

CARNETS
DE
SCIENCES

Yvan Kraepiel
Sylvain Raffaele

Le langage silencieux des plantes

éditions
Quæ

Yvan Kraepiel
Sylvain Raffaele

Le langage silencieux des plantes

Éditions Quæ

Dans la collection **Carnets de science**

Les secrets de la communication animale
Éric Darrouzet et Vincent Albouy
2022, 152 p.

La vie en milieu extrême
Juliette Ravaux et Sébastien Duperron
2022, 144 p.

Petite et grande histoire des céréales et légumes secs
Éric Birlouez
2022, 192 p.

Le vol chez les animaux
Jacques Blondel et Vincent Albouy
2021, 160 p.

Le peuple microbien
Laurent Palka
2020, 176 p.

Un avenir pour nos abeilles et nos apiculteurs
Vincent Albouy, Yves Le Conte
2020, 168 p.

Petite et grande histoire des légumes
Éric Birlouez
2020, 176 p.

Oiseaux marins, entre ciel et mers
Fabrice Genevois, Christophe Barbraud
2020, 200 p.

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com
www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2023

ISBN papier : 978-2-7592-3700-5
e-ISBN (pdf) : 978-2-7592-3701-2
x-ISBN (ePub) : 978-2-7592-3702-9
ISSN : 2110-2228



SOMMAIRE

<i>Le grand silence vert</i>	9
La table ouverte des plantes	13
Le menu préféré des plantes.....	13
Les plantes investissent dans l'aménagement du territoire.....	14
De beaux liens, bénéfiques et durables, se nouent au niveau des racines.....	18
Les racines ouvrent leur porte aux microorganismes bien intentionnés.....	26
Une canalisation fongique pour la communication entre plantes.....	34
Querelles de clocher et fourberies dans les racines.....	40
La course des plantes pour se faire une place au soleil.....	45
Les animaux appelés en renfort pour se nourrir.....	50
La procréation naturellement assistée chez les plantes	57
L'art de sous-traiter le rapprochement des gamètes.....	57
Le jeu de cache-cache des récompenses.....	63
La signalétique par les formes et les couleurs.....	71
L'enivrant parfum des fleurs.....	76
Des plantes qui crient et qui grésillent.....	81
Des signaux végétaux favorisent la dispersion des graines.....	84
Une recherche de l'âme sœur de plus en plus difficile.....	87

Dissuasion maraîchère et diplomatie végétale	89
Attaquées... mais pas sans défense.....	89
Les petits poisons donnent le ton.....	91
De l'art de l'esquive quand on est immobile.....	98
Le mélampyre contre-attaque (et les autres plantes aussi).....	110
Guerre du renseignement et course à l'armement.....	120
Entraide face aux agressions.....	129
Communiquer pour conquérir le monde	135
Des conquérantes sans peur.....	135
Les pionniers et la ruée vers l'hors (de l'eau).....	136
En vert et contre tout.....	144
Faire sa place parmi les autres plantes.....	154
<i>Une vie sociale en danger ?</i>	163
Pour en savoir plus.....	165
Crédits photographiques.....	168









LE GRAND SILENCE VERT

Le « monde du silence » popularisé par Jacques-Yves Cousteau est celui des profondeurs sous-marines. Il est un autre monde, peut-être plus familier, où la vie s'agite sans bruit, à travers mille et un processus invisibles à nos yeux : celui des plantes. À notre insu se déroulent pourtant des luttes impitoyables, tandis que se nouent et se dénouent des alliances. Chez nos voisines chlorophylliennes, des drames et des conquêtes épiques se jouent au quotidien, et ce depuis plusieurs centaines de millions d'années, en coulisses. Ce petit théâtre n'est pas muet : les plantes disposent d'un langage silencieux, ou plus exactement d'une multitude de langages, adaptés à des fonctions vitales et des interlocuteurs variés.

Quelques précisions de vocabulaire s'imposent. Le « langage des plantes » est le support de la communication qu'elles entretiennent avec leur environnement (et avec elles-mêmes). Qu'est-ce que la communication pour une plante ? De manière générique, on parle de communication quand un émetteur produit un message perçu par un récepteur, le récepteur modifiant son activité en fonction de l'information qu'il reçoit. Effectivement, les plantes échangent des messages avec d'autres plantes et avec d'autres organismes vivants comme les animaux ou les bactéries, et souvent en transmettent d'une partie d'elles-mêmes à une autre. Mais s'agit-il réellement de langages partagés avec les habitants de l'écosystème, ou faut-il plutôt considérer qu'il s'agit de sensibilités fines aux propriétés de l'environnement, « d'écoutes clandestines » ?

Un langage existe incontestablement lorsque l'émetteur et le récepteur partagent les mêmes codes d'abstraction qu'ils exploitent avec l'intention d'interagir. Même pour des spécialistes du comportement animal, démontrer une intention de façon objective est extrêmement difficile, voire impossible, chez la plupart des espèces. Chez les plantes, c'est complètement invisible. Coupons court à un fantasme séduisant, très prégnant dans l'imaginaire de certains : les plantes n'ont pas d'intention, ni de conscience que l'on puisse objectivement mettre en évidence. Il faut résister à la tentation anthropomorphe ; ces facultés ne sont pas indispensables aux plantes pour

Page de gauche

Les fleurs de ces Astéracées font office de récepteurs à lumière solaire et d'émetteurs de signaux à l'intention des insectes pollinisateurs.



communiquer. Évitant toute spéculation, les botanistes cherchent généralement des preuves que l'émission ou la réception d'un signal par une plante lui confère un avantage pour sa survie. Dans un tel cas de figure, le hasard et la sélection naturelle remplacent l'intention pour établir une relation fonctionnelle entre partenaires autour de l'échange d'un message. La relation entre émetteur et récepteur s'établit sur le temps long, celui de l'évolution, et produit des effets à la fois immédiats et de long terme.

Une particularité essentielle distingue les plantes des animaux : elles sont constituées de modules redondants et semi-autonomes, chacun capable de remplir la plupart des fonctions vitales. En matière de communication, cette architecture entraîne plusieurs conséquences. Tout d'abord, chacune des nombreuses feuilles d'une plante est en mesure de percevoir la lumière, de se défendre contre les agressions et de réguler sa transpiration. De ce fait, les plantes disposent de multiples copies des structures émettrices et réceptrices utiles à leur communication. C'est pourquoi la communication des plantes est parfois moins ciblée dans le temps et l'espace que celle qui s'entretient entre animaux. Les plantes tolèrent aussi plus facilement la perte d'une partie de

Des pins à l'assaut des sommets les plus escarpés dans le parc de Zhangjiajie, en Chine.





L'Acacia cornigera nourrit les fourmis de son service de sécurité avec des distributeurs de nectar et les abrite dans de grandes épinettes creuses visibles en rouge au premier plan.

leur structure que les animaux, qui s'en trouveraient handicapés. Cette tolérance leur permet de mettre en place des stratégies de communication fondées sur le sacrifice de cellules ou d'organes entiers, et autorise parfois les plantes à être plus sélectives que les animaux vis-à-vis des informations auxquelles elles répondent. Enfin, pour le bon fonctionnement de l'organisme végétal, l'architecture modulaire nécessite de maintenir une communication multidirectionnelle entre chaque organe ; chaque racine, feuille ou fleur peut être tour à tour émettrice ou réceptrice.

Les messages émis par ou pour les plantes sont souvent chimiques ou visuels. Nous n'en avons qu'une conscience superficielle : car si nous captions parfois une odeur à la volée, ou faisons une pause émerveillée devant les couleurs d'une fleur, nous baignons en permanence dans un incroyable réseau d'échanges sans nous en apercevoir ! Cet ouvrage nous invite ainsi à élargir notre perception pour apprendre à décrypter le langage caché des plantes. Dans les pages qui suivent, nous découvrirons tout d'abord comment les plantes communiquent pour se nourrir, en faisant par exemple appel à un microbe qui joue le traiteur à domicile. Nous verrons ensuite que le langage des plantes leur permet de se reproduire par « procréation assistée » et de se protéger, certaines entretenant même un service de sécurité ! Enfin, nous explorerons les manières astucieuses dont les plantes règlent les conflits entre voisines et partent à la conquête de territoires hostiles, parfois grâce à de précieux alliés.

Bienvenue dans le monde du silence vert !





La table ouverte des plantes

Dans nos jardins, dans nos logements, dans la nature, nous voyons que les plantes poussent : elles grandissent, épaississent et prennent du poids au fil des jours. Toute cette matière qui les compose, les plantes l'ont puisée dans leur environnement, l'ont transformée en exploitant l'énergie qu'elles ont pu capter, et l'ont agencée en structures végétales. Ces repas demandent une certaine organisation : avant de passer à table, les plantes se préparent grâce aux informations collectées sur leur environnement, et s'appuient sur les nombreux liens tissés avec d'autres organismes sur le terrain.

■ Le menu préféré des plantes

Les plantes se nourrissent dans leur environnement : elles puisent de l'eau et des minéraux dans le sol, absorbent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère, et captent l'énergie lumineuse provenant du soleil. Toutes ces ressources peuvent venir à manquer, ou du moins n'être pas présentes en quantité suffisante pour assurer une croissance optimale. Les ressources disponibles dans le sol, notamment, s'épuisent à proximité des racines qui les absorbent, et l'eau n'est pas toujours abondante ; des voisins encombrants sont susceptibles de masquer la lumière du soleil ; même le dioxyde de carbone peut être limitant, surtout quand les pores situés à la surface des feuilles, appelés stomates, spécialisés dans les échanges gazeux, sont fermés (les plantes évitent ainsi les pertes d'eau vers une atmosphère trop sèche).

Au cours de l'évolution, les plantes ont acquis la capacité de détecter leur voisinage et d'adapter leur croissance à la présence de compétiteurs. Elles ont aussi développé des associations à bénéfices réciproques, appelées mutualistes, avec d'autres organismes, souvent des bactéries ou des champignons,

Page de gauche

Les plantes carnivores comme cette *Drosera* tirent leur énergie de la capture d'insectes ou, comme les autres plantes, de la lumière du soleil.



Les plantes s'adaptent à leur environnement où elles puisent l'eau, les minéraux et l'énergie nécessaires à leur croissance.



afin de mieux absorber l'eau et les minéraux du sol. Certaines plantes produisent des molécules toxiques, évitant ainsi l'installation de voisins trop compétitifs ; tandis que d'autres, les plantes parasites, exploitent des ressources acquises par d'autres végétaux.

Toutes ces interactions entre les plantes et le monde vivant environnant impliquent des moyens de communication élaborés : elles perçoivent ainsi des signaux émis par les autres organismes, sont capables de produire des signaux à destination des organismes récepteurs, ou encore ajustent leur croissance et modifient leur métabolisme en fonction des informations échangées.

■ Les plantes investissent dans l'aménagement du territoire

Le sol forme un écosystème où l'activité des microorganismes rend disponibles les ressources nécessaires à la croissance des plantes. Les végétaux mobilisent beaucoup d'énergie à attirer, loger et nourrir ces voisins bien utiles ; découvrons comment.

L'aide alimentaire aux microorganismes du sol

Le sol constitue, au même titre que l'atmosphère, le milieu de vie de la plante. Les racines s'y étendent, ancrant l'organisme, et y puisent eau et éléments nutritifs. De nombreux éléments sont essentiels pour la plante, dont l'azote, le phosphore et le soufre. L'azote (N) se trouve dans le sol sous forme



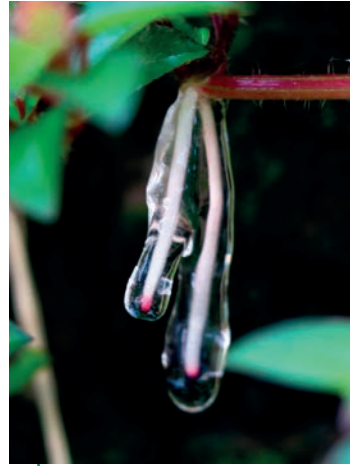
de nitrate (ion NO_3^-) ou d'ammonium (ion NH_4^+), le phosphore (P) est disponible sous forme de phosphates (ions HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^-), et le soufre (S) sous forme de sulfate (SO_4^{2-}). Les plantes ont également besoin d'éléments métalliques (fer, cuivre, zinc, etc.), de calcium et de magnésium ; la liste n'est pas exhaustive.

Ammonium, phosphates et sulfate proviennent essentiellement de la décomposition de la matière organique du sol par les bactéries et les champignons qui s'y trouvent. Leur disponibilité pour les plantes dépend ainsi de l'activité microbienne à proximité des racines ; c'est pourquoi il est très avantageux, pour une plante, de favoriser le développement des populations de microorganismes du sol dans son environnement proche. Elle y consacre donc une part importante de son énergie, en sécrétant par les racines des molécules organiques qui représentent jusqu'à 15 % des produits de la photosynthèse. Parmi toutes les sécrétions racinaires, ou rhizodépôts, on distingue les polysaccharides non solubles constituant les mucilages, et les molécules solubles (sucres simples, acides aminés, acides organiques, etc.) appelées exsudats racinaires. Les microorganismes exploitent les molécules présentes dans les sécrétions racinaires en tant que source d'énergie, et libèrent en retour, dans cette zone, des molécules minérales nécessaires à la plante. La portion de sol dont la composition et les caractéristiques physico-chimiques sont sous l'influence directe des rhizodépôts s'appelle la rhizosphère.

Les maïs géants des variétés Rojo, Piedra Blanca et Llano, cultivées au Mexique dans la région de Oaxaca, constituent un exemple frappant de cette exsudation au profit de microorganismes. Dans leur cas, ce sont des racines aériennes, se formant au niveau de chaque entre-nœud, qui produisent un abondant mucilage riche en sucres. Un véritable bouillon de culture ! Le microbiome s'installant dans ces sécrétions est particulièrement riche en espèces bactériennes dites fixatrices d'azote, capables de transformer le diazote atmosphérique (N_2) en ions NH_4^+ , source d'azote utilisable par la plante. Cette association mutualiste coûte très cher au maïs et n'est mise en place que lorsque le sol est pauvre en azote. Le bénéfice apporté par le métabolisme des bactéries dépasse alors le coût de production du mucilage.

Quand les plantes choisissent leurs amis

Les plantes manquent souvent d'azote pour exprimer tout leur potentiel de croissance. Cet élément est très abondant sur Terre, que ce soit dans l'atmosphère (où il représente plus de 78 % en volume) ou dans les roches, mais il y est présent sous des formes très stables que les plantes ne sont pas en mesure d'exploiter. Elles ont donc essentiellement accès à l'azote libéré de la matière organique du sol par les microorganismes.



Les racines adventives de certaines plantes (ici, le rhododendron de Malabar) produisent d'abondantes sécrétions où prolifèrent bactéries et champignons.



Selon les espèces et les conditions dans lesquelles elles se trouvent, les plantes préfèrent soit l'ammonium libéré directement de la matière organique, soit le nitrate, issu de son oxydation, produits du métabolisme de la faune et des microorganismes du sol. Ces deux formes d'azote minéral ont des propriétés très différentes. Les ions ammonium sont très vite toxiques pour les cellules, mais moins coûteux à utiliser, et ils restent plus longtemps disponibles dans le sol, y étant immobilisés par ses particules. Les nitrates, moins toxiques, sont souvent majoritaires du fait du métabolisme microbien intense qui les fabrique au cours du processus de nitrification, mais ils sont la cause d'une immense perte d'azote pour le sol. Ils sont en effet très abondamment lessivés par les eaux de pluie ou transformés en composés gazeux comme l'oxyde nitrique (NO), l'oxyde nitreux (N₂O) ou le diazote par les métabolismes respiratoires anaérobies de certains champignons, bactéries ou archées (des processus regroupés sous le terme de dénitrification).

Les savanes africaines humides ont fait l'objet d'études très approfondies sur le rôle des plantes dans le contrôle des populations de microorganismes du sol qui sont impliqués dans le cycle de l'azote. En effet, ces savanes posent un paradoxe écologique majeur : ce sont les écosystèmes les plus productifs sur Terre après les forêts tropicales humides, alors qu'ils sont soumis à un régime de feux et de sécheresses récurrents et que leurs sols sont très pauvres en azote. Comment expliquer leur extraordinaire vigueur ? La réponse réside dans la capacité des Poacées (les graminées) pérennes à inhiber la nitrification. En effet, les touffes d'herbes durablement installées libèrent dans le sol, par leurs exsudats racinaires ou lors de la décomposition de leurs feuilles tombées par terre, des molécules bloquant le métabolisme de nitrification des bactéries et des archées. Cette inhibition se fait très localement grâce à des molécules plutôt hydrophobes peu mobiles, comme des polyphénols et des dérivés d'acides gras, ou à plus grande distance par des molécules hydrophiles plus mobiles comme des flavonoïdes. En tout, une dizaine de molécules inhibitrices de la nitrification ont été identifiées, dont la sorgoléone (il en sera de nouveau question au moment d'aborder les relations de compétition entre plantes) ; mais il est probable que les analyses futures sur de nouvelles plantes inhibitrices en révéleront d'autres. L'inhibition de la nitrification empêche l'oxydation de l'ammonium en nitrates dans le sol, et favorise donc la rétention de l'azote utilisable par les plantes. Ces écosystèmes soumis à de forts stress, tels que les feux et la sécheresse, restent ainsi productifs parce qu'ils disposent d'un apport d'azote permanent, cet apport leur permettant une reprise rapide et intense de la végétation dès que les conditions sont favorables.

Cette capacité des plantes à empêcher le développement des populations de microorganismes impliqués dans la nitrification se retrouve chez certaines variétés de blé, de maïs, de riz et de sorgho. Elle pourrait être mise à profit



dans le cadre d'une agriculture durable pour mieux utiliser les engrais azotés, dont 50 à 70 % des éléments nutritifs sont actuellement perdus dans les nappes phréatiques, dans les rivières et dans l'atmosphère. En cultivant ces variétés et en réduisant l'apport d'engrais, on éviterait le déclenchement de marées vertes au niveau local ; on limiterait également l'impact des engrais, de façon globale, sur le réchauffement climatique. L'oxyde nitreux libéré au cours de la dénitrification contribue 300 fois plus à l'effet de serre que le dioxyde de carbone !

Notons que dans les savanes africaines humides où les Poacées pérennes participent très activement à la conservation de l'azote du sol par inhibition de la nitrification, de nombreux arbres, *a contrario*, la stimulent. Ces arbres se développent d'abord de façon isolée, puis forment des bosquets. Leur système racinaire étant beaucoup plus étendu que celui des touffes d'herbes, il exploite efficacement l'azote ayant migré en profondeur sous forme de nitrates. Pour les arbres, la stimulation de la nitrification serait ainsi un moyen indirect, *via* les microorganismes favorisés, d'entrer en compétition avec les Poacées. Dans ces savanes, les populations microbiennes du sol sont donc très différentes selon la végétation qui s'y installe.



La savane humide de Lamto, en Côte d'Ivoire, se compose de Poacées, qui inhibent la nitrification, et d'arbres isolés ou en bosquets, qui la stimulent.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Dans de nombreuses régions du monde, de la Chine au Mexique et au Canada, le maïs, le haricot grimpant et les courges sont cultivés en association étroite, chaque espèce étant bénéfique aux autres. C'est la culture des trois sœurs inspirée des cultures traditionnelles des peuples autochtones d'Amérique du Nord et d'Amérique centrale. L'association symbiotique du haricot avec des bactéries fixatrices d'azote enrichit le sol en nutriments azotés. Le maïs sert de tuteur au haricot. Et la courge, par ses larges feuilles couvrantes, garde l'humidité du sol et réduit le développement de plantes adventices. Récemment, les chercheurs ont découvert que, au-delà des avantages très matériels qu'il apporte au haricot, le maïs stimule la communauté bactérienne fixatrice d'azote s'y associant et augmente encore l'effet bénéfique du haricot pour la communauté.



Un des secrets de la réussite de la renouée du Japon, plante invasive dans nos territoires, est sa capacité à augmenter les concentrations en nitrate des sols où elle s'installe.

La recherche de pratiques agricoles durables a stimulé l'analyse de l'interaction entre les plantes et les microorganismes du sol, et nous pouvons espérer, dans les prochaines années, des découvertes majeures dans ce domaine. Nous avons détaillé le cas de la savane africaine humide, mais les exemples sont légion. Ainsi, la renouée du Japon, plante invasive particulièrement problématique en Europe et en Amérique du Nord, et les espèces qui lui sont proches, produisent dans leurs racines des molécules inhibitrices de la dénitrification, et donc susceptibles d'augmenter les teneurs en nitrates disponibles dans le sol. Par ailleurs, le maïs sécrète dans le sol des flavonoïdes qui favorisent l'association symbiotique du haricot avec des bactéries fixatrices d'azote. Il est donc raisonnable de penser que les plantes possèdent un arsenal chimique très développé leur permettant, selon leurs préfé-

rences en matière de nutriments azotés et en fonction de leur milieu de vie et des espèces avoisinantes, de favoriser les populations microbiennes dont le métabolisme leur est profitable.

■ De beaux liens, bénéfiques et durables, se nouent au niveau des racines

Les exsudats racinaires influencent non seulement l'activité métabolique des microorganismes du sol mais ils font aussi office de cartons d'invitation pour organismes de bonne volonté ! Ils contiennent en effet en petites quantités des molécules signalant la présence des racines à des champignons ou à des bactéries capables de s'associer durablement avec celles-ci. Une fois la rencontre