

SCIENCE

HORS-SERIE

M 01930 - 101H - F: 7,90 € - RD

NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2018
N° 101

SYMBIOSE
**LES PLANTES
ONT AUSSI UN
MICROBIOTE !**

DROIT
**LES ARBRES
DOIVENT-ILS
PLAIDER ?**

REPRODUCTION
**LA SEXUALITÉ
DÉBRIDÉE
DES PLANTES**

GÉOMÉTRIE
**LE NOMBRE
D'OR, C'EST
TOUT NATUREL**

GRAND
TÉMOIN
**EMANUELE
COCCIA**

La révolution végétale

DE LA NEUROBIOLOGIE
DES PLANTES
À LA SYLVOTHÉRAPIE



GROUPE POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Maquettiste: Raphaël Queruel

POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef: Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Community manager: Jonathan Morin

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Révisseuses: Anne-Rozenn Jouble et Chantal Ducoux

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

Direction financière: Cécile André

Fabrication: Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie
susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 0155428505

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <http://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél.: 0367079817

Adresse postale: Service des abonnements
Pour la Science – 19 rue de l'Industrie – BP 90053
67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (16 numéros)

France métropolitaine: 79 euros – Europe: 95 euros

Reste du monde: 114 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres; Stéphanie Troyard

Tél. 0488151243

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science » doivent être adressés par écrit à « Pour la Science S.A.R.L. », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Italie

Taux de fibres recyclées: 0 %

« Eutrophisation » ou « Impact sur l'eau »:

P_{tot} 0,008 kg/tonne

Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.



ÉDITORIAL



LOÏC MANGIN
Rédacteur
en chef adjoint

Des extraterrestres dans le jardin

Après un long périple, un astronaute débarque sur une planète lointaine, inconnue, et l'explore. Il découvre rapidement une forme de vie, bien différente de celles auxquelles il est habitué. Aucun langage commun n'est possible. L'explorateur se rend bien compte que ces extraterrestres n'ont pas de mauvaises intentions à son égard, et il ressent de la sympathie pour eux, mais il ne tente pas de les comprendre. C'est ainsi que le botaniste Francis Hallé décrit nos relations avec le monde végétal et les arbres en particulier.

Nous vivons sur la même planète, nous en avons dans nos jardins, et pourtant, nous ne nous soucions guère des plantes, sauf pour les exploiter. « Il y a quelque chose, nous dit le philosophe Emanuele Coccia, qui nous empêche de reconnaître aux pins, aux rosiers ou aux pissenlits le même statut que nous reconnaissons non seulement à nous-mêmes, les humains, mais aussi aux chiens, aux chats, aux oiseaux. »

Le mouvement est en train de s'inverser aussi bien auprès du grand public que dans le monde des chercheurs. Le premier plébiscite *La Vie secrète des arbres*, de l'ingénieur forestier Peter Wohlleben. Les seconds découvrent les capacités insoupçonnées du végétal et les ressorts des nombreux bienfaits qu'il nous procure.

Comme pour nous faire pardonner de les avoir si longtemps négligées, et peut-être aussi pour mieux nous en rapprocher et espérer les comprendre, nous traitons les plantes avec un excès d'anthropomorphisme, par exemple en leur conférant une « intelligence » équivalente à la nôtre. C'est une erreur, et ce numéro est là pour rétablir l'équilibre: pour leur rendre justice, nous devons nous intéresser aux plantes pour ce qu'elles sont, à savoir des êtres exceptionnels. D'ailleurs, « dire que les plantes sont intelligentes, confie Francis Hallé, c'est les sous-estimer... »

SOMMAIRE

POUR LA
SCIENCE
HORS-SÉRIE

N° 101

Novembre-décembre 2018

La révolution VÉGÉTALE

Constituez
votre collection
de *Hors-Séries*
Pour la Science
Tous les numéros
depuis 1996

pourlascience.fr



En couverture :
© TonelloPhotography

P. 6 Repères

L'indispensable pour apprécier ce numéro.

P. 10 Avant-propos **EMANUELE COCCIA** « La vie des arbres est devenue une question politique »



DES ANIMAUX COMME LES AUTRES ?

P. 16

Et pourtant elles bougent !

C. Lenne, O. Bodeau et B. Moullia

Les plantes perçoivent leur environnement
et s'y adaptent par divers mouvements.

P. 24

Le charme discret... de la racine

S. Uroz, A. Deveau, F. Martin et A. Cébron

Les plantes aussi ont un microbiote, associé
à leurs racines, leurs feuilles, leurs graines...

P. 30

Une communication pleine de sens

Catherine Lenne

Dotées de nombreux sens, les plantes
échangent quantité d'information et de matière.

P. 36

La neurobiologie végétale, une idée folle ?

François Bouteau et Patrick Laurenti

Les plantes communiquent par des signaux
électriques: tout comme les neurones.

P. 42

Des plantes aux animaux, et *vice versa*

Marc-André Selosse

La distinction entre un animal et un végétal
n'est pas aussi nette qu'on le croit.





DES ÊTRES D'EXCEPTION

P.50

Quand les plantes font des maths

Teva Vernoux, Christophe Godin
et Fabrice Besnard

Les végétaux fabriquent des géométries complexes où le nombre d'or apparaît souvent.

P.60 *Portfolio*

Des arbres de collection

Avec plus de 2500 espèces, l'Arboretum de Versailles-Chèvreloup est un régal pour les yeux!

P.66

Les reines de la manipulation

Bruno Corbara

Des plantes émettent des signaux qui piègent les animaux afin de les exploiter.

P.72

La très riche sexualité des plantes

Pierre-Olivier Cheptou

Les modes de reproduction des plantes à fleur sont d'une diversité étonnante.

P.78

Le règne des plantes-garous

Aditee Mitra

Parfois, de minuscules créatures marines photosynthétiques se mettent en chasse...



LES ARBRES ET NOUS, UN AVENIR COMMUN

P.88

Comme un arbre dans la ville...

Serge Muller

On ne compte plus les services écologiques rendus par les arbres en milieu urbain.

P.92

Une forêt de bienfaits

Alix Cosquer

Se rapprocher de la nature, en pratiquant des «bains de forêt», rime avec bénéfices.

P.98

À chacun sa nature

Philippe Descola

On ne protégera la nature qu'en abandonnant la vision occidentale que nous en avons.

P.102

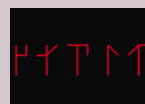
Faire droit au vivant

Catherine Larrère

La nature et le vivant sont désormais des sujets de droit, et peuvent plaider leur cause.

P.108

À lire en plus



RENDEZ-VOUS

par Loïc Mangin

P.110

Rebondissements

L'hypothèse AC/DC est contredite! • Le big data au service du big data • Le gène zombie des éléphants • La réponse est dans le vent... de molécules •

P.114

Données à voir

À l'heure de la *data cuisine*, on représente les données avec des plats cuisinés!

P.116

Les incontournables

Des livres, des expositions, des sites internet, des vidéos, des podcasts... à ne pas manquer.

P.118

Spécimen

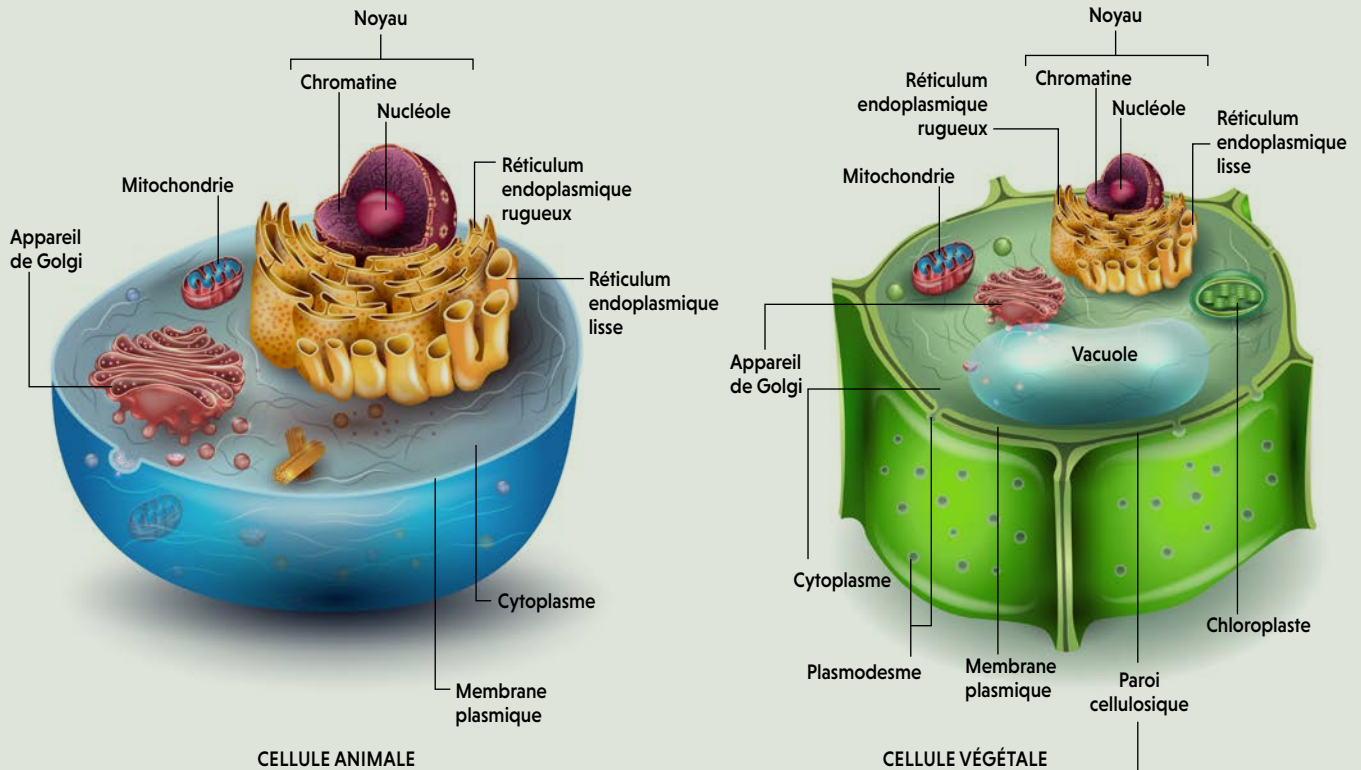
Les zèbres, rayés de la carte?

P.120

Art & Science

Se mettre à l'heure des moines

Pour ne pas se planter...

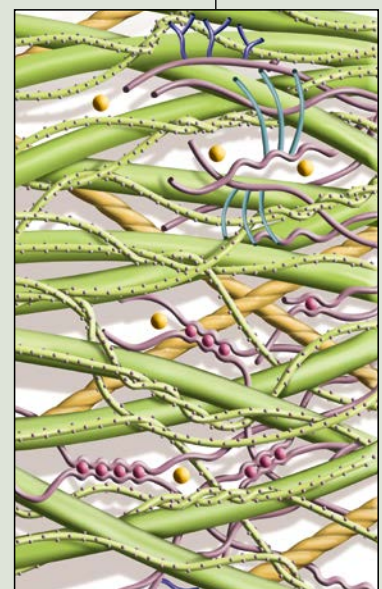


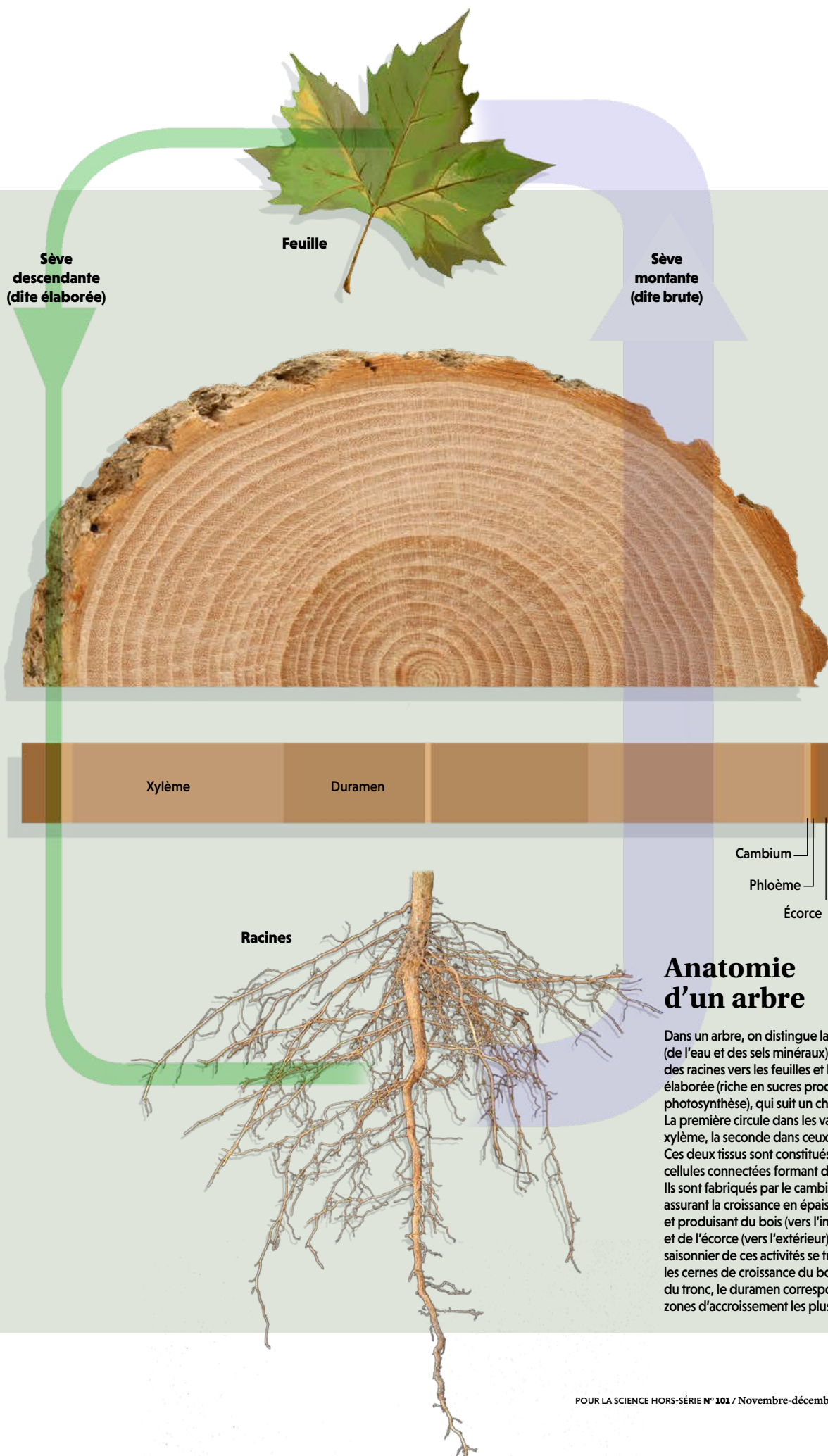
Animal ou végétal ?

Les cellules animales et végétales ont beaucoup de points communs (noyau, réticulum endoplasmique, mitochondrie...). Néanmoins, elles se distinguent à deux niveaux. D'abord, les cellules végétales contiennent des chloroplastes (*ci-dessus*), des organites, où se déroule la photosynthèse, et une vacuole, où sont emmagasinés les déchets, les toxines... Cette vacuole occupe parfois l'essentiel du volume cellulaire.

Ensuite, les cellules végétales sont ceintes d'une paroi riche en microfibrilles de cellulose (*ci-contre, en vert*) : de 200 nanomètres d'épaisseur en moyenne, elle résiste à des pressions de 15 bars. Cette armature confère au végétal ses propriétés mécaniques et autorise ainsi le séquoia Libby à culminer à 112 mètres de hauteur dans le parc national Redwood, en Californie.

Autre particularité des plantes, la paroi est percée de plasmodesmes : toutes les cellules sont ainsi reliées en un réseau où circulent composés, agents pathogènes parfois, et même signaux électriques. ■





Feuille

Sève
descendante
(dite élaborée)

Sève
montante
(dite brute)

Xylème

Duramen

Cambium
Phloème
Écorce

Racines

Anatomie d'un arbre

Dans un arbre, on distingue la sève brute (de l'eau et des sels minéraux), qui monte des racines vers les feuilles et la sève élaborée (riche en sucres produits par photosynthèse), qui suit un chemin inverse. La première circule dans les vaisseaux du xylème, la seconde dans ceux du phloème. Ces deux tissus sont constitués de longues cellules connectées formant des « tuyaux ». Ils sont fabriqués par le cambium, un tissu assurant la croissance en épaisseur et produisant du bois (vers l'intérieur) et de l'écorce (vers l'extérieur). Le rythme saisonnier de ces activités se traduit par les cernes de croissance du bois. Au cœur du tronc, le duramen correspond aux zones d'accroissement les plus anciennes.

ANGIOSPERME

Ensemble des plantes à fleurs, c'est-à-dire dont les graines sont enfermées dans une cavité, à l'inverse de celles des **GYMNOSPERMES** (les conifères par exemple).

AUTOTROPHIE

Synthèse de substances organiques à partir de substances inorganiques. Les plantes sont autotrophes, car elles fabriquent leur propre alimentation, à l'inverse des **hétérotrophes***, qui se nourrissent de matière organique.

CHLOROPHYLLE

Ce pigment vert, situé dans les chloroplastes, intercepte l'énergie lumineuse pour la transférer à différents composés qui vont la convertir en énergie chimique, c'est-à-dire l'« enfermer » dans des molécules de glucides : c'est la **photosynthèse***.

CYANOBACTÉRIES

Ces bactéries sont aussi nommées « algues bleues ». Elles ont inventé la photosynthèse productrice d'oxygène (ce n'est pas la seule) il y a 2,45 milliards d'années et ont été internalisées par **endosymbiose*** chez l'ancêtre des végétaux terrestres.

ENDOSYMBIOSE

Forme de symbiose où l'un des partenaires est contenu dans l'autre. L'organisme interne est un endosymbionte. Les mitochondries et les **plastides*** auraient à l'origine été des organismes endosymbiotiques.

MÉRISTÈME

Tissu composé de cellules indifférenciées et constituant les zones de croissance des plantes. Grâce aux nombreuses divisions cellulaires qui y ont lieu, la plante peut créer de nouveaux organes et croître tout au long de sa vie.

MYCORHIZE

Association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes. Dans la plupart des cas, chaque partenaire tire profit de cette alliance.

PHOTOSYNTÈSE

Processus par lequel les plantes vertes et d'autres organismes synthétisent des matières organiques, des glucides, grâce à l'énergie lumineuse, en absorbant le dioxyde de carbone de l'air et en rejetant l'oxygène.

PHYLLOTAXIE

Géométrie qui caractérise la disposition autour d'un axe de croissance de tout élément botanique : feuille, branche, bourgeon, fruits, fleurs, pétales, étamines...

PLASTE

Organite cellulaire propre aux végétaux où a lieu la **photosynthèse***. Quand il contient de la chlorophylle, c'est un **CHLOROPLASTE**.

PLASMODESME

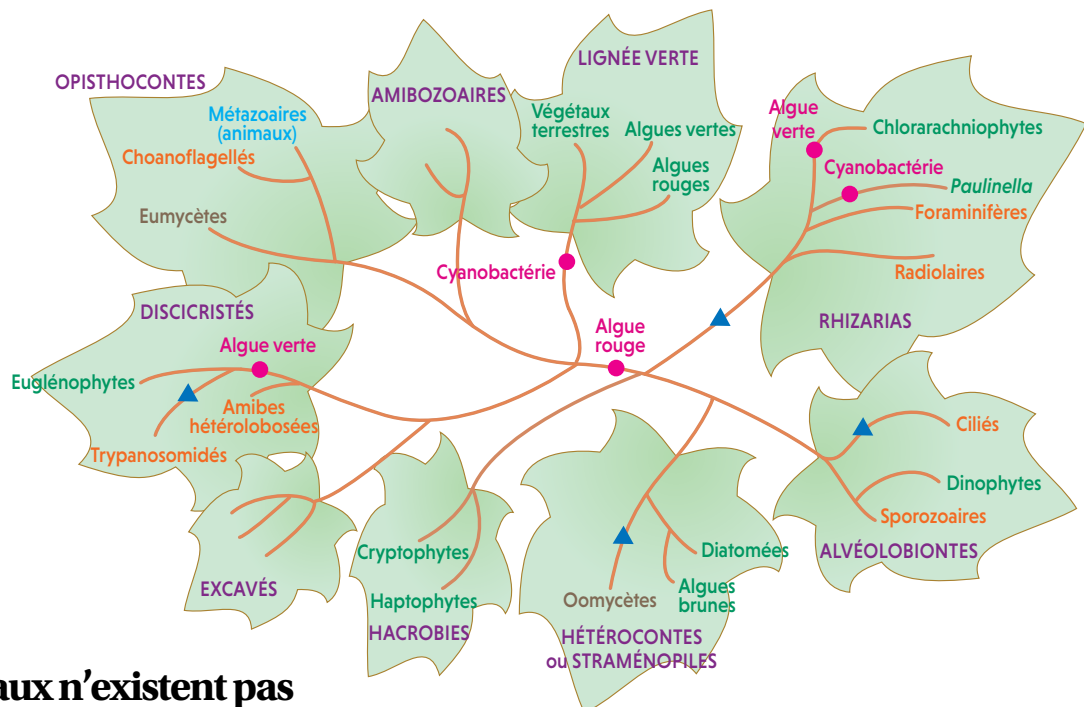
Canal traversant la paroi cellulaire des plantes et constituant une voie de passage.

STOMATE

Ouverture à la surface des feuilles permettant les échanges gazeux.

TROPISME

Mouvement d'une plante, ou d'un de ses organes, en direction d'un stimulus particulier, par exemple la lumière.



Les végétaux n'existent pas

Algue, champignon, végétal... Ces termes sont utiles dans le langage courant, mais ne sont fondés que sur des ressemblances acquises indépendamment par divers organismes : ils ne reflètent aucune parenté évolutive. De fait, sur cet arbre phylogénétique des eucaryotes, on constate que les végétaux, les champignons et les algues ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et

tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom indique l'origine de leur plaste, l'organite où a lieu la photosynthèse), sont représentées dans six groupes. Certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste. Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées.

Dans l'**inter**êt de la science

mathieu
vidard

la tête au carré
14:05-15:00



**france
inter**venez
franceinter.fr

EMANUELE COCCIA



« La vie des arbres est devenue une question politique au même titre, ou presque, que celle des migrants »



Quel regard portez-vous sur le succès des livres dédiés au végétal ?

Emanuele Coccia : On peut faire plusieurs remarques à propos du plus vendu d'entre eux, *La Vie secrète des arbres*, par Peter Wohlleben. D'abord, à l'occasion d'une rencontre organisée en Allemagne, il m'a raconté que ce livre était son seizième ! Sans grand succès. Mais cette fois-là, il avait décidé de revenir aux fondamentaux de la discipline, la botanique, et surtout de renoncer à tout discours alarmiste, voire apocalyptique, sur l'état du monde naturel. Ce parti pris, et son écho auprès du grand public, sont très instructifs.

Autre enseignement, cette réussite est rassurante. On ne peut qu'être soulagé de savoir que beaucoup de gens (2 millions de lecteurs en Allemagne, 700 000 en France...) sont prêts à lire un ouvrage sur les arbres !

Enfin, de façon moins anecdotique, je pense que ce phénomène est le résultat

BIO EXPRESS

2005

Thèse en philosophie médiévale et philologie, à l'université de Florence, en Italie.

2008

Professeur assistant en histoire de la philosophie, à l'université de Fribourg-en-Brisgau, en Allemagne.

2011

Maître de conférences à l'EHESS.

2016

La Vie des plantes. Une métaphysique du mélange, Payot et Rivages, Paris.

de plusieurs mouvements qui ont eu lieu dans les sciences naturelles et dans la société tout entière.

Lesquels ?

Emanuele Coccia : Quand on regarde l'histoire des sciences naturelles – les sciences du vivant –, la suprématie de la zoologie saute aux yeux. Dès Aristote, c'est à elle que l'on a toujours posé les questions les plus métaphysiques, philosophiques sur la vie. Depuis toujours, la vision sur le vivant est fortement zoocentrée, l'animal l'emporte sur la plante, mais aussi sur la bactérie, le virus, le champignon...

Darwin et Lamarck se sont interrogés sur les origines de la vie essentiellement en regardant les animaux. Pour des raisons auxquelles je n'ai pas réfléchi, la plupart des grands ouvrages biologiques du passé traitent de zoologie – même les grands débats entre Cuvier, Buffon, Geoffroy Saint-Hilaire tournent autour de cette discipline.

Souffrant d'une sorte de complexe d'infériorité par rapport à la zoologie, la botanique était figée dans un cadre morphologico-systématique. On était surtout étonné par la variété du végétal, et l'on s'attachait seulement à le décrire et le classer. La botanique était incapable d'aller au-delà, d'étendre sa portée. En d'autres termes, l'étude des plantes n'avait jamais posé la question du vivant en tant que tel.

Qu'est-ce qui a changé ?

Emanuele Coccia : Depuis cinquante ans, des botanistes ont eu le courage de faire ce pas en avant. Francis Hallé en France, Stefano Mancuso en Italie, Karl Niklas aux États-Unis... se sont emparés de leur discipline pour poser des questions plus vastes, plus profondes sur l'idée de vie et en fin de compte universaliser leur science.

Et c'est ce que fait Peter Wohlleben dans son livre. Il a certes soulevé des critiques, notamment pour anthropomorphisme poussé à l'extrême, mais on lui pardonne, vu l'engouement suscité envers les plantes. En caricaturant un peu, l'une des thèses fondamentales de son livre est : pour comprendre ce qu'est le vivre-ensemble, nous devons regarder les plantes. De fait, il décrit la forêt comme un exemple parfait de cohabitation, très peu conflictuel.

Cet idéalisme ne lui a-t-il pas aussi été reproché ?

Emanuele Coccia : Oui, mais il s'explique. D'abord, il a des racines anciennes. Ce n'est pas un hasard si ce livre a pu être proposé en Allemagne, où il s'inscrit dans la plus pure tradition du romantisme et de la philosophie naturelle.

Ensuite, je pense qu'il faut le lire comme le symptôme d'une grande révolution, un de ces mouvements que j'évoquais, qui a bousculé la biologie dans les années 1970, à la suite des travaux de Lynn Margulis. Cette microbiologiste américaine a montré que les cellules eucaryotes (avec un noyau) seraient nées d'une suite d'associations symbiotiques entre différents procaryotes.

Grâce à cette théorie endosymbiotique, la biologie a abandonné le paradigme belliciste, c'est-à-dire l'idée que la nature est un espace de compétition, de lutte de tous contre tous. Le génie de Darwin consista à faire de ces conflits perpétuels le moteur de l'évolution dans la nature. Avec lui, la guerre n'était plus

contradictoire avec l'idée d'harmonie et d'équilibre naturel.

Cependant, l'endosymbiose découverte par Lynn Margulis raconte une autre histoire : l'une des plus grandes inventions du vivant, en l'occurrence la cellule eucaryote, ne relève pas de la guerre ou de la compétition, mais d'une symbiose, d'une coopération.

Ces travaux ont eu des répercussions dans d'autres domaines, notamment en anthropologie. Ce fut une révolution culturelle, la nature cessant d'être un monde de compétition pour devenir un havre de paix et d'harmonie. Au fond, le livre de Wohlleben est un peu le dernier avatar de ce bouleversement de la pensée. Et cette bienveillance est bien plus facile à démontrer chez les plantes qu'avec un lion dévorant une gazelle !

C'est une des clés de son succès. En ces temps d'incertitude et de tensions, un livre où la collaboration est montrée comme une force créatrice interpelle les lecteurs, sensibles à ce type de message. Ils en ont même besoin.

Justement, les préoccupations écologiques du grand public favorisent-elles cette ferveur pour les plantes ?

Emanuele Coccia : C'est effectivement une autre raison importante. Nous vivons sous une menace forte et nous prenons conscience à quel point l'humanité a profondément modifié l'ordre naturel. En conséquence, nous sommes devenus beaucoup plus attentifs aux autres formes de vie et aux interactions entre espèces, humaine, animales, végétales...

Ce mouvement va de pair avec l'entrée spectaculaire de l'écologie dans l'échiquier politique. La vie des abeilles, celle des arbres... sont devenues des questions politiques au même titre, ou presque, que la vie des migrants. C'est une révolution inouïe du point de vue de l'histoire des mentalités, de l'histoire de la pensée politique et morale en Occident.

Depuis cinquante ans, des botanistes se sont emparés de leur discipline et l'ont universalisée

Bien sûr, plusieurs auteurs anciens avaient avancé ce genre de thèse, mais ils restaient isolés. Là, on assiste à un phénomène de masse : aujourd'hui chacun est prêt à reconnaître que la disparition des abeilles est une question politique concernant non pas une nation, mais l'humanité tout entière.

On peut faire de nombreux reproches à l'écologie politique. Je pense notamment qu'elle n'a pas été capable de se libérer de son héritage théologique, ce qui entrave son efficacité. Il n'empêche, grâce à elle, tout un tas de questions longtemps monopolisées par les scientifiques sont désormais celles de n'importe quel citoyen lambda. Toutes les nouvelles pratiques que l'on voit apparaître, le retour à l'horticulture urbaine, la fascination pour les pratiques japonaises de sylvothérapie, la passion pour les fleurs... en découlent.

Les citoyens ont part ailleurs été préparés à regarder les plantes d'une autre façon. Prenez le film *Avatar* par exemple où, sur la planète Pandora, tous les êtres vivants, végétaux compris, sont interconnectés et sur un pied d'égalité.

Et puis, on y pense rarement, mais depuis les années 1970 nous avons progressivement été obligés de reconnaître que l'humain n'est pas le seul à incarner une intelligence. On en a d'abord attribué une à de plus en plus d'animaux, et aujourd'hui, avec la révolution de l'informatique, nous sommes prêts à en conférer une à des machines. Demain, ce sera au tour des bactéries : c'est un des sujets de recherche du neurobiologiste Antonio Damasio.

Alors, pourquoi pas les plantes ? Le pas a été franchi par Stefano Mancuso, l'un des fondateurs avec František Baluška, de l'université de Bonn, en Allemagne, de la neurobiologie végétale. Ils n'hésitent pas à parler d'intelligence des plantes, ce qui leur est beaucoup reproché.

Dans ce domaine, on doit prendre garde à ne pas projeter sur les plantes ou ➤

> sur des bactéries des formes d'intelligence humaine. Notre façon de penser doit être renouvelée, et même inversée en présupposant chez les formes de vie végétale ou microbienne que certains comportements sont intelligents. D'un point de vue philosophique et également dans la pensée de tous les jours, c'est le défi qui nous attend: élargir les modèles de rationalité, de *logos*...

Dans votre essai *La Vie des plantes*, vous dites que nous ne pourrions jamais comprendre une plante sans avoir compris ce qu'est le monde. L'inverse n'est-il pas aussi vrai ?

Emanuele Coccia : Tout à fait. L'une des idées fondamentales du livre est que les plantes sont à l'origine de notre monde, à plus d'un titre. D'abord, elles ont contribué à produire massivement l'oxygène de l'atmosphère, et donc à rendre habitable la Terre. Ensuite, elles constituent le premier maillon des chaînes trophiques, ou alimentaires.

En conséquence, le monde est essentiellement végétal. De façon plus poétique, le monde est plus un jardin qu'un zoo. Plus encore, les plantes sont les jardiniers de la Terre, en ce qu'elles le transforment, le façonnent. Mon postulat est que pour comprendre le monde, il faut comprendre son origine et donc les plantes. À l'inverse, comprendre les plantes signifie comprendre l'origine du monde. En d'autres termes, la plante est un prisme idéal pour observer le monde tel qu'il est.

Ce chiasme est l'inspiration de mon livre au point que je l'ai subdivisé en trois parties correspondant chacune à une partie du corps végétal: la feuille, la racine et la fleur. Pour chacune, je superpose les deux éléments, le monde et la partie végétale, afin de parler des deux à la fois.

Peut-on voir ce qu'il en est avec la feuille ?

Emanuele Coccia : La feuille est la partie (on ne peut pas vraiment parler d'organe à son propos) la plus importante d'un végétal. Goethe, avec bien d'autres botanistes, n'a cessé de répéter que la plante n'existe que pour les feuilles. C'est l'endroit où les choses les plus importantes, notamment la photosynthèse, se déroulent.

Je m'intéresse d'abord à ce qui distingue fondamentalement les corps végétal et animal, notamment d'un point de vue anatomique. Depuis son développement embryonnaire, le corps animal doit

produire des espaces intérieurs et des volumes. C'est l'inverse chez la plante dont toute la vie se passe en surface, celle des feuilles, qu'elle cherche à démultiplier. En quelque sorte, on pourrait dire que l'animal est un être à trois dimensions, et le végétal à deux seulement.

Partant de cette idée, on comprend mieux d'autres caractéristiques des plantes, par exemple leur tendance à l'infini que le corps animal n'a pas. La plupart des corps animaux ont dissocié la croissance et la reproduction: la deuxième commence à la fin de la première. Le corps végétal, lui, ne cesse pas de s'accroître: les organes reproducteurs sont essentiellement des formations temporaires, produites puis rejetées, qui sont renouvelées chaque année.

Dans ce chapitre, je m'interroge aussi sur ce qui relie animaux et végétaux, et plus largement unifie le monde: le souffle, un geste apparemment anodin mais qui ne l'est pas. Dans le souffle, s'exprime parfaitement l'identité du vivant.

lumineux, mais aussi, grâce à la racine, dans un milieu souterrain, rempli d'eau.

Que nous dit la racine du monde ?

Emanuele Coccia : Elle nous rappelle que notre monde est bel et bien héliocentrique. Et ce qui est intéressant dans les mouvements de la racine, c'est que d'un point de vue astronomique elles permettent *via* la plante au Soleil d'habiter la Terre, car elle transforme la lumière et l'énergie solaire et les insère dans la masse terrestre. La plante enrachine le Soleil dans la Terre.

Cette vision héliocentrique a pourtant été oubliée par de nombreuses sciences, notamment sociales, qui sont restées ptolémaïques, géocentrées.

Venons-en à la fleur...

Emanuele Coccia : Dans ce chapitre, je suis parti de l'idée d'un élève de Friedrich von Schelling, un philosophe du romantisme allemand, selon qui la fleur correspond à un cerveau. Cette thèse, très belle,

Les stoïciens voyaient dans la semence des plantes, les graines, l'incarnation de l'intelligence

Le souffle est un mouvement curieux, double, par lequel à la fois on intègre une grande partie du monde, en la prenant dans notre corps, en l'inspirant, et en même temps nous meublons le monde. Il y a un renversement perpétuel entre le contenant et le contenu, entre le sujet et l'objet.

Qu'en est-il de la racine ?

Emanuele Coccia : Ce qui m'intéresse avec la racine, c'est d'abord d'inverser l'idée qu'elle est la partie la plus importante, la plus originelle d'une plante, alors que d'un point de vue évolutif, elle est apparue très tard, bien après la sortie des eaux et l'invention de la vie végétale.

En outre, la racine permet au corps végétal d'être un corps amphibie, beaucoup plus que la grenouille, vivant à la fois dans deux milieux totalement différents. La plante vit dans un milieu aérien,

était déjà développée dans l'Antiquité, mais on l'a oubliée. Les stoïciens, par exemple, voyaient dans la semence des plantes, les graines, l'incarnation de l'intelligence, du *logos*... Pourquoi? Parce que selon eux, une entité était intelligente dès lors qu'elle pouvait insuffler de la forme à de la matière: c'est exactement le cas d'une graine!

Or la fleur qui produit les graines est aussi une zone de mélange, en l'occurrence des gènes lors de la reproduction. La rationalité va donc de pair avec l'idée de brassage, de nouveauté... En fin de compte se dessine ce que je nomme une métaphysique du mélange: nous sommes le produit du mélange et nous sommes destinés à nous mélanger pour rester en vie. Chaque être vivant, humain, animal, végétal, devient alors un organe de la Terre. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

POUR LA

Édition française de Scientific American

SCIENCE

numéro collector

NOVEMBRE 2018
N° 1



Les paradoxes du TEMPS

Le temps
est-il
une illusion ?

Le temps
a-t-il
une fin ?

Le temps
est-il
un luxe ?

Le temps
est-il le même
pour tous ?

BEL : 00 € - CAN : 00 CAD - DOM/S : 00 € - Réunion/A : 00 € - ESP : 00 € - GR : 00 € - ITA : 00 € - LUX : 00 € - MAR : 00 MAD - TOM : 0000 XPF - PORT. CONT. : 00 € - CH : 00 CHF - TUN/FS : 00 TND

Visuel non contractuel

Chez votre marchand de journaux
le 7 novembre

Suivez-nous sur :  @pourlasciencemag   @pourlascience



Le piège d'une dionée s'est refermé, implacable, sur l'impudent insecte qui s'était aventuré sur les feuilles de la plante. Il n'a pas eu le temps de s'enfuir, tant le mouvement fut rapide.

DES ANIMAUX COMME LES AUTRES ?

Sentir, écouter, voir, toucher... les plantes sont en de nombreux points comparables aux animaux quant à leurs capacités sensorielles. L'analogie va plus loin, avec notamment les nombreux moyens de communication dont les végétaux disposent. Les arbres échangent des informations par voie aérienne, mais aussi souterraine grâce à un *wood wide web* qu'ils tissent avec des champignons. Mieux, dans les plantes, des phénomènes bioélectriques s'apparentent à l'activité de neurones et mettent en jeu des acteurs moléculaires dont beaucoup sont homologues à ceux des animaux. C'est au point que l'on parle de neurobiologie végétale ! La frontière entre animal et végétal est assurément floue. D'ailleurs, existe-t-elle vraiment ?



L'ESSENTIEL

● On a longtemps cru les plantes passives et dépourvues de capacités perceptives.

● En réalité, elles sont sensibles à de multiples stimulus, telles la lumière ou la gravité, et sont même sensibles à leur propre posture.

● Elles sont aussi capables de mouvements rapides, fondés sur le gonflement réversible de certaines cellules, ou de mouvements lents, liés à la croissance, grâce auxquels elles se redressent, se courbent ou tournent sur elles-mêmes...

LES AUTEURS



CATHERINE LENNE est chercheuse au laboratoire Piaf (INRA-UCA), à l'université Clermont-Auvergne.



OLIVIER BODEAU était doctorant à l'Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques, à Paris.



BRUNO MOULIA dirige le laboratoire Piaf (INRA-UCA), à l'université Clermont-Auvergne.

Et pourtant elles bougent !

Se tourner vers le Soleil, s'enrouler sur un support, se rétracter lors d'un choc... Les plantes sont beaucoup plus mobiles qu'on ne le pense.

U

ne mouche, par l'odeur d'un nectar attirée, se pose sur une feuille étrange, hérissée de piquants. L'insecte, à la recherche de la nourriture promise, erre sur la surface verte et rouge. Elle effleure un poil, puis un second... et le piège se referme soudain, les deux parties de la feuille se rapprochent : les piquants deviennent des barreaux. La mouche ainsi emprisonnée est la victime d'une dionée attrape-mouche (*Dionaea muscipula*), une plante carnivore. Cette scène contredit de façon spectaculaire la supposée

Le palmier *Socratea exorrhiza* marche. En développant ses racines d'un côté et en abandonnant celles de l'autre, il peut se déplacer vers la lumière.

passivité des plantes. De fait, on a longtemps cru les plantes incapables de percevoir leur environnement et d'y répondre par des mouvements actifs adaptés (voir l'encadré page 20). Il est temps de déconstruire cette idée reçue.

Elle s'explique en partie par la lenteur de l'essentiel des mouvements en jeu. Mais ils sont réels : les fleurs s'ouvrent et se ferment, des tiges artificiellement penchées se redressent et s'élancent vers le ciel, les lianes explorent l'espace puis s'enroulent autour d'un support... Qui plus est, et la dionée attrape-mouche le prouve, certaines plantes sont même capables de mouvements rapides et étonnants.

Ces dernières années, notamment grâce à de nouvelles techniques d'imagerie *in vivo*, on a découvert chez les plantes une sensorimotricité complexe et généralisée. De quoi s'agit-il ? D'une sensibilité qui leur permet d'effectuer des mouvements adaptés à leur environnement. Par sensibilité, on entend une capacité à percevoir divers ➤

➤ stimuli (lumière, température, gravité, pression mécanique, substance chimique...). Et la motricité implique des mouvements actifs utilisant l'énergie des cellules. Cette sensorimotricité a probablement favorisé les plantes à fleurs (les Angiospermes) lorsqu'elles ont colonisé la terre ferme il y a environ 140 millions d'années.

Chez les animaux, les stimulus physiques ou chimiques sont captés par des cellules particulières et traduites en signaux électriques : les influx nerveux. Chez les espèces dotées d'un système nerveux central, ces signaux sont acheminés jusqu'au cerveau ou la moelle épinière, où ils sont intégrés avec d'autres informations pour former une perception de l'environnement extérieur. Une réaction motrice (mobilisant les muscles) peut alors se déclencher. Quand la moelle épinière est le seul centre nerveux impliqué, le mouvement est stéréotypé, c'est un réflexe.

Chez les plantes, les perceptions et les réactions qui s'ensuivent reposent à la fois sur des mécanismes locaux et sur la circulation d'hormones et de signaux électriques comparables, dans une certaine mesure, à l'influx nerveux (voir *La neurobiologie végétale, une idée folle ?*, par F. Bouteau, page 36). Les mouvements, en revanche, ne dépendent pas de muscles. Mais de quels mouvements parle-t-on ?

LA VISION DES PLANTES

L'étude des mouvements des plantes en réponse à des stimulus a fait l'objet d'une longue série de découvertes, qui s'accélèrent aujourd'hui. Au XIX^e siècle, Charles Darwin a étudié avec son fils Francis la réaction des plantes à une perturbation environnementale. Ils ont par exemple éclairé latéralement des graminées qui venaient de germer et constaté qu'elles se courbent lentement, finissant par s'aligner sur la direction de la source lumineuse. De tels mouvements directionnels en réaction à une anisotropie du milieu sont des tropismes (du grec *tropéin*, tourner).

Jusqu'à ces dernières années, les tropismes ont été classés selon la nature du facteur orientant le mouvement. Celui de l'expérience de Darwin est ainsi un phototropisme, lié à la lumière. À la fin des années 1990, les biologistes ont mis en évidence un autre type de phototropisme, associé à des longueurs d'onde particulières : lorsque des réflecteurs renvoient une lumière caractéristique de celle réfléchie par les tissus chlorophylliens des végétaux, les plantes situées à proximité s'en écartent (leur croissance s'oriente dans la direction opposée) ou accélèrent leur croissance en hauteur. Ainsi, les plantes « voient » leurs voisines (voir *Une communication pleine de sens*, par C. Lenne, page 30).

En 1999, l'un de nous (B. Mouliat) et ses collègues ont même montré qu'un plant de maïs peut détecter les autres végétaux à plus de trois

mètres de distance. Grâce à cette capacité sensorimotrice, les plantes évitent que leurs voisines ne leur fassent trop d'ombre, ce qui est utile dans la compétition entre espèces ou entre individus partageant la même niche écologique.

Il existe de multiples tropismes. L'héliotropisme, un type particulier de phototropisme, est lié à la course du soleil (ainsi, avant la floraison, le capitule du tournesol suit le soleil). Le gravitropisme est lié à la perception de la verticale (il peut concerner les racines, qui s'enfoncent dans le sol parallèlement au champ de pesanteur, ou les tiges et les troncs inclinés, qui se redressent vers le ciel). Le thigmotropisme est lié à une stimulation tactile (le grec *thigmo* signifie toucher). C'est ainsi que des lianes s'allongent jusqu'à toucher un support, puis s'enroulent autour de lui.

Distinctes des tropismes, les nasties sont des mouvements non orientés. Ils peuvent être déclenchés par la lumière (photonastie, comme avec le pissenlit qui s'ouvre le matin et

UN PLANT DE MAÏS PEUT DÉTECTER LES AUTRES VÉGÉTAUX À PLUS DE TROIS MÈTRES DE DISTANCE

se ferme plus tard dans la matinée), par la température ambiante (thermonastie, comme avec les tulipes qui s'ouvrent quand elles sont placées au chaud) ou par une stimulation tactile (thigmonastie).

Ce dernier cas est le premier exemple connu de sensorimotricité, car il est associé à des réponses rapides. C'est le cas de la dionée attrape-mouche, mais aussi de la sensitive (*Mimosa pudica*), une petite plante tropicale d'origine américaine, replie ses feuilles en quelques secondes quand on les touche.

Certaines plantes, tel le haricot, manifestent une troisième catégorie de mouvements actifs, la circumnutation consistant en des révolutions régulières : le sommet de la jeune tige monte en spirale, jusqu'à ce qu'il touche un support. La