fond plus complexe". Ou même, selon

Jack Schultz, que "les plantes ne sont finalement rien d'autre que des animaux très lents".

Pour les autres, à l'inverse, l'essentiel des grandes surprises du comportement végétal serait déjà derrière nous, et s'il reste une infinité de choses à découvrir, ce sera la compréhension des processus déjà identifiés plutôt que des propriétés nouvelles.

LA PROMESSE D'UN DIALOGUE INÉDIT

Lesquels ont raison? Les années à venir le diront. Même si les progrès de la science se limitent à ce décodage, les conséquences seront déjà énormes. "Nous ne sommes sans doute pas loin de pouvoir commencer à produire des



applications à partir de ce que nous avons appris des plantes, estime James Cahill, de l'université d'Alberta (Canada). Si nous pouvions aider nos espèces cultivées à se reconnaître et à coopérer, tout en se montrant plus agressives avec les mauvaises herbes, par exemple, ou si nous pouvions utiliser nos connaissances sur leurs relations avec les insectes pour résister aux ravageurs, l'agriculture en serait bouleversée." La biologie de la conservation, qu'il s'agisse de lutte contre les espèces invasives ou d'adaptation au changement climatique, est elle aussi un domaine d'application majeur de cette science émergente. Stefano Mancuso voit encore plus loin: "Les plantes détectent les stress environnementaux et les traduisent en langage chimique, plaide-t-il. Décodons leur langage, et nous aurons des capteurs naturels hypersensibles qui nous renseigneront sur notre environnement!"

A l'ère du choc entre une humanité toujours plus nombreuse et une biosphère sous stress, les plantes, qui constituent 99 % de la biomasse du vivant, sont le socle de l'habitabilité de notre planète. Surmonter ce choc en engageant un dialogue inédit entre les humains et les plantes, voilà au fond la promesse de cette révolution des sciences du végétal, née il y a trente ans d'une expérience improbable sur quelques pousses de peupliers. Car entre gens intelligents, l'on finit toujours par réussir à se parler.