

Communication, odorat, mémoire...

L'INTELLIGENCE DES PLANTES ENFIN REVELEE

Qui l'eût cru ! Les plantes ont le sens de l'ouïe, elles savent se mouvoir et communiquer, elles ont l'esprit de famille et elles ont même de la mémoire ! En un mot : ce sont des êtres "intelligents". Telle est l'étonnante découverte de biologistes, dont les travaux révolutionnent totalement notre regard sur le monde végétal. Mieux, ils le réhabilitent dans l'ordre du vivant.

C'était il y a juste trente ans. Alors qu'il est en pleine conversation avec ses étudiants, le téléphone de Jack Schultz, biologiste à l'université américaine de Dartmouth, sonne. Au bout du fil, Jan Baldwin, chimiste doctorant âgé d'à peine 25 ans, que Schultz a recruté pour vérifier ce qui, à l'époque, semble une hypothèse folle : l'existence d'une télécommunication chimique entre végétaux. Le résultat grésille dans le combiné : les arbres testés se sont bel et bien transmis un signal d'alerte par voie aérienne. Baldwin, bouleversé, parvient seulement à articuler : "Les peupliers parlent." Schultz se fige. Ainsi commencent les révolutions scientifiques.

L'expérience, publiée dans *Science* en juillet 1983 sous leurs deux signatures, inaugure un complet bouleversement du regard de la science sur l'univers végétal. En trois décennies, les plantes vont passer du statut d'automates rudimentaires à celui d'organismes à la complexité comparable à celle des animaux ! Sensibilité hors normes, capacités de réaction et de communication multiples, liens sociaux variés... Le comportement des arbres et herbacées se révèle aujourd'hui si subtil qu'il serait aisément qualifié d'intelligent s'il était l'œuvre d'un de ces êtres que l'on dit animés. "Les physiologistes végétaux ont mis vingt ans à cesser de ricaner →

PAR YVES SCIAMA

M. SAEMANN

LES PLANTES UNE COMPLEXITÉ CACHÉE...

Organe
photosynthétique

Tissus
conducteurs

Organe
de fixation

Organe
d'absorption

Deux traits fondamentaux caractérisent les plantes et les distinguent des animaux. Le premier est la photosynthèse, qui leur permet d'accéder à l'énergie solaire, les délivrant du besoin de se nourrir d'autres organismes. Le second est lié au premier : c'est la fixité. Des feuilles, une tige et des racines, voilà donc leur structure de base, avec des variations innombrables. C'est cette fixité qui est la cause de l'extrême complexité des végétaux : ils sont obligés de trouver des réponses métaboliques aux dangers qui les menacent. Ce qui explique pourquoi les plantes ont davantage de gènes que les animaux... Ainsi le riz en a-t-il deux fois plus que l'homme !

→ de la notion de communication végétale!, se souvient Ian Baldwin, aujourd'hui directeur de laboratoire à l'Institut d'écologie chimique Max-Planck, en Allemagne. Car, au fond, cette révolution est venue de spécialistes du comportement animal, notamment David Rhoades, qui nous a inspiré notre expérience. Ils se sont mis à s'intéresser aux plantes et ont exporté leurs méthodes dans une discipline qui n'était pas la leur." Ainsi s'est peu à peu constituée une nouvelle branche de la physiologie végétale, inspirée de la zoologie et basée sur l'observation objective du comportement des plantes. Leur but : comprendre leurs réactions, en chercher les ressorts, questionner leur utilité écologique, leur origine évolutive et les raisons pour lesquelles elles ont été sélectionnées... Autrement dit, une véritable "éthologie végétale", une expression encore difficile à faire accepter.

"Dans les années 1990 encore, les plantes étaient fondamentalement vues comme des objets quasi inertes.

Pour parler de ce qu'elles font, il fallait utiliser du jargon comme 'plasticité adaptative', résume James Cahill, jeune professeur à l'université canadienne d'Alberta. Enfin, depuis dix ans, on ose dire 'comportement végétal'. Et des groupes comme le mien étudient les plantes en posant les mêmes questions que si elles étaient des animaux, cherchant non seulement le comment, mais le pourquoi."

PENDANT VINGT ANS BEAUCOUP ONT RICANÉ, MAIS AUJOURD'HUI ON SAIT QUE LES PLANTES PARLENT !

La greffe a profité des progrès technologiques : c'est grâce à eux que le changement dans les mentalités a pu devenir tangible. La chromatographie en phase gazeuse a permis l'analyse des concentrations ténues des composés émis par les plantes, qui jouent un rôle crucial pour la communication. Les avancées fulgurantes des biotechnologies permettent de fabriquer des

plantes avec des gènes surexprimés, ou éteints, qui renseignent sur leur fonction. Des dispositifs de plus en plus ingénieux permettent d'épier les racines, dont le rôle est essentiel. Les films en accéléré, qui rendent perceptibles les mouvements des végétaux, se sont généralisés...

Cette exploration des capacités sensorielles et comportementales des plantes a d'abord révélé l'extrême sensibilité végétale, "comparable, voire supérieure à celle des animaux", assure Ian Baldwin. A ce jour, plus de

700 sortes de capteurs sensoriels différents ont été recensés chez les plantes : mécaniques, chimiques, lumineux, thermiques... et ils sont en général plus sensibles que les nôtres. Concernant la lumière, les plantes détectent à la fois des longueurs d'ondes (dans l'ultraviolet et dans l'infrarouge) que nous ne voyons pas, et des intensités si faibles qu'elles nous sont imperceptibles. Et

leur sens du toucher est sidérant : elles réagissent à des effleurements insensibles et détectent la moindre inclinaison des branches ou des racines. Quant à la chimie, c'est leur grande spécialité : dans un pré où le nez humain ne sent rien, elles captent en continu des centaines de signaux, comme autant d'indices de ce qui se passe autour.

Au-delà de la perception, l'éthologie végétale a surtout révélé que les plantes agissent, loin de l'image d'objet inerte qui leur colle à la peau, en modifiant sans cesse leur forme et leur composition chimique. "Leurs actions passent inaperçues parce que leurs mouvements sont trop lents pour nous, et que la chimie est invisible sans instruments", explique Stefano Mancuso, professeur à l'université de Florence. On mesure mieux aujourd'hui leur capacité de mouvement, le nombre de gènes impliqués, les multiples capteurs qui leur indiquent leur posture, les petits "moteurs" moléculaires qui les animent... Et on sait qu'une plante peut bouleverser son métabolisme et

se saturer de composés toxiques sans que son apparence change : une bouffée de vent, une morsure d'insecte, un rayon de soleil... au moindre événement, des milliers de gènes végétaux, restés à l'affût, s'allument, fournissant à la demande leurs précieux services.

UNE PANOPLIE DE COMPORTEMENTS

Certains de ces services concernent la communication. Grâce aux bouquets de composés qui s'envolent du feuillage ou des signaux chimiques émis par les racines, les plantes s'envoient des messages à elles-mêmes d'une branche à l'autre, "parlent" à leurs congénères alentour, convoquent les insectes prédateurs de leurs agresseurs. Et ce n'est pas tout. "Elles ont un comportement social, s'enthousiasme Stefano Mancuso. Elles distinguent le soi du non-soi, les membres de leur espèce des autres, et rivalisent plus ou moins âprement avec leurs voisins selon leur degré de parenté. En ce sens, on peut même dire qu'elles forment des familles ou des tribus..."

Des comportements aussi sophistiqués interrogent. Peut-on parler de "cognition végétale"? Si l'intelligence se mesure à de telles capacités d'adaptation aux événements, peut-on comparer leurs capacités intellectuelles à celles de certains animaux? Et si les plantes sont si intelligentes, où se situe leur cerveau? Par ailleurs, de telles découvertes ne nous invitent-elles pas à revoir nos classifications, nos pratiques agricoles, nos politiques de conservation des plantes menacées?

En attendant les réponses, force est de constater que le butin des dernières années de recherche en éthologie végétale est déjà fabuleux. Des expériences très variées, réalisées un peu partout dans le monde sur différentes espèces, révèlent tout une panoplie de comportements qu'il est difficile de ne pas qualifier d'intelligents. Pour en juger, les pages qui suivent vous invitent dans les coulisses enfin révélées de nos jardins, prairies et forêts. Nous nous y sommes trop longtemps promenés ignorants des prodiges qui s'y trament.



La chromatographie en phase gazeuse (en haut) permet aujourd'hui de séparer les composants des mélanges volatils de molécules et de les "trier". Soumises à un spectromètre de masse (à droite), ces molécules sont ensuite identifiées... Grâce à ces deux technologies, on sait désormais comment les plantes communiquent ou se défendent de leurs prédateurs.

Avec l'avènement des biotechnologies, et en fabriquant des plantes OGM dépourvues ou enrichies d'un gène précis (à gauche, du riz), les chercheurs sont à présent capables de décrypter leur rôle exact dans le métabolisme de la plante.



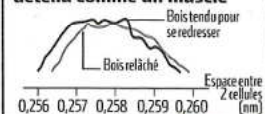
... ENFIN RÉVÉLÉE PAR LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Les chercheurs accèdent enfin à toute la complexité du monde végétal grâce aux nombreux progrès technologiques de ces dernières années.

Les arbres savent très bien se mouvoir

Certes, ils demeurent les racines ancrées dans le sol. Mais, même si cela reste invisible à l'œil nu, les arbres ne cessent de bouger ! Armés d'accélérateurs de particules, et *via* des techniques d'analyse d'images mises au point pour étudier la mécanique des fluides, les biophysiciens sont désormais capables de suivre à l'échelle de la cellule, voire de la molécule, ces mouvements végétaux au fur et à mesure qu'ils se produisent. Et ils découvrent toute la complexité de la dynamique d'un arbre. Les cellules qui constituent son tronc s'allongent et se ramassent en permanence pour corriger sa posture, se servant de la pression qui règne en leur sein comme d'un moteur. En mesurant les dimensions du réseau de cellulose qui structure la paroi des cellules du bois, Bruno Clair, de l'université de Kyoto (Japon), a montré que le pas du réseau (l'espace entre deux cellules) augmente et se réduit en fonction de la pression (voir ci-contre). La paroi joue donc un peu le rôle d'un muscle. *"On a beaucoup négligé la motricité des arbres parce qu'on la confondait avec la croissance, précise le chercheur. Les arbres ne poussent pas seulement : ils se meuvent pour s'adapter à leur environnement."*

Le réseau de cellulose du bois se contracte et se détend comme un muscle



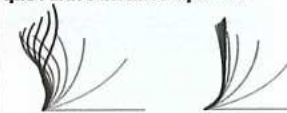
CORBIS - A. COOPER/CORBIS - M. KONTEMENTE

Ils possèdent le sens de l'équilibre

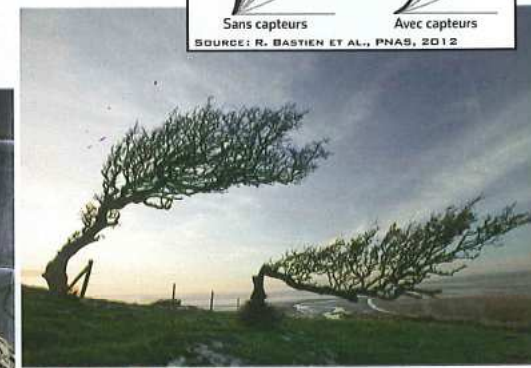
Les biologistes avaient déjà été bluffés en découvrant, dans les années 1990, l'oreille interne des arbres : certaines cellules abritent des grains d'amidon qui, se déplaçant en fonction de la gravité, les informent de leur inclinaison. Bruno Mouliat et son équipe de l'Institut national de la recherche agronomique à Clermont-Ferrand ont montré qu'en plus, les arbres perçoivent la forme de leur corps. En étudiant le comportement de onze variétés de végétaux dont la tige était tordue à la base et en modélisant les forces qui s'exercent sur eux, les biophysiciens se sont aperçus que la seule information donnée par la gravité ne peut suffire à ce qu'ils poussent verticalement. *"Une pousse tordue à la base ne peut se redresser complètement puisque ses racines la maintiennent penchée, précise le chercheur. Les cellules qui perçoivent la gravité lui envoient donc en permanence le signal qu'il faut corriger sa position."* Conséquence, si la plante ne percevait que la gravité, elle devrait osciller constamment sur toute sa hauteur, se débattant pour devenir droite sans jamais y parvenir. Or, les pousses atteignent très vite une position d'équilibre, en concentrant la courbure à leur base (voir figure). Les arbres disposent en effet de capteurs qui mesurent la variation de la pente le long de leur tige : leurs cellules s'influencent de proche en proche le long du rayon de la tige et sont ainsi capables de sentir sa courbure locale. *"Nous avons été émerveillés de découvrir cela, relate Bruno Mouliat. Au cours de l'évolution, les végétaux ont 'trouvé' le moyen de contrôler leur*

mouvement global avec une perception locale. On ne pensait pas que cela soit possible !"

C'est grâce à ses capteurs de courbure que l'arbre atteint l'équilibre



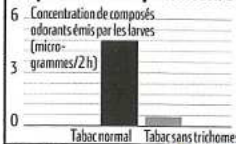
SOURCE : R. BASTIEN ET AL., PNAS, 2012



Le tabac peut appeler à la rescousse

Attaquées par des insectes, certaines plantes préviennent leurs gardes du corps : elles envoient des messages chimiques au prédateur de leur agresseur. Ian Baldwin est le spécialiste du combat entre le tabac sauvage *Nicotiana attenuata* et les chenilles. À l'Institut Max-Planck d'écologie chimique, son équipe a montré que les composés HIPV émis par le tabac dopent l'efficacité de chasse de la punaise *Geocoris*, justement friande de chenilles. Lorsque les gènes codant pour ces HIPV sont supprimés, la plante est deux fois plus parasitée, ce qui divise par deux ses capacités de reproduction. La mettant au même niveau que les plants qui ne sont pas protégés par les punaises. Et *Nicotiana attenuata* dispose d'autres atouts. Quand des chenilles de *Manduca sexta* éclosent sur ses feuilles, elle leur fait goûter des trichomes, de fines excroissances chargées de sucres O-acyl. Un piège ! Car aussitôt après l'ingestion, les chenilles émettent une odeur bien précise (voir graphe)... attirant la punaise *Geocoris*, mais aussi la fourmi *Pogonomyrmex*, qui va remonter la piste odorante laissée par les déjections des chenilles.

Le tabac "marque" la chenille d'une odeur qui attire ses prédateurs



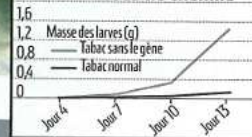
SOURCE: A. WEINHOLD ET AL., PNAS 108 (19), 2011



Et il sait se défendre tout seul

On savait que les acacias ou les peupliers, broutés par des ruminants, produisent des tanins qui rendent leur feuillage moins ragoûtant. Mais c'est surtout envers leur ennemi le plus commun, les insectes herbivores, que les plantes révèlent l'étendue de leur science de l'empoisonnement. Après vingt ans de travaux, Ian Baldwin a dénombré près de 950 composés que le tabac sauvage, *Nicotiana attenuata*, produit en réaction à une agression. Si certains sont des toxiques connus, comme la nicotine, un paralysant musculaire puissant à la fois pour les insectes et les vertébrés, la fonction de la majorité de ces composés est inconnue. Sven Heiling, de l'Institut Max-Planck d'écologie chimique allemand, vient d'en découvrir une nouvelle famille, efficace contre la chenille *Manduca sexta*, un prédateur devenu tolérant à la nicotine. Il s'agit de diterpènes glycosides, auxquels on ne connaissait aucune toxicité... Pour découvrir leur rôle, les chercheurs ont supprimé le gène qui les produit : ils ont alors observé que les larves attaquant le tabac grossissaient dix fois plus (voir ci-contre). Invisible, cette guerre chimique n'en est pas moins sophistiquée...

Un gène du tabac limite la croissance des larves de chenille



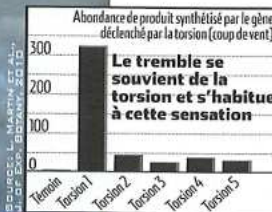
SOURCE: S. HEILING ET AL., THE PLANT CELL (22), 2010

Le tremble est doué de mémoire

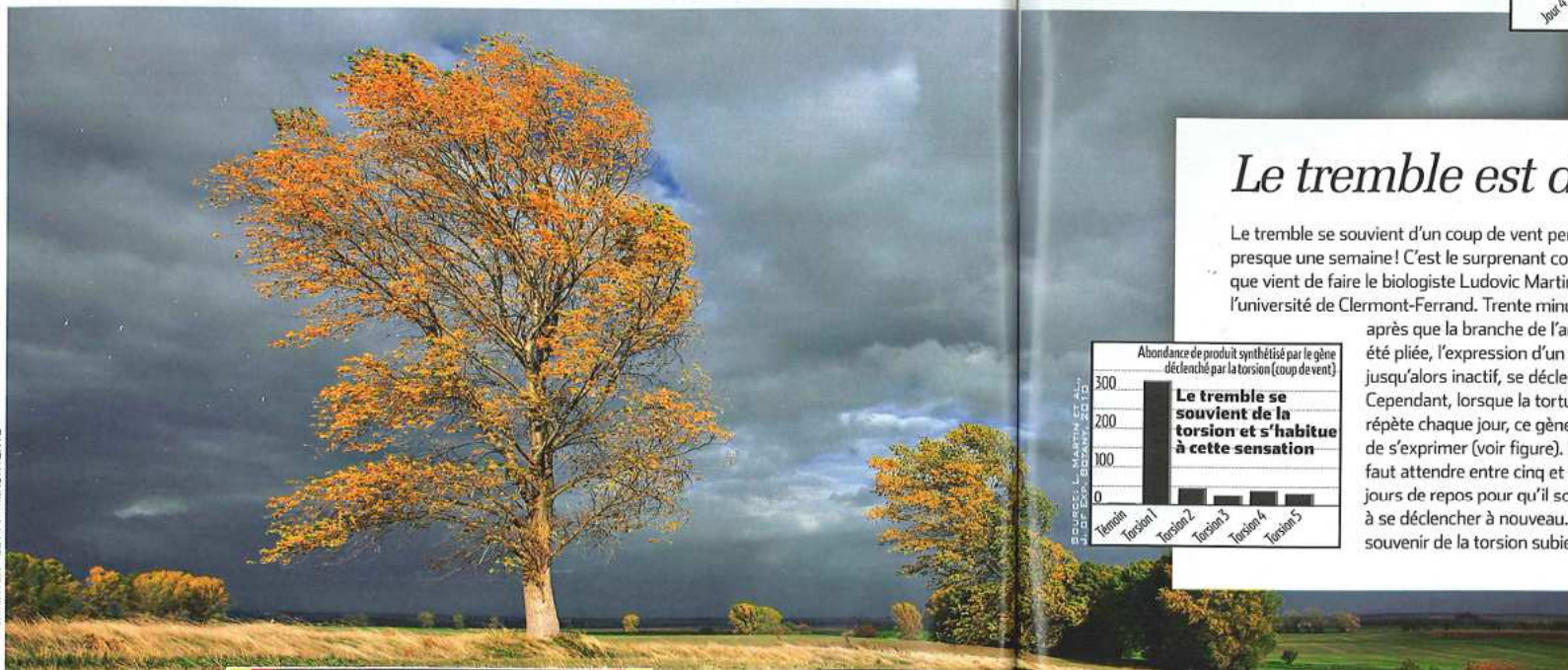
Le tremble se souvient d'un coup de vent pendant presque une semaine ! C'est le surprenant constat que vient de faire le biologiste Ludovic Martin, de l'université de Clermont-Ferrand. Trente minutes

après que la branche de l'arbre a été pliée, l'expression d'un gène, jusqu'alors inactif, se déclenche. Cependant, lorsque la torture se répète chaque jour, ce gène cesse de s'exprimer (voir figure). Et il faut attendre entre cinq et sept jours de repos pour qu'il soit prêt à se déclencher à nouveau. Ce souvenir de la torsion subie per-

met à un arbre exposé au vent de s'habituer, en quelque sorte, à la sensation. Et la mémoire de *Mimosa pudica* est encore meilleure. Connue pour replier instantanément ses feuilles lorsqu'elle est touchée, cette plante se replie aussi en hâte lorsque son pot est soulevé brusquement. Or, comme l'a montré une expérience toute simple effectuée à l'université de Florence (Italie), si on la soulève cinq ou six fois d'affilée, ce comportement disparaît... bien qu'elle continue à replier ses feuilles en cas de contact. "Le mimosa a 'appris' qu'être soulevé n'est pas dangereux, donc il cesse de se replier", interprète le directeur du laboratoire, Stefano Mancuso. La plante retient cette leçon environ quarante jours.



SOURCE: L. MARTIN ET AL., PNAS 108 (19), 2011



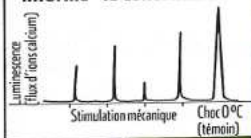


Le concombre anguleux a le sens du toucher

Le concombre anguleux *Sicyos angulatus* n'a pas l'équipement enzymatique nécessaire à la fabrication du bois: s'il s'élève de plus d'une trentaine de centimètres, sa tige ploie et le malheureux se retrouve au ras du sol, confiné dans une lumière médiocre. Il doit donc s'agripper à d'autres plantes pour s'élever. Afin de les trouver et de s'y accrocher, *Sicyos* a développé des organes d'une sensibilité au toucher fantastique: les vrilles, qui, telles des mains aux longs doigts déployés, tournoient en s'allongeant, cherchant la rencontre avec un support salvateur autour duquel s'enrouler. Daniel Chamovitz, de l'université de Tel Aviv (Israël),

rapporte qu'en déposant un fil d'un poids de 0,25 gramme sur la vrille, on provoque son enroulement. En comparaison, un doigt humain ne parvient à détecter un fil identique que lorsque son poids atteint 2 grammes. Gabriele Monshausen, de l'université du Wisconsin à Madison (Etats-Unis), a identifié des protéines membranaires susceptibles d'expliquer cette sensibilité: à chaque stimulation mécanique (voir schéma), elles libèrent un flux d'ions calcium, détecté par luminescence, qui "informe" la cellule du contact.

Chaque contact induit une réaction chimique qui "informe" le concombre



SOURCE: MONSHAUSEN ET AL., SCIENCE 313, 2006

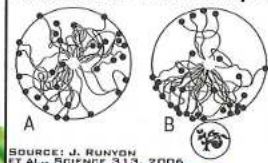
D. DONADONIA/AGE FOTOSTOCK - DR. - M. KONTEINTE

La cuscute a le sens de l'odorat

Pour la cuscute, c'est une question de survie. Dépourvu de chlorophylle, ce parasite doit trouver une proie dans les soixante-douze heures suivant sa germination, puis s'allonger vers elle jusqu'à y enfouir sa pointe et en sucer la sève. Consuelo de Moraes, biologiste à l'université de l'Etat de Pennsylvanie, a découvert la technique de chasse de ce "vampire" végétal: *Cuscuta pentagona* flaire sa proie. La preuve? Sans victime à sa portée, la tige s'allonge au hasard dans une direction; mais qu'un plant de tomate se trouve à proximité, et la cuscute l'attaque en une vingtaine d'heures à peine, et ce 9 fois sur 10 (voir schéma). Plus éloquent encore: elle fonce avec la même fougue sur un leurre parfumé à l'extrait de plant de tomate! Placée à mi-chemin entre un plant de blé et un plant de tomate, la cuscute se dirige toujours vers la juteuse tige de tomate; mais s'il n'y a que du blé, elle s'en contente. Qui plus est, placée entre un plant de tomate

sain et un autre attaqué par des bactéries, elle fond sur la tomate saine, à l'odeur plus appétissante... Combien de composés ce "nez" végétal peut-il détecter? Jusqu'à quelles concentrations? Grâce à quels capteurs? On l'ignore encore...

En présence d'une tige de tomate parfumée (B), la cuscute concentre sur elle ses attaques



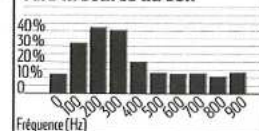
SOURCE: J. RUNYON ET AL., SCIENCE 313, 2006



Et le maïs a le sens de l'ouïe

Cela reste difficile à expliquer, mais les faits sont là: le maïs capte les sons. Monica Gagliano, de l'université d'Australie de l'Ouest, a fait germer des graines de maïs dans un liquide nutritif, avant d'y émettre des sons de différentes longueurs d'onde. Or, autour de la fréquence de 200 Hz, une proportion significative des racines s'inclinent vers la source du son (voir figure). Une telle capacité à détecter une vibration peut se concevoir, les plantes ayant des capteurs mécaniques qui leur confèrent un sens du toucher (lire ci-contre). Mais à quoi pourrait leur servir l'ouïe? "Il pourrait s'agir d'un autre mode de communication, plus rapide et moins coûteux en énergie que l'émission de composés organiques", imagine la chercheuse, en soulignant que les arbres émettraient aussi certains sons. Cette propension à "parler", mal étayée, laisse sceptiques la plupart des scientifiques. Mais plusieurs équipes s'intéressent déjà à cette étrange audition végétale.

A 200 Hz, presque la moitié des racines de maïs s'inclinent vers la source du son



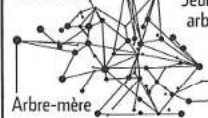
SOURCE: M. GAGLIANO ET AL., TREND PLANT SC. 954, 2010

INTELLIGENCE DES PLANTES | CAS D'ESPÈCE

Les vieux pins font preuve de solidarité

Pour l'écologue canadienne Suzanne Simard, la chose ne fait aucun doute : les vieux arbres maternent les plus jeunes. La chercheuse et ses étudiants ont enveloppé des branches de pins de l'Oregon - *Pseudotsuga menziesii* - dans des sacs plastiques, où ils ont injecté du CO₂ faiblement radioactif, forçant les feuilles à synthétiser des sucres que l'on peut suivre à la trace. Compteurs Geiger à la main, ils ont constaté qu'une partie de ce sucre marqué était transférée à de nombreux arbres alentour, mais surtout que le transfert le plus important s'opérait entre les vieux arbres les plus volumineux - des "arbres-mères" - et les jeunes poussant à leur pied, le plus souvent issus de leurs graines. La preuve d'une remarquable solidarité entre les générations. Cette nourriture est également transportée par les mycorhizes, des champignons du sous-sol qui relient les racines des arbres. Suzanne Simard a ainsi pu cartographier les connexions d'une parcelle (voir schéma). Et révéler le réseau caché des sols forestiers, cet espace souterrain où, à travers un incroyable embrouillamini de racines entremêlées, les vieux arbres jouent le rôle de plaques tournantes, interconnectant tous les individus et distribuant les flux nutritifs, en particulier vers les plus jeunes.

Chaque forêt dissimule un réseau souterrain solidaire



SOURCE : S. SIMARD ET AL., FUNGAL BIOLOGY REVIEW, 2012



A. STARTINAK/ACE FOTOSTOCK, M. COFFETT/AMIDEN PICTURES - M. KONIGENTE

Le trèfle a l'esprit de famille

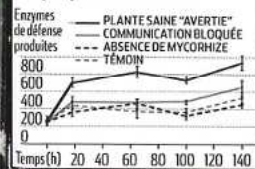
Plusieurs travaux récents le démontrent : de nombreuses plantes sont capables de reconnaître si leur voisin est de leur famille ou de la même espèce. Ainsi, la botaniste américaine Susan Dudley a planté côte à côte des paires de plantes, soit étrangères, soit issues des graines du même individu. Quarante jours plus tard, elle a pesé les tiges et feuilles d'un côté, les racines de l'autre. Résultats : les plantes poussant à côté de parents avaient fait moins de racines (voir graphe), préférant investir leur énergie dans le développement de leur appareil reproducteur. Entre sœurs, on ne se dispute pas pour la nourriture... De telles coopérations peuvent même être renforcées en cas de disette. La chercheuse estonienne Anu Lepik a montré que non seulement le trèfle commun "épargne" les racines de ses voisins apparentés, mais que le phénomène s'accroît lorsque la densité d'individus s'élève. Ce comportement serait toutefois mineur : sur 8 espèces herbacées communes testées, seul le trèfle montrait une telle solidarité. Le fraisier sauvage, lui, est sensible envers toute son espèce : comme l'a mis en évidence l'Estonienne Marina Semtchenko, les racines du *Fragaria vesca* entrant en contact avec celles d'une autre espèce (ici, le lierre sauvage) accélèrent leur croissance, alors qu'un contact avec sa propre espèce n'entraîne aucun changement. Quant au lierre, il évite toutes les racines des voisins, quelle que soit leur espèce. Bref, sous terre, tout le monde tâche plus ou moins de savoir à côté de qui il pousse.

Les plantes ont plein de moyens de communiquer

Découverte depuis trente ans, la communication entre plantes par voie aérienne s'est avérée très répandue : des expériences réalisées sur une foule d'espèces d'arbres ou de plantes herbacées démontrent qu'elles s'alertent par l'émission de composés volatils. Mais des signaux souterrains circulent aussi. Yuan Song, du Laboratoire d'agriculture écologique de Guangzhou (Chine), l'a prouvé en 2010 sur la tomate. Lorsqu'elle tombe malade, elle prévient ses voisins via un message transporté par un champignon racinaire - une mycorhize. Après avoir planté des tomates deux par deux, le chercheur a soumis les feuilles d'une partenaire de chaque couple à l'attaque d'un ravageur.

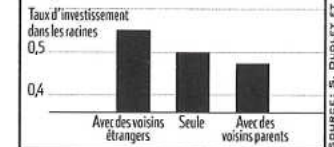
En présence du champignon racinaire, la tomate saine se met à produire des enzymes de défense, habituellement synthétisées lors des attaques. A l'inverse, si la mycorhize est absente, ou qu'une paroi l'empêche de relier les deux plantes, les défenses de la tomate saine ne sont pas mobilisées : le signal a été bloqué (voir figure).

Avertie par la tomate attaquée, la tomate saine prépare sa défense



SOURCE : Y. SONG ET AL., PLOS ONE 5 (10)

Les plantes qui poussent à côté de parents font moins de racines



SOURCE : S. DUDLEY ET AL., BIOLOGY LETTERS 3 (4)



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.

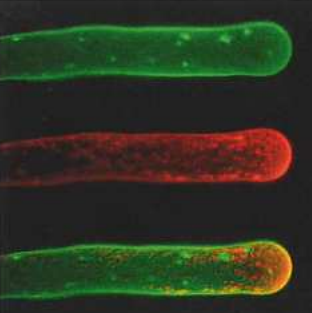
Enthousiasme et fébrilité. Voilà les deux mots résumant le mieux l'ambiance actuelle dans une biologie végétale électrisée par dix ans de découvertes (voir pp. 50-53), lesquelles ont définitivement enterré l'image dépassée de la "plante automate". Résultat: alors qu'en temps ordinaire un scientifique 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 ne 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



venir cette faculté? La réponse semble être du côté des exsudats, ces cocktails de molécules sécrétées 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.

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.

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 méthyljasmonate. "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'empoi gnade, 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'endomager 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 hérissee 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-

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

STEFANO MANCUSO
COPONDATEUR DE LA SOCIÉTÉ POUR
UNE NEUROBIOLOGIE VÉGÉTALE

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-

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...

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 magnéto-réception) – 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. ■