



HAL
open science

Les végétaux doués d'intelligence? Aspects historiques et philosophiques. Eléments de synthèse des capacités cognitives et des mécanismes. Nouvelles approches biorobotiques

Jean-Pierre Damiano

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Damiano. Les végétaux doués d'intelligence? Aspects historiques et philosophiques. Eléments de synthèse des capacités cognitives et des mécanismes. Nouvelles approches biorobotiques. Bulletin de l'IESF Côte d'Azur, 2020. hal-03744904

HAL Id: hal-03744904

<https://hal.science/hal-03744904>

Submitted on 3 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les végétaux doués d'intelligence ?

Aspects historiques et philosophiques. Eléments de synthèse des capacités cognitives et des mécanismes. Nouvelles approches biorobotiques.

Plants with intelligence?

Historical and philosophical aspects. Elements of synthesis of cognitive capacities and mechanisms. New biorobotic approaches.

Jean-Pierre DAMIANO

Ancien ingénieur de recherches (Université Côte d'Azur CNRS)

jean-pierre.damiano@univ-cotedazur.fr

Résumé

Face aux enjeux de l'humanité en termes de protection des écosystèmes vitaux de la Terre, la technologie n'est pas la réponse unique pour trouver des innovations répondant aux problèmes posés. En effet, la nature nous offre ses propres solutions à des situations complexes comme l'adaptation à l'environnement, le stockage du carbone ou la sauvegarde de la biodiversité. Les études de botanique, depuis l'Antiquité, ont conduit à diverses considérations sur les végétaux et en particulier sur les plantes et les arbres. Les philosophes ont émis de nombreuses théories et de nouveaux courants sont apparus suite aux découvertes actuelles.

Sous leur apparente simplicité, les mécanismes d'évolution, d'adaptation, de prévention ou de défense, font preuve d'une telle ingéniosité que l'on peut être tenté d'employer le terme d'intelligence bien qu'il n'y ait pas d'organe central. Après une brève description des plantes et des arbres, cet article expose des résultats récents de recherche sur la cognition végétale, la communication, les capacités de perception ou d'exploration du sol, etc. De nouvelles approches en biorobotique sont présentées. Elles conduisent, par exemple, à la conception de robots « végétaux » mettant en œuvre les aptitudes des plantes.

L'auteur ne prétend pas analyser, de manière exhaustive, tous les aspects de l'intelligence du végétal mais exposer de nombreux éléments probants pour donner envie d'en savoir plus. Les images ou figures présentées sont la propriété des organismes ou auteurs cités comme source. Des références bibliographiques et des liens vers les sites d'organismes et d'institutions sont indiqués.

Mots-clefs

Intelligence, végétaux, plantes, arbres, cognition végétale, innovation, biodiversité, bio-inspiré, biorobotique, communication, mouvements, proprioception, mécanismes, mémoire, signaux chimiques, signaux physiques, écologie, éthologie végétale, biotechnologie, recherche.

Abstract

Faced with the challenges of humanity in terms of protecting the Earth's vital ecosystems, technology is not the only answer to find innovations to address the problems posed. Indeed, nature offers us its own solutions to complex situations such as adapting to the environment, storing carbon or safeguarding biodiversity. Botanical studies, since Antiquity, have led to various considerations about plants and in particular about plants and trees. Philosophers have put forward numerous theories and new currents have appeared following current discoveries. Under their apparent simplicity, the mechanisms of evolution, adaptation, prevention or defense, show such ingenuity that one may be tempted to use the term intelligence although there is no central organ. After a brief description of plants and trees, this article presents recent research results on plant cognition, communication, perception or soil exploration capacities, etc. New approaches in biorobotics are presented. They lead, for example, to the design of "plant" robots using the abilities of plants.

The author does not pretend to analyze, in an exhaustive way, all the aspects of plant intelligence, but to expose many convincing elements to make people want to know more. The images or figures presented are the property of the organizations or authors cited as sources. Bibliographical references and links to the sites of organizations and institutions are indicated.

Keywords

Intelligence, plants, trees, plant cognition, innovation, biodiversity, bio-inspired, biorobotics, communication, movement, proprioception, mechanisms, memory, chemical signals, physical signals, ecology, plant ethology, biotechnology, research

Introduction

Les découvertes récentes de l'épigénétique (étude des influences de l'environnement sur l'expression des gènes d'un organisme), de la physiologie ou de l'immunologie végétale ont initié de nouvelles voies de recherche. Ainsi, aujourd'hui, la recherche en biologie végétale est en plein essor et de nombreux projets sont en cours en France et à l'international. Ils concernent la cognition végétale, la mémoire, la communication, les capacités de perception ou d'adaptation à l'environnement, la reproduction, l'entraide, etc. Chaque espèce végétale est une remarquable innovation qui perdure depuis des millions d'années, s'enrichissant des expériences vécues.

S'inspirer de mécanismes naturels - issus des animaux, des plantes, des champignons, etc. - pour innover avec l'aide de nouvelles technologies constitue la bioinspiration. Les recherches effectuées conduisent au biomimétisme : concevoir des technologies en vue de déterminer des stratégies, élaborer des matériaux ou des procédés novateurs au service de l'humanité, moins impactant sur les écosystèmes. Des approches biorobotiques - conception de nouveaux systèmes de robots végétaux alliant des technologies matérielles et logicielles - sont exposées. Elles mettent en œuvre les capacités des plantes à percevoir, à surveiller l'environnement ou encore à explorer le sol à la recherche de nutriments. De nombreuses études publiées font part des connaissances acquises sur les propriétés structurelles, fonctionnelles et physiologiques des plantes et de leurs principes opérationnels. Les travaux ont démontré que, dans l'ensemble des végétaux, plusieurs centaines de capteurs sensoriels de type thermique, mécanique, chimique, lumineux, etc. avaient été isolés. De nombreux projets et initiatives européennes sont présentés : les réalisations sont inspirées du système racinaire des plantes ou des arbres et de leur faculté d'exploration du sous-sol, des capacités étonnantes des plantes grimpantes, des solutions de croissance en milieu extrême, etc.

Selon une étude de la distribution mondiale de la biomasse, la masse totale des êtres vivants sur Terre est estimée à 550 milliards de tonnes de carbone (en excluant la masse d'eau variant d'un être à l'autre). L'humanité n'en représente qu'environ 0,01 % ! Le végétal est estimé à 82 %, les bactéries 12,7 % et les champignons 2,2 %. Les animaux comptent pour 0,4 % mais les virus représentent environ 0,04 % [Source : [Yinon M. Bar-On et al](#), 2018].

Aspects historiques

Dès le début de leur histoire, les humains interagissent avec les végétaux que cela soit pour se nourrir, se loger, se soigner, se vêtir, fabriquer des armes, etc. Deux ou trois millénaires avant Jésus-Christ, des savants chinois avaient tenté de classifier les plantes. Le philosophe [Aristote](#) (-384 à -322) consacra nombre de ses études à la botanique et proposa une classification des êtres vivants en fonction de la nature de leur âme. A la même époque, le philosophe grec, [Théophraste](#) (-371 à -288), à la fois botaniste, naturaliste et alchimiste peut être considéré comme le fondateur de la botanique. En effet, il a effectué un inventaire raisonné des plantes et de leur milieu, décrit leur morphologie et établit une classification des végétaux. Mais ses textes furent perdus.

Deux militaires romains ont contribué à améliorer la connaissance des plantes grâce à leurs voyages, à savoir : [Pline l'Ancien](#) (-23 à -79) et [Pedanius Dioscoride](#) (20 :40-90) réputés pour leurs ouvrages sur les plantes médicinales. Au XIII^e siècle, c'est un moine allemand, [Albert le Grand](#) connu sous le nom d'*Albertus Magnus* (1193/1205-1280) qui classa quelques centaines d'espèces végétales en comparant leur structure. Puis, au cours du Moyen-Age, des savants ont mené des recherches et ont obtenu des résultats certains. Mais jusqu'au XV^e siècle, époque à laquelle les textes de Théophraste furent retrouvés, c'est la doctrine d'Aristote qui primait : à savoir la supériorité supposée de l'homme sur le reste du vivant. En effet Théophraste traitait les végétaux autrement. : ils n'étaient pas qu'une simple matière passive et insensible.

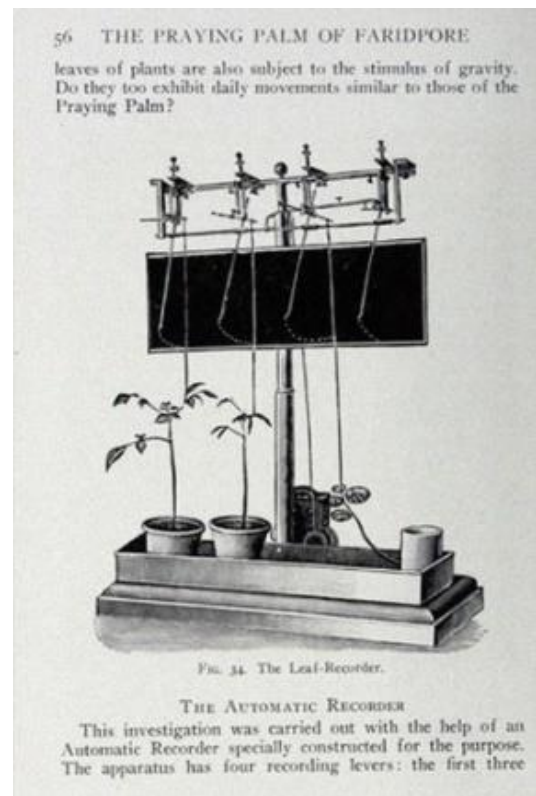
[Léonard de Vinci](#) (1452-1519) décrivait la stratégie des feuilles pour capter la lumière du soleil, entre autres observations et études, dans le manuscrit G « *Dessins et notes à la sanguine sur les plantes et leur croissance* » (Institut de France). Au XVIII^e siècle, le botaniste suédois [Carl von Linné](#) (1707-1778) proposa la classification binomiale et son ouvrage « *Systema Naturae* » fut une référence durant de nombreuses décennies. Le naturaliste français Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet connu sous le nom de [Jean-Baptiste de Lamarck](#) (1744-1829) postulait que les plantes avaient une « mémoire » suite aux expériences réalisées autour de la plante sensitive ou *Mimosa pudica*, douée de mouvements rapides visibles.

Au XIX^e siècle, les lois de la génétique découvertes par [Gregor Mendel](#) (1822-1884) et [Hugo De Vries](#) (1848-1935), grâce à l'arrivée de la microscopie électronique et de la biologie moléculaire, ont permis une évolution significative de la classification. Le naturaliste anglais [Charles Darwin](#) (1809-1882) a mis en valeur la véritable place des plantes et leurs étonnantes capacités. Ses travaux l'ont amené à déclarer en 1880 : « *Il n'est guère exagéré de dire que l'extrémité de la radicule ainsi dotée, et ayant le pouvoir de diriger les mouvements des parties contiguës, agit comme le cerveau des animaux inférieurs* » [Source : traduit de [La Faculté motrice dans les plantes](#)]. Les plantes se révèlent très complexes dans leur fonctionnement et dans les stratégies qu'elles mettent en œuvre.

Fin du XIX^e siècle et début du XX^e siècle, des expérimentations utilisant des appareils d'analyse du mouvement et des techniques de traçage graphique associées à des moyens photographiques et cinématographiques ont été réalisées. Elles ont montré que les plantes avaient la capacité de bouger, de réagir à un *stimulus*, de jeunes tiges percer le sol, des fleurs fleurir soudainement, etc.

[Jagadish Chandra Bose](#) (1858-1937), professeur de physique au Presidency College (aujourd'hui l'université de Calcutta), effectua des recherches novatrices sur les ondes radioélectriques, les micro-ondes et les semi-conducteurs. Dès 1895, il montra comment des ondes électromagnétiques pouvaient être transmises sans fil à travers l'air, au travers des murs, et même des corps. Il découvrit que les réactions des tissus végétaux à divers stimulants sont acheminées électriquement plus lentement que dans le cas des animaux. Il inventa un appareil, le crescographe, pour mesurer précisément les changements infimes dans la croissance des végétaux.

[Plant Autographs and their Revelations](#) (1927)



De nombreux livres ont été publiés sur la sensibilité végétale et sur les rapports entre la plante et l'homme. Ils ont provoqué, bien souvent, des tollés de la part des scientifiques qui reprochaient le manque de rigueur dans les affirmations des auteurs. Certains ouvrages ont fait l'objet d'une adaptation cinématographique. C'est le cas, par exemple, de la vie secrète des plantes ([The Secret Life of Plants](#)) de Peter Tompkins et Christopher Bird (1973, réédité en 2018). Il relate des expériences controversées prétendant révéler des phénomènes inhabituels de la part des plantes. Le film est sorti en 1978 (Walton Green, Paramount) [Source : [Teresa Castro](#) (2019)].

Aspects philosophiques

Les aspects philosophiques sont abordés avec les nouveaux philosophes, depuis une vingtaine d'années, travaillant sur l'intelligence des plantes entre autres. L'étude de la vie végétale a fait prendre conscience que la notion d'individu a évolué. Une plante peut être considérée comme un seul individu ou comme plusieurs, suivant le pouvoir de régénérescence : elle fonctionne comme une *collectivité*.

Des scientifiques tels [Francis Hallé](#), botaniste et dendrologue français (université de Montpellier) et [Jeremy Narby](#), anthropologue canadien, préfèrent mettre en valeur le comportement végétal (éthologie végétale) : « *Est intelligent tout être vivant qui parvient à résoudre les problèmes qu'il rencontre au cours de sa vie. Cela repose sur deux aptitudes, savoir apprendre et savoir garder en mémoire ce qui a été appris pour l'utiliser par la suite* ».

Il est bon de rappeler que le mot intelligence renvoie à des observations, à des expériences et à des comparaisons avec des analyses théoriques. [Pierre Oléron](#), 1997 : « *Traiter de l'intelligence revient à exposer les connaissances acquises et, au plus, ouvrir les perspectives selon lesquelles d'autres pourraient l'être* ». Lorsqu'on traite de l'adaptation, la compréhension des faits, d'un point de vue scientifique, nécessite de s'interroger sur la manière dont l'organisme s'adapte à son environnement (température, hydrométrie, lumière, composition chimique de sols, etc.). C'est ainsi que seront mis en exergue, les mécanismes physiques, chimiques ou physiologiques expliquant les conditions de l'adaptation. Selon [Meriem Fournier et Bruno Moulia](#) (2018) : « *Si l'intelligence est un ensemble de processus qui permet d'apprendre ou de s'adapter à des situations nouvelles, alors les plantes sont intelligentes* ». Certains chercheurs préfèrent les termes de cognition ou de conscience végétale [Source : [Balises / BPI](#)].

De nombreux ouvrages ont paru sur le ressenti des arbres et des plantes, les sentiments qu'ils pouvaient provoquer ou sur l'indistinction du vivant en général. Ainsi, la philosophe [Florence Burgat](#) (*Qu'est-ce qu'une plante ? Essai sur la vie végétale*, 2020), propose une phénoménologie de la vie végétale où elle critique ouvertement ce "règne de l'indistinction" qui supprime les différences fondamentales entre les règnes animal et végétal [La phénoménologie est un courant de pensée du XX^e siècle fondé par Edmund Husserl dans l'optique de faire de la philosophie une discipline scientifique : elle appréhende la réalité telle qu'elle se donne, à travers les phénomènes ([Wikipédia](#))]. Ces propos viennent s'opposer aux arguments développés (favorables à une mise en œuvre d'une ontologie des arbres, des plantes ou du végétal en général) par d'autres philosophes, par exemple :

- [Emanuele Coccia](#) (*La Vie des plantes. Une métaphysique du mélange*, 2016) pour laquelle les plantes en créant et alimentant l'atmosphère terrestre, sont un lien vital pour le monde.
- [Ernst Zürcher](#) (*Les arbres, entre visible et invisible*, 2016) qui démontre que les arbres, donc les forêts constituent un atout, un allié indispensable pour aider les humains dans le contexte actuel de changement climatique.
- [Peter Wohlleben](#) (*La Vie Secrète des Arbres*, 2017) pour lequel les arbres savent mémoriser et communiquer avec leurs semblables en envoyant, par leurs racines, des signaux à travers un réseau souterrain de champignons (*Wood Wide Web*). Les souches d'arbres, nourries par leurs voisins vivants, participeraient à la mémoire collective et seraient ainsi plus réactifs à une situation donnée.
- [Quentin Hiernaux](#) et [Benoît Timmermans](#) (*Philosophie du végétal*, 2019) sont favorables à une philosophie nouvelle dans laquelle les végétaux sont primordiaux et essentiels pour toute forme de vie terrestre et donc aussi pour les humains.
- [Jacques Tassin](#) (*Penser comme un arbre*, 2020) dont les arguments montrent que les arbres seraient un modèle écologique et une source d'inspiration pour nos civilisations qui, dans la majorité, ont oublié ce que l'humanité doit au végétal.

Selon l'anthropologue [Philippe Descola](#) (professeur au Collège de France), il n'existe pas de définition anthropologique de l'intelligence, et pas d'universalité de l'idée de l'intelligence non plus. Si les humains sont doués de dispositions cognitives et morales déniées aux non-humains, il reste dans l'esprit que, dans notre schéma mental, la hiérarchie des êtres d'Aristote place les plantes au-dessous des animaux et des humains.

[Florence Burgat](#) considère que les notions de sentiments, d'émotion, d'amitié ou de solidarité envers les arbres, et donc la Déclaration du droit des arbres (proposée par l'association A.R.B.R.E.S en avril 2019 à l'Assemblée nationale), ne seraient que des « *faibles racoleuses* ». Elle démontre que la souffrance végétale n'est pas à traiter de la même manière que la souffrance animale :

« *Cette question de la souffrance et de la mort est un fil conducteur de ma démonstration, parce qu'il apparaît précisément que, si les êtres humains et animaux ont une vie, une existence finie qui commence par une naissance et qui se termine par la mort au terme d'une dégénérescence, il en va tout autrement pour les plantes. (...) Il y a une immortalité potentielle des plantes, nous montrent les biologistes.* ».

Cette question du système nerveux et de la souffrance des êtres amène à considérer qu'un animal peut souffrir car il dispose d'un système nerveux alors qu'un végétal présente un cas différent car il en est dépourvu et qu'aucune démonstration d'une souffrance n'a été effective.

Cependant, depuis quelques années, la définition de l'intelligence prend en compte des caractéristiques étendues expliquant l'intelligence en essaim de divers organismes sociaux (insectes, oiseaux, poissons, bactéries, etc.) et l'intelligence artificielle (celle développée aujourd'hui avec l'apport de l'informatique, de la puissance des machines et des réseaux de communication). Il est alors juste de parler de l'intelligence des plantes en prenant soin de la distinguer de l'intelligence animale, qui exige un système nerveux [Source : [Antropologie de la Nature](#)].

En 2008, un manifeste publié dans *Trends in Plant Science*, mené par l'Italien [Amedeo Alpi](#) (université de Pise), signé par trente-six biologistes européens et nord-américains, dénonçait l'emploi du mot « *neurobiologie* », qui sous-entendrait une intelligence des plantes.

Des chercheurs ont développé, depuis plusieurs dizaines d'années, des programmes de recherche et des enseignements supérieurs, grâce à des projets et à des soutiens financiers nationaux et internationaux. Ces travaux concernent une meilleure connaissance de la vie végétale et de ses composantes. Certains sont exposés dans cet article. Les chercheurs considèrent l'intelligence du végétal comme la capacité d'un organisme à résoudre des problèmes et à atteindre ses objectifs en s'adaptant à son environnement et en communiquant avec des végétaux voisins ou d'autres organismes. Ainsi, une plante développera des facultés d'adaptation à son milieu en modifiant sa croissance et la structure de son corps : elle doit faire des choix parmi les possibilités qui se présentent.

Les études démontrent que les végétaux sont à la base des écosystèmes. Leurs expériences de survie, souvent en milieux hostiles, ont permis de constituer les sols, l'environnement terrestre actuel et l'atmosphère qu'ils contribuent à nourrir et que nous respirons. Aussi certains philosophes plaident pour une éthique végétale contenant une éthique alimentaire pour s'opposer à la culture intensive ou aux pesticides [Source : [Le "corps intelligent" des végétaux ébranle notre philosophie](#), Sonya Faure].

L'hypothèse d'une intelligence végétale s'élabore aussi bien sur un plan scientifique que philosophique sans oublier le cadre du cinéma, de la musique et de la culture visuelle. C'était l'objet de la rencontre autour de la sensibilité végétale, [Les imaginaires de l'intelligence végétale](#) au Museum national d'histoire naturelle (Paris) en octobre 2019 :

selon le biologiste Marc-André Selosse, « le monde végétal fascine de plus en plus et la part de sensibilité ou d'émotion qui s'y associent font que le public redécouvre cette nature vivante qu'il avait délaissée ».

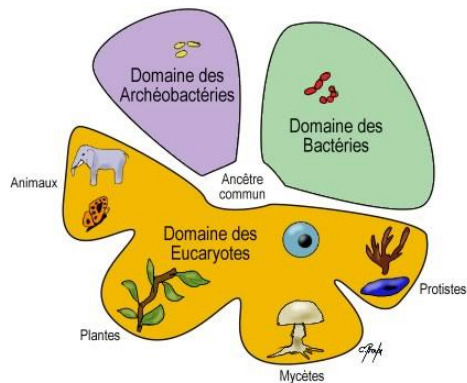
A propos des végétaux

Généralement, la classification des organismes vivants est constituée de cinq règnes - règne des Monères (bactéries et algues bleues), règne des Protistes (protozoaires et algues unicellulaires), règne des Mycètes (champignons), règne des Végétaux et règne des Animaux. Le règne des Végétaux (*Plantae*, [Ernst Haeckel](#) 1866) comprend les plantes terrestres, les algues vertes, rouges et brunes, ainsi que les champignons, pour former les végétaux « communs ».

Les Eucaryotes correspondent aux organismes multicellulaires (animaux, plantes, champignons) avec quelques eucaryotes unicellulaires. Ces derniers constituent les protistes de type animal (les protozoaires) et végétal (les protophytes).

Les plantes se différencient en plantes non vasculaires (champignons, mousses, etc.) et vasculaires, avec ou sans fleurs, dotées de vaisseaux pour la circulation de l'eau et des éléments nutritifs. Certaines ont un système racinaire, caulinaire (tiges, feuilles). Elles se reproduisent majoritairement par des graines et parfois par des spores.

Environ 300 000 espèces sont répertoriées.



Les domaines du vivant, [Chantal Proulx](#) [Source : Marc-André Selosse, Jacques Joyard, [Symbiose et évolution : à l'origine de la cellule eucaryote](#). (2020)].

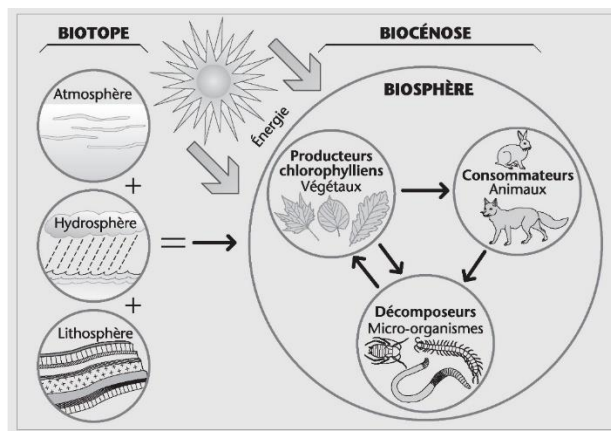
Les écosystèmes

En écologie, un **écosystème** est un ensemble formé par une communauté d'êtres vivants en interrelation (biocénose) avec son environnement (biotope).

Ses composants développent un dense réseau de dépendances, d'échanges d'énergie, d'informations et de matière permettant le maintien et le développement de la vie [Source : [Wikipedia](#)].

Les principales propriétés des écosystèmes sont l'organisation pour une fonction collective et l'organisation hiérarchique obligatoire assurant la stabilité de l'ensemble.

Ses caractéristiques sont l'existence de stratégies de reproduction, de stratégies d'adaptation par rapport à l'environnement et d'évolution vers un système plus complexe.



[Source : A. Boutaud, N. Gondran, [L'empreinte écologique](#) (2018)].

Les êtres vivants se répartissent en trois catégories :

- Les **producteurs**, souvent des végétaux, sont capables de fabriquer leur propre nourriture (la cellulose, matière organique) par la photosynthèse à partir de matière non organique (minéraux et métaux) : ce sont des êtres autotrophes. Ils rejettent, dans l'air, de l'oxygène (O₂) qui nous est indispensable. Ils sont à l'origine de toute chaîne alimentaire.
- Les **consommateurs** regroupent les herbivores, les carnivores primaires (se nourrissant d'espèces herbivores) et les carnivores secondaires (se nourrissant de carnivores primaires). Ils sont incapables de produire leur propre nourriture. Ils la cherchent en se déplaçant ou en filtrant l'eau s'ils vivent au fond des mers.
- Les **décomposeurs** (champignons, bactéries, animaux détritivores et saprophages) transforment la matière organique des organismes morts en substances minérales

Les [végétaux](#) ont une organisation invariable constituée de racines, tiges et feuilles, avec évidemment des variantes selon les espèces, comme des structures liées à la reproduction (les fleurs et les fruits). Dans le cas des plantes à fleurs :

- La tige porte les feuilles et les fleurs. Elle leur amène la sève (eau et sels minéraux).
- Les racines permettent à la plante de s'ancrer dans le sol. Elles puisent l'eau et les sels minéraux indispensables au développement.
- Les feuilles assurent la respiration cellulaire et la photosynthèse.
- La fleur est l'organe reproducteur de la plante.

Ce sont des organismes fixés au sol par leur système racinaire. Ils ont donc dû développer des capacités d'adaptation à leur environnement (milieu de vie, climat, voisinage avec d'autres espèces végétales ou animales, etc.). Pour mémoire, cela peut expliquer le fait que les végétaux ont beaucoup plus de gènes que les animaux et que les humains [Source : [Wikipédia](#)].

La longévité des végétaux, celle des arbres en particulier, ne se quantifie pas comme celle des animaux. Leur âge varie de plusieurs dizaines d'années à plusieurs dizaines de milliers d'années. Pour déterminer l'âge d'un arbre, on dénombre les cernes de croissance (un anneau par année) sur une coupe ou sur une carotte de sondage. Si on compte le nombre d'anneaux à dix mètres de hauteur, on détermine l'âge du bois alors qu'au niveau du sol, on peut connaître l'âge de l'arbre en ajoutant quelques années correspondant à la période séparant le semis des racines. La préservation des arbres très âgés est essentielle. Ils permettent de reconstituer les climats passés, grâce à la [dendrologie](#) (science de reconnaissance et classification des arbres et des végétaux ligneux).

Par exemple, le [cyprès de Montezuma](#) (*Taxodium mucronatum*), au Mexique, est un arbre impressionnant par sa circonférence de 36 mètres et son âge évalué à 1 500 ans. De même un pin Bristlecone (*Pinus longaeva*), en Amérique du Nord, à 3 000 mètres d'altitude, appelé Mathusalem, existe depuis 4 850 ans. C'est un organisme non-clonal (c'est-à-dire unitaire, ne se reproduit jamais par ses branches ou ses racines).

Selon une équipe de chercheurs suédois dirigée par le professeur [Leif Kullman](#) (université d'Umeå), un [épicéa commun](#) (*Picea abies*), sur la montagne de Fulufjället (Suède), le Vieux Tjikko, serait le plus ancien être clonal du monde (dès qu'un tronc meurt, un nouvel individu, avec le même génome, émerge des racines). Sa hauteur est de 4 mètres. L'âge du système racinaire de l'arbre est estimé à 9 550 ans !

[K. Brodowsky](#) / Wikimedia [Licence CC BY](#)

Dans l'Utah (États-Unis), il existe une forêt de [peupliers faux-trembles](#) (*Populus tremuloides*) de 43 hectares composée de 47 000 arbres génétiquement identiques et reliés à un seul et même système racinaire. Cette colonie clonale constituerait le plus grand et le plus vieil organisme végétal d'environ 80 000 ans.

© [J. Zapell](#), Wikimedia Commons, DP

Selon une étude génétique, un herbier de posidonies (*Posidonia oceanica*), observé entre les îles de Formentera et d'Ibiza, aurait entre 80.000 et 200.000 ans d'existence. Il serait le plus vieil organisme vivant clonal sur Terre. De 3,5 à 8,9 % des posidonies seraient plusieurs fois centenaires ou millénaires [Source : [Futura Science](#)]

© [S. Arnaud-Haond et al.](#) 2012, *PLOS One*



Selon les dernières estimations, il y aurait environ 3.000 milliards d'arbres couvrant 31 % de la surface terrestre. Les forêts tropicales et subtropicales en abritent 43 %. Les forêts les plus denses sont en Finlande, avec près de 70 000 troncs au kilomètre carré.

Le *Botanic Gardens Conservation International* ([BGCI](#)), spécialisé dans la préservation de la diversité botanique, a créé, en 2017, la première base de données, appelée *GlobalTreeSearch*. Elle recense les espèces d'arbres connues dans le monde avec leur répartition par pays (un peu plus de 60 000 espèces recensées). Elle évolue sans cesse au gré des recherches et des mises à jour. Elle permet de suivre la diversité des espèces d'arbres, les forêts et les stocks de carbone au niveau mondial, régional ou national.

Quelques rappels :

- *En France, où [le mix électrique est décarboné à plus de 90%](#), la production d'un kWh électrique génère environ 100 g de CO₂ (source EDF). En Allemagne où [le mix électrique est encore très carboné](#), la production d'un kWh électrique génère environ 500 g de CO₂ car environ près de 44% de l'électricité y est produite à partir de charbon.*
- *[L'équivalent dioxyde de carbone \(équivalent CO₂\)](#) est une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global (PRG), en convertissant les quantités des divers gaz émis en la quantité équivalente de dioxyde de carbone ayant le même potentiel de réchauffement planétaire.*

[Source : [Connaissances des énergies](#), Agence de la transition écologique [ADEME](#), [Eurostat](#)].

Parler d'intelligence pour les humains et les animaux nécessite l'utilisation d'un vocabulaire approprié (mémoire, adaptation, action, réaction, comportement, intelligence, etc.). Dans le cas des plantes et des arbres, l'emploi des mêmes expressions peuvent mener à des situations différentes. Cependant, le choix ou la création de termes peut-être plus appropriés pourrait désorienter le public et ne pas faciliter la diffusion des connaissances.

Eléments d'appréciation d'une intelligence

Préambule

Depuis quelques décennies, de nombreux laboratoires issus du CNRS, du Cirad, de l'INRAE et de plusieurs universités, etc. ont orienté leurs recherches vers le comportement des végétaux au vu de leur environnement et des conditions de vie parfois hostiles (capacités de communication, d'adaptation, de reproduction, etc.).

Ces travaux doivent être poursuivis et réalisés au sein de collaborations interdisciplinaires (biologie, écologie, sociologie, philosophie, mais aussi intelligence artificielle ou plutôt numérique, etc.) pour obtenir une meilleure idée de la réalité. Leurs résultats sont exposés dans des ouvrages, dans de nombreuses revues scientifiques et lors d'exposés publics comme par exemple : [Communication chez les végétaux : mythes ou réalités ?](#) (Académie d'agriculture de France, AAF, 29 mai 2019), [Comment les plantes collaborent ?](#) (Bibliothèque publique d'information / revue Science et Vie, 2020).

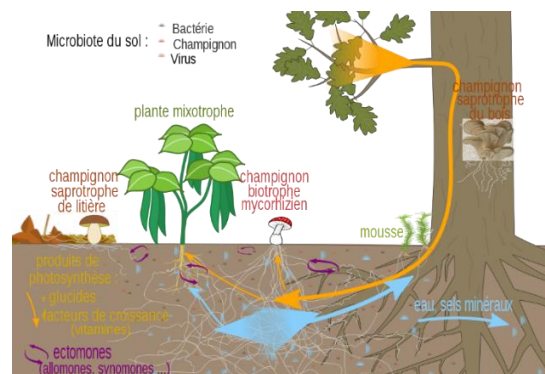
Les focus exposés ci-après, développent les mécanismes de communication entre les plantes et les arbres entre eux par les réseaux mycorhiziens (résultant de l'association entre un champignon et une racine) dans le sol ou encore par des signaux aériens (émission d'éthylène, etc.) en cas de danger, par exemple. Les notions de sensibilité aux signaux chimiques ou physiques sont traitées. De même, les faits de collaboration, de mémoire, de mouvement, de proprioception, etc. sont aussi abordés.

Les réseaux racinaires et mycorhiziens

Les microorganismes présents dans les sols constituent un des facteurs capables d'agir sur la répartition des végétaux, qu'ils soient pathogènes ou mutualistes comme les champignons mycorhiziens. On y distingue les arbusculaires (AM) pénétrant dans les racines des hôtes et les ectomycorhiziens (EM) entourant les racines de l'arbre sans s'y insérer. La connaissance actuelle de tels réseaux démontre l'importance des interactions dans les écosystèmes et la dépendance des plantes et arbres à leur voisinage plus ou moins proche [Source : [F. Martin et M.-A. Selosse](#) (2018)].

La biologiste américaine mondialement connue, [Elaine Ingham](#), (*Fondatrice et directrice de recherche [Soil Food Web inc.](#) Ph.D., Microbiology, Colorado State University*), a mis en évidence le réseau trophique du sol (*soil food web* - ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent). Son étude concerne l'analyse de milliers d'échantillons de sol de divers continents. Cela a permis de savoir que chaque plante est accompagnée d'un ensemble microbiologique caractéristique comme les ratios champignons/bactéries (C/B) et carbone/azote (C/N)). Des relations entre les propriétés chimiques et microbiologiques du sol et le type de plantes qui y poussent, sont mises en évidence. « Cette approche du réseau alimentaire du sol a été utilisée pour restaurer avec succès les fonctions écologiques des sols sur six continents » [Source : [Ulrich Schreier](#), Déc. 2018].

Ainsi [les réseaux racinaires et mycorhiziens](#) sont des lieux d'échanges. Les champignons, grâce à l'[hyphe](#) (élément végétatif filamenteux), explorent de grandes distances et puisent dans le sol des ressources minérales (phosphore, potassium, azote). Les plantes leur fournissent des sucres et des acides gras. Cela a eu pour effet de diversifier la flore, de structurer des écosystèmes terrestres et donc de séquestrer le dioxyde de carbone atmosphérique.



La biologiste canadienne [Suzanne Simard](#) (2009) décrit le maillage filamenteux du [mycélium](#) connectant aussi les arbres d'une forêt les uns aux autres, l'internet des sous-bois ([Wood Wide Web](#)). Une forêt évolue et s'adapte selon ses éléments constitutifs (arbres, plantes, etc.). Elle entretient la biodiversité utile à l'adaptation des plantes aux dérèglements climatiques : l'objet de travaux du [GIEC](#) et de l'[IPBES](#) [Source : [Wood Wide Web: Trees' social networks are mapped](#), Claire Marshall, BBC, Science and Environment, 15 May 2019].

« *Aucune activité, pas même la médecine, n'a autant d'importance pour la santé de l'homme que l'agriculture* », [Pierre Delbet](#) (1861-1957), Membre de l'Académie de Médecine.

[Pablo Servigne et Gauthier Chapelle](#), agronomes et biologistes de formation, aujourd'hui chercheurs in(Terre)dépendants ont montré qu'une étude attentive du vivant met en exergue le fait que les plantes qui survivent le mieux aux conditions difficiles, souvent hostiles de l'environnement, sont plus particulièrement celles qui s'entraident le plus.

En ayant comme objectif d'éviter les produits chimiques à terme, l'INRAE expérimente un verger bio, depuis 2018. La construction en cercles concentriques permet à chaque essence d'arbre de protéger sa voisine contre diverses attaques de ravageurs ou de maladies. Ainsi les pucerons, les mouches, etc. ou les maladies transmises par des spores ou des champignons microscopiques ne peuvent pas se déplacer ou se multiplier.

[Verger expérimental](#) à Gotheron
commune de Saint-Marcel-lès-Valence, Drôme
17 septembre 2019 © AFP/Jean-Philippe Ksiazek.



Communication sous forme de signaux chimiques

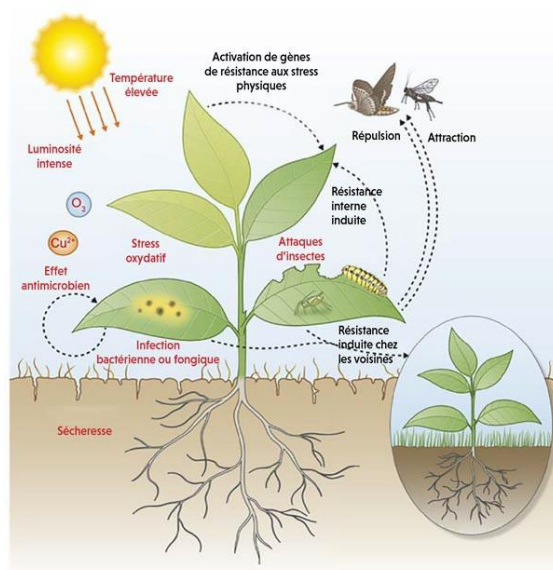
De nombreux laboratoires de recherche au sein d'instituts et d'organismes scientifiques ont mis en évidence que les plantes et les arbres communiquent de diverses manières - signaux chimiques dans l'air ou dans le sol, odeurs, signaux électriques, etc. dont les effets sont liés à la notion de défense par rapport à un danger, d'attraction ou de répulsion. Il existe plusieurs niveaux de communication selon que les plantes sont de la même espèce ou non ; il en est de même pour les arbres. Mais comme le souligne la botaniste [Catherine Lenne](#) (enseignante-chercheuse en physiologie végétale et directrice de la Maison pour la science en Auvergne) les résultats d'expérience dans la nature peuvent différencier de ceux obtenus dans les laboratoires. Il s'agit donc de veiller au bon conditionnement des expérimentations pour que les plantes développent leur capacité à communiquer au mieux.

Du fait que les plantes sont enracinées et donc ne peuvent se déplacer, elles ont développé des techniques d'évolution, de reproduction et de mouvements, donc de survie, différentes de celles des autres êtres vivants qui sont mobiles comme les humains, les animaux, etc. Elles émettent divers signaux sous forme de substances chimiques dans l'air ou dans le sol par l'intermédiaire de leurs racines. Ainsi les composés organiques volatils ou COV, spécifiques pour chaque espèce de plante ou d'arbre, sont émis par les plantes soit en continu (plantes aromatiques) ou de manière unique (en réponse à un stimulus). Dans ce cas, ils sont appelés ICOV pour composés organiques volatils induits : les stimuli proviennent du monde du vivant (champignons, insectes, etc.) ou du monde environnant (température, humidité, etc.).

Il est observé, par exemple, qu'en cas de grand vent ou de pression mécanique, la plante émet de l'éthylène qui sera analysé par les plantes voisines : un tel message d'alerte va favoriser un durcissement de leurs tiges même si elles ne sont pas directement impactées. Les arbres ont la même faculté d'alerte, par exemple, les [acacias d'Afrique](#).

Si les principes et mécanismes de la biosynthèse des COVs sont de mieux en mieux connus, la manière dont les plantes les détectent n'est pas totalement connue. Ces composés jouent un rôle important aussi bien pour la plante elle-même (une feuille détectant un stimulus va provoquer la sensibilisation de toutes les autres feuilles) que pour l'environnement. Ils sont à la base de la communication entre une plante et ses voisines, une plante et les insectes qui viennent la butiner, une plante et les micro-organismes.

[Dossier Pour la Science n°101](#), *La révolution végétale*, novembre 2018 c/o Maarten Amaey, Silke Allmann, Jan Verwaeren et al., *Green leaf volatile production by plants: a meta-analysis*, New Phytologist, vol.220, n°27, p.666-683 (2017), <https://doi.org/10.1111/nph.14671>



Les composés organiques volatils émis par les feuilles en réponse à divers stimuli (en rouge) déclenchent de multiples effets (en noir).

Durant les périodes de sécheresse et selon les conditions environnementales, les arbres d'une forêt ont la capacité d'émettre des COV : l'objectif est de former un nuage et de saturer en humidité l'atmosphère. Ainsi les molécules d'eau viennent se coller aux molécules gazeuses émises pour former des gouttelettes, puis des gouttes qui finissent par tomber.

L'émission de signaux chimiques ont plusieurs objectifs. Par exemple, pour se protéger, principalement contre les herbivores, les plantes ont mis au point des mécanismes de défense : les épines, l'émission de substances chimiques agissant comme répulsifs ou diminuant la digestibilité des plantes.

De même, pour se reproduire, les plantes ont développé des méthodes complexes pour attirer les insectes ou oiseaux pollinisateurs (entomogamie) : les feuilles changent de couleur, elles émettent des senteurs, etc. En 2010, le chercheur chinois, Yuan Song, du Laboratoire d'agriculture écologique de Guangzhou a mis en évidence qu'en cas de maladie, le plant de tomate concerné produisait des enzymes de défense grâce aux champignons racinaires (ou mycorhizes) permettant aux plants voisins de préparer la leur.

[Sources : Catherine Lenne (2014), Jacques Tassin (2016), Stefano Mancuso et Alessandra Viola (2018), [Dudareva et al.](#) (2006), [Romain Baghi](#) (thèse de doctorat 2013)].

Communication sous forme de signaux physiques

Selon [Bruno Moulia](#) (directeur de recherches à l'INRAE, directeur de l'UMR PIAF), l'étude de la sensibilité des plantes à des signaux physiques, lumineux et mécaniques, met en évidence la transmission d'informations sur les risques encourus. Cela engendre des réponses qui deviennent des fonctions d'anticipation : elles mêlent de la croissance et des mouvements actifs.

Sensibilité à la lumière

La plante possède une multitude de cellules sensibles à la lumière (INRAE/URP3F/Université de Poitiers). Elle est capable de détecter la composition spectrale des rayons de soleil, donc de savoir si les rayons ont traversé ou non des couches de végétaux. De même elle détecte le degré d'ombrage par les gradients de lumière bleue qui confirment la présence d'une trouée : alors une croissance en hauteur est opérée et des mouvements des tiges sont opérés pour une orientation vers la lumière (un maïs a une perception d'au moins 5 m).

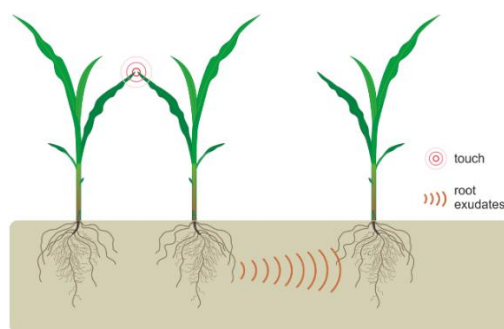
Sensibilité au vent, aux contacts ou touchers, et autres pressions

Les travaux de recherche ont montré que les plantes perçoivent la déformation de la tige sous le vent grâce à des canaux mécanosensibles. « *Un arbre qui va se trouver confronté à un vent inhabituel va réduire sa croissance en hauteur et augmenter sa croissance en diamètre et faire plus de racines* » [Source : [Meriem Fournier et Bruno Moulia](#) (2018), [Bruno Moulia, Catherine Coutand et al.](#) (2015), [Pauline Ibgui et al.](#) (2018)].

Il a été observé que les arbres d'une forêt pouvaient arrêter leur croissance pour que les feuillages de la canopée (partie supérieure des arbres exposée directement au soleil) soient assez distants pour permettre à ces arbres de ne pas se toucher et protéger ainsi la biodiversité de cet ensemble.

Des chercheurs suédois et hollandais ont créé un stress mécanique sur de jeunes pousses de maïs en touchant les feuilles de bas en haut, avec un pinceau. L'objectif était de savoir si des changements apparaîtraient alors sur les plants voisins.

[Les interactions entre plantes voisines, au-dessus du sol, conduisent à des signaux émis sous forme de molécules sécrétées par les racines dans le sol.](#)



© [Elhakeem et al.](#) *PLOS One* (2018).

Les mouvements

Les différentes études menées et particulièrement les modèles mathématiques conçus et développés ont permis de mettre en évidence les notions d'équilibre et de proprioception conditionnant la forme et la qualité des tiges des arbres. En effet, à chaque instant, les plantes ont des mouvements invisibles à l'œil mais indispensables pour les maintenir droites. Elles subissent les contraintes du vent, de la gravité, de la pluie, etc.

C'est en 2012, que des chercheurs de l'INRAE et du CNRS ont pu démontrer que cette faculté de se redresser n'était pas le seul fait de la gravité mais aussi de la capacité de percevoir leur courbure et leur forme et d'avoir les moyens de la modifier : la proprioception. Cependant, il ne faut pas confondre proprioception et conscience de soi. Mais cela amène toutefois à réfléchir à d'autres types d'intelligence que celle que nous connaissons ...

De telles propriétés sensori-motrices permettent aux champs de blé de rester dressés. Il en est de même pour les arbres forestiers.

Après une inclinaison à l'horizontale, la tige de l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*) amorce son redressement en se courbant vers le haut. Sa partie haute se rectifie progressivement et la courbure est plus forte à la base (taille de la hampe = 10 cm, durée totale 20 h).

Séquence du redressement d'*Arabidopsis thaliana* après une inclinaison à l'horizontale.
©INRA, [R. Bastien](#), [S. Douady](#), [B. Mouliya](#), (2012)



Généralement, nous pensons que les plantes de bougent pas. C'est faux ! Les humains comme les animaux sont mobiles au sens que nous pouvons nous déplacer en utilisant nos moyens de locomotion (jambes, pattes, ailes, etc.). Mais, grâce à leurs capacités sensori-motrices, les plantes effectuent de nombreux mouvements au niveau des racines, des tiges, des feuilles, etc. afin de chercher des nutriments, de se protéger d'un prédateur, de chercher la lumière, et bien d'autres actions.

Selon des études hongroises menées par le chercheur hongrois [Andras Zlinszky](#) (Centre de recherche écologique de Tihany), en 2017, avec l'aide de spécialistes danois en bio-informatique (université d'Aarhus), les branches de plusieurs espèces d'arbres étudiés se dilatent et se contractent régulièrement de quelques millimètres en se déplaçant de haut en bas. Grâce à des techniques laser à haute résolution, les expériences réalisées sur un ensemble de 22 plantes représentant différentes espèces (pins, oliviers, magnolias, etc.), ont permis de mettre en évidence des amplitudes de mouvement allant jusqu'à 9 cm se produisant selon des cycles de 2 à 4 heures. Ceci résulterait d'une augmentation de la pression de l'eau poussée vers la cime à travers le xylème, un tissu végétal formé de fibres ligneuses et de vaisseaux amenant la sève brute et les nutriments depuis les racines jusqu'aux feuilles. Cependant les plantes ne poussent pas en quelques jours, le temps d'expérimentation peut être long. La croissance des racines a lieu généralement dans le sol, son observation est donc plus complexe. Les nouveaux modèles permettront d'acquérir de nouvelles connaissances sur la physiologie des plantes, leurs capacités d'adaptation et leurs interactions avec d'autres espèces.

Cognition végétale

[Stefano Mancuso](#), professeur à l'université de Florence, a été, en 2009, le premier scientifique à montrer les potentiels d'action spontanément produits dans l'apex des racines, semblables à ceux produits par le cerveau humain. Il introduisait la discipline de neurobiologie végétale, ce qui a provoqué l'ire de nombreux scientifiques. Aujourd'hui, il semble qu'au vu des résultats expérimentaux et des modèles mathématiques développés, la situation ou du moins l'approche soit différente. Quelques années après, le botaniste britannique [Anthony Trewavas](#), déclarait : "Je considère que l'intelligence chez les plantes a trait avant tout à leur capacité à survivre dans leur environnement. Il s'agit de leur aptitude à résoudre des problèmes spécifiques à leur existence". A ce propos, il faut se positionner avec l'échelle de temps des plantes dont le rythme est souvent beaucoup plus lent que le nôtre [Source : [Science et Vie](#), nov. 2017].

Après avoir capté et évalué de nombreux paramètres physiques et chimiques perçus, l'apex racinaire ou la pointe de la racine guide celle-ci en fonction des besoins de l'organisme végétal (oxygène, eau, etc.). Elle a la capacité d'éviter les obstacles en les contournant, à détecter et à trouver les moyens de se défendre contre les prédateurs. En considérant les capacités des végétaux à résoudre des problèmes de survie, on peut parler de l'intelligence des végétaux. Le système racinaire d'une plante est un réseau de centaines, voire de milliers ou plus de racines : il se comporte comme un essaim ou une colonie d'insectes sociaux. Il est capable de s'adapter morphologiquement aux conditions environnementales lors de l'exploration de son habitat avec ses capteurs naturels. Les plantes présentent ainsi une croissance et un développement adaptatif variables au cours de leur existence. Leurs stratégies sont efficaces pour réduire l'énergie dépensée. Les travaux de recherche multidisciplinaires ont tendance à mettre en valeur cette forme d'intelligence distribuée.

Nous avons vu que les humains et les animaux ne représentent qu'environ 0,4% de la masse carbonée sur Terre. Leur mode de vie n'est qu'un seul parmi les nombreux autres existants (végétaux, virus, etc.). Les plantes peuvent survivre, même si on leur coupe quelques tiges (de même pour les arbres, si on leur coupe une ou plusieurs branches). Cela tient du fait que leur organisation vitale n'est pas « verticale » comme les humains et les animaux : un cerveau et un réseau amenant toutes les informations captées et les réponses adaptées. L'organisation de la vie végétale est « horizontale » et toutes les parties de la plante ont un rôle dans la survie.

Les plantes sont des entités vivantes indispensables aux animaux et aux humains, car elles leur procurent de la matière et de l'énergie [Source : [Sylvie Mireault](#), [Académie Herboliste](#), 2019].

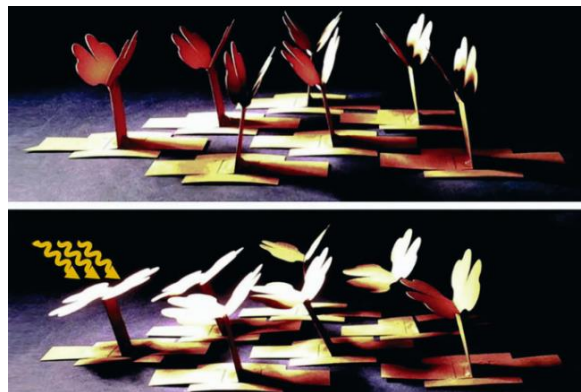
Nouvelles approches biorobotiques

Présentation

Une approche ou une démarche biorobotique consiste, dans une première phase, à comprendre puis à formaliser le fonctionnement de mécanismes sensori-moteurs naturels liés à la perception de l'environnement, par exemple. Dans une deuxième phase, il s'agit de concevoir les systèmes électroniques et mécaniques reproduisant ces principes sur des robots physiques. Ensuite, la phase expérimentale plonge ces robots dans des environnements réels variés pour tester la traduction des mécanismes naturels.

De nombreuses études réalisées et publiées font part des connaissances acquises sur les propriétés structurelles, fonctionnelles et physiologiques des plantes et de leurs principes opérationnels. Les plantes sont des sources d'inspiration pour concevoir de nouvelles technologies. Des réalisations innovantes ont vu le jour à travers des projets développés dans des laboratoires internationaux.

Récemment, des chercheurs de l'université Bilkent (Turquie), ont conçu des petits robots dotés de feuilles en papier (origami), imitant la physiologie des plantes sur de nombreux aspects. Leur particularité est de pouvoir se mouvoir de manière autonome et de réagir automatiquement aux variations de leur environnement, sans besoin de programmation, ni de maintenance. Ils suivent le soleil (héliotropisme). Ils déploient leurs feuilles en fonction de la luminosité (nyctinastie) grâce à un mécanisme bio-inspiré de la transpiration végétale transportant l'eau des racines aux feuilles : le robot se meut donc sans moteur.



[Source : [S.D. Cezan, H. T. Baytekin et B. Baytekin](#) (Soft Robotics, 2020) – [France Culture](#), 12 mars 2020]

Quelques projets

Durant cette dernière décennie, plusieurs systèmes artificiels inspirés des plantes, notamment des plantes grimpantes, ont été présentés et publiés : robots innovants de croissance et de continuum, matériaux programmables, capteurs, etc. pour des applications en robotique et en médecine [Source : [Isabella Fiorello et al.](#), Février 2020].

L'Union européenne a mis en place un important programme de financement pour les scientifiques désireux de transformer les idées en innovation. [FETFX](#) (janvier 2019 - juin 2021) est financé par le programme Horizon 2020 Future and Emerging Technologies (FET). Il a pour objectif de stimuler les effets des technologies futures et émergentes par la communication et la sensibilisation. Plusieurs projets ont été ainsi concrétisés comme Plantoid, GrowBot et Flora Robotica.

- Le projet [Plantoid](#) a permis le développement de robots innovants directement inspirés des racines des plantes qui réagissent aux différents stimuli physico-chimiques conduisant à des prises de décision. Les racines robotiques sont équipées de capteurs surveillant l'environnement (lumière, humidité, température, nutriments, etc.). Pour se déplacer dans le sol, les racines grandissent, par l'apport de matériel produit par une imprimante 3D. Cette technologie trouve des applications dans l'analyse des sols, l'agriculture, la médecine et l'exploration spatiale.



Le prototype [PLANTOID](#)
[Crédits: [PLANTOID project](#)]

- Un autre des exemples d'innovation est celui des plantes grimpantes. Leurs capacités d'adaptation, en milieu hostile ou dans des habitats très variés, sont une inspiration pour la conception de systèmes robotiques intelligents pour l'exploration de zones inaccessibles lors de catastrophes naturelles, etc. Le projet [GrowBot](#) consiste à concevoir un nouveau paradigme révolutionnaire de mouvement en robotique issu des capacités de déplacement par croissance des plantes grimpantes. Des petits robots sont conçus pour s'accrocher, franchir des espaces vides, grimper sur des parois pour lesquelles des solutions simples de locomotion ne conviennent pas. Dans ce cadre, les travaux de recherche de [Barbara Mazzolai](#) montrent que les robots créent leur propre corps, avec des matériaux adaptés, par diverses techniques de fabrication, tout en se déplaçant contre la gravité.

Les vignes de la Toscane (Italie) ont inspiré les chercheurs de Pontedera, près de Pise, qui ont conçu le premier robot imitant le comportement des vrilles. Un tel système robotique a des applications en médecine (un endoscope flexible et en développement dans le corps humain), dans l'exploration spatiale (analyse de sols extraterrestres, etc.) ou dans les tâches de recherche et de sauvetage, en conditions hostiles.

[Source : [Emanuela Del Dottore et al.](#), 2018].



Vrille robotique Projet [GrowBot](#)

- Le projet [Flora Robotica](#), financé par Horizon 2020 de l'Union européenne, a pour objectif de développer une relation symbiotique entre des plantes et des robots afin de créer des hybrides auto-organisés capables de réaliser des structures architecturales et à terme des habitations. Pour y arriver, des biologistes, des roboticiens, des chercheurs en informatique et des architectes se sont ainsi groupés pour mettre en commun leurs compétences et leurs visions de l'avenir. [Source : [Futura-Sciences](#), février 2020].

Une technologie hybride est mise au point pour que des robots influent sur la croissance des plantes. Ils émettent de la lumière bleue attirant les plantes et orientant le sens de la pousse.

Pour une application à plus grande échelle, les plantes pourront être équipées de capteurs connectés et un écosystème naturel-numérique sera créé. Les algorithmes traitant les données collectées pourraient contrôler la nature.

Ne doit-on pas observer et comprendre les mécanismes naturels mais non les diriger ? Dans quelles conditions ?



Exemple de structures robotisées tressées sur lesquelles des plantes naturelles peuvent pousser. © [Flora Robotica](#)

Un autre exemple d'association symbiotique d'un robot avec une plante a été réalisé au Media Lab du Massachusetts Institute of Technology (MIT) des Etats-Unis. Fin 2018, le Media Lab a présenté le système coopératif [Elowan](#), comme un dispositif hybride entre un robot et une plante : une nouvelle association symbiotique d'un robot avec une plante ou un aperçu de la nature augmentée.

L'objectif est de trouver un ensoleillement maximal, par exemple, grâce à divers capteurs électrochimiques insérés dans la structure de la plante (feuilles et tiges). Ces électrodes reçoivent les signaux bioélectriques faibles que la plante émet naturellement en réponse à la lumière ou à d'autres types de stimulation : le robot se déplace par apport à la source lumineuse. D'autres applications pourraient être la recherche d'une meilleure nutrition ou d'une évolution mieux adaptée. *Cela peut être considéré à juste titre comme une altération de la flore naturelle.*



[Elowan](#) c/o Harpreet Sareen
groupe Fluid Interfaces (Media Lab, MIT).
Credit photos: Harpreet Sareen. License: [CC-BY 4.0](#)

Conclusion et perspectives

Face aux enjeux de l'humanité en termes de protection des écosystèmes vitaux de la Terre, de stockage du carbone ou de la sauvegarde de la biodiversité, la nature nous offre ses propres solutions. Les végétaux ont démontré qu'ils avaient la faculté de s'adapter, de communiquer entre eux. Les plantes comme les arbres sont capables de mettre en œuvre des mécanismes structurels particuliers pour se développer dans un environnement hostile, ou explorer le sous-sol à la recherche de nutriments par exemple. Ces mécanismes de motricité, de comportement ou de plasticité adaptative vont au-delà de simples réflexes. Une meilleure connaissance et une compréhension approfondie de ces systèmes permettront d'en extraire des principes et très certainement de décrire plus précisément les formes d'intelligence qui peuvent être attribuées au végétal.

L'exploitation des données expérimentales, des résultats de modélisation numérique, lors des études et analyses des modes de déplacement, de croissance, de remodelage ou de morphogénèse, a favorisé la conception de robots bio-inspirés adaptés à de telles fonctions. Le développement de systèmes intelligents autonomes permettra la transformation et l'adaptation de leur corps suivant le contexte environnemental. La réalisation de robots mous, par exemple, trouvera des applications, encore sous-estimées, aussi bien en médecine qu'en architecture, ou encore en exploration de zones réputées inaccessibles, lors de catastrophes naturelles, etc.

De manière plus générale, les matériaux novateurs, multifonctionnels et biohybrides constituent déjà une importante innovation. Grâce à eux, le robot, intégré dans les écosystèmes naturels, s'adaptera à la fonction et à l'environnement.

La nature est souvent considérée, à juste titre, comme une source de biodiversité et d'inspiration. La compréhension des systèmes naturels et sa mise en œuvre dans des travaux de recherche pluridisciplinaire bio-inspirés sont à l'origine de programmes de restauration écologique, du développement de solutions innovantes pour le recyclage des ressources minérales, entre autres applications. Dans le domaine de la chimie, les recherches ont pu être menées et aboutir, par exemple, à la mise au point de catalyseurs chimiques. Dans le domaine médical, les bactéries étant de plus en plus résistantes aux antibiotiques, la mise en pratique des multiples principes utilisés par le végétal, a favorisé l'élaboration de nouveaux antibiotiques bien adaptés. Ce sont des enjeux majeurs.

Selon [Christian Barthod](#) (Conseil général de l'environnement et du développement durable, CGEDD), il est nécessaire de prendre en compte de la nature dans sa globalité. Il ne faut pas se limiter à une simple copie du fonctionnement de ces organismes. Les forêts constituées de plantes et d'arbres, sont des écosystèmes qu'il convient de protéger. N'oublions pas que les végétaux représentent 80% de la nourriture consommée et 98% de l'oxygène respiré. Alors leur préservation constitue un enjeu vital aussi bien pour l'humanité que pour la biodiversité et l'environnement.

Références

Sources bibliographiques

- BAGHI Romain, [Emissions biogéniques de composés organiques volatils en région méditerranéenne - développement instrumental, mesures et modélisation](#). Océan, Atmosphère. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse III (2013) ;
- BARTHOD Christian, ZMIROU-NAVIER Denis, [Forêts, espaces verts, biodiversité et santé publique : une recherche qu'il faut continuer à nourrir pour éclairer les politiques publiques](#). Santé Publique 2019/HS (S1), p.263-268 ;
- BAR-ON Yinon M., PHILLIPS Rob, MILO Ron, [The biomass distribution on Earth](#). Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), June 19, vol.115, n°25, 2018, p.6506-6511 ;
- BAYTEKIN Hasan Tarik, BAYTEKIN Bilge, CEZAN Suleyman Dorik, [Self-Regulating Plant Robots: Bioinspired Heliotropism and Nyctinasty](#). Soft Robotics, 28 janvier 2020 ;
- BEILER Kevin, DURALL Daniel, SIMARD Suzanne, MAXWELL Sheri, KRETZER Annette. [Architecture of the wood-wide web: *Rhizopogon* spp. genets link multiple Douglas-fir cohorts](#). The New phytologist, vol.185, n°2, janvier 2010, p.543-553 ;
- BURGAT Florence, [Qu'est-ce qu'une plante ? Essai sur la vie végétale](#). Seuil, coll. La Couleur des Idées (2020) ;
- CABANES Valérie, [Un nouveau droit pour la Terre. Pour en finir avec l'écocide](#). Seuil (2016) ;
- COCCIA Emanuele, [La vie des plantes. Une métaphysique du mélange](#). Payot & Rivages, coll. Bibliothèque Rivages (2016) ;
- DAMIANO Jean-Pierre, [Biomimétisme, intelligence artificielle et robotique. Applications de l'intelligence en essaim et questions d'éthique et de droit](#). Part.1, IESF Côte d'Azur, Bull. n°1, p.2-14 (2020) ;
- Del DOTTORE Emanuela, MONDINI Alessio, SADEGHI Ali, MAZZOLAI Barbara, [A plant-inspired kinematic model for growing robots](#). IEEE International Conf. on Soft Robotics (RoboSoft), Livorno, Italie, 24-28 avril 2018
- DRENOU Christophe, [L'arbre au-delà des idées reçues](#). Editions CNPF-IDF (2016) ;
- DUDAREVA Natalia, NEGRE Florence, NAGEGOWDA Dinesh A., ORLOVA Irina, [Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. Recent Advances and Future Perspectives](#). Critical Reviews in Plant Sciences. Vol.25, n°5, p.417-440 (2006) ;
- EGGER Michel-Maxime, [Soigner l'esprit, guérir la Terre. Introduction à l'écopsychologie](#). Labor et Fides (2015) ;
- ELHAKHEEM Ali, MARKOVIC Dimitrije, BROBERG Anders, ANTEN Niels P.R., NINKOVIC Velemir, [Above-ground mechanical stimuli affect belowground plant-plant communication](#). PLoS ONE 13(5): e0195646, 2018 ;
- FIORELLO Isabella, DEL DOTTORE Emanuela, TRAMACERE Francesca, MAZZOLAI Barbara, [Taking inspiration from climbing plants: Methodologies and benchmarks - A review](#). Bioinspiration & Biomimetics, vol.15, n°3, February 2020 ;
- FOURNIER Meriem, MOULIA Bruno, [Sensibilité et communication des arbres : entre faits scientifiques et gentil conte de fée](#). Forêt Nature, n°149, oct.-nov.-déc., p.12-21 (2018) ;

- HIERNAUX Quentin, TIMMERMANS Benoît, [Philosophie du végétal](#). Librairie Philosophique J. VRIN (2019) ;
- IBGUI Pauline, KEMMEL Amandine, CHAMILLARD Célia, MORILLE Marie, MIRA Solène, [L'intelligence des arbres. De la sensibilité à l'éthique végétales](#). Collectif AgroParisTech - Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement. L'Agora, points de vue. Forestopic, 16 juillet 2018 ;
- LENNE Catherine, *Dans la peau d'une plante. 75 questions impertinentes sur la vie secrète des plantes*. Belin (2014) ;
- LENNE Catherine, BODEAU Olivier, MOULIA Bruno, *Percevoir et bouger : les plantes aussi !* Pour la science n° 438, avril 2014, p.40-47 ;
- LE ROY Sylvie, [A quoi pensent les plantes ?](#) L'ADN, 2017, 12 (Septembre 2017/novembre 2017), 2 p. c/o MOULIA Bruno, *Fascination of Plants Days : La communication chez les végétaux : mythes ou réalité*. Conférence Paris, 2p., 29 mai 2019 ;
- MANCUSO Stefano, VIOLA Alessandra, *L'Intelligence des plantes*, traduit de l'italien par Renaud Temperini. Paris, Albin Michel (2018) ;
- MANCUSO Stefano, *La Révolution des plantes : comment les plantes ont déjà inventé notre avenir !* Paris, Albin Michel (2019) ;
- MARTIN Francis, SELOSSE Marc-André, [Les arbres sont-ils connectés par les réseaux de champignons mycorhiziens ? La forêt et le bois en France en 100 questions](#). Académie d'Agriculture. Chapitre 2 paragraphe 12, mis en ligne le 12/03/2018 ;
- MARTIN Francis, [Sous la forêt : pour survivre il faut des alliés](#), Humensciences, coll. Nature et savoir (2019) ;
- MAZZOLAI Barbara, LASCHI Cecilia, [A vision for future bioinspired and biohybrid robots](#). Science Robotics, vol.5, n°38, 29 janvier 2020 ;
- MIREAULT Sylvie, [L'intelligence végétale](#). Info-Verte, @ L'Académie HerbHoliste, mars 2019 ;
- MOULIA Bruno, COUTAND Catherine, LEBLANC-FOURNIER Nathalie, DOUADY Stéphane, BASTIEN Renaud, [Proprioception as a key contro of gravitropic movements and plant posture in the aerial organs of plants](#). 3rd Int. Symp.on Plant Signaling and Behavior, Paris, 29 juin - 2 juillet 2015 ;
- OLERON Pierre, [L'Intelligence](#), n°210, PUF, coll. Que sais-je ? (1997) ;
- PARIDON (van) Bradley, [Plant roots inspire 3D-printed automotive sensors. As NASA's Mars InSight is set to burrow into Martian soil, roboticists on Earth are still developing devices for soil monitoring and exploration](#). 4 décembre 2018 ;
- SERVIGNE Pablo, CHAPELLE Gauthier, [L'entraide. L'autre loi de la jungle](#). Ed. LLL Les liens qui libèrent (2019) ;
- STEFFEN Will, ROCKSTROM Johan, RICHARDSON Katherine, LENTON Timothy M., et al, [Trajectories of the Earth System in the Anthropocene](#). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), vol.115, n°33, p.8252-8259, Ed. William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA (2018) ;
- TASSIN Jacques, *A quoi pensent les plantes ?* Odile Jacob (2016) ;
- TASSIN Jacques, [Penser comme un arbre](#). Odile Jacob (2020) ;
- THELLIER Michel, *Les plantes ont-elles une mémoire ?* Éditions Quae GIE. (2015) ;
- TOMPKINS Peter, BIRD Christopher, [La vie secrète des plantes](#). Guy Trédaniel, 2^{ème} éd., 1^{ère} éd. 1973 (2018) ;
- TREWAVAS Anthony, [Plant Behaviour and Intelligence](#), Oxford University Press (2014) ;
- WAHBY Mostafa, HEINRICH Mary Katherine et al, [Autonomously Shaping Natural Climbing Plants: A Bio-hybrid Approach](#). Royal Society Open Science, vol.5, n°10, Octobre 2018 ;
- WOHLLEBEN Peter, [La Vie secrète des arbres](#). Edition Les Arènes (2017) ;
- ZLINSZKY Andras, MOLNAR Bence, BARFORD Anders S., [Not All Trees Sleep the Same-High Temporal Resolution Terrestrial Laser Scanning Shows Differences in Nocturnal Plant Movement](#). Frontiers in Plant Science, 8:1814, 20 October 2017 ;
- ZURCHER Ernst, [Les arbres, entre visible et invisible](#). Actes Sud (2016) ;
- Sciences et Avenir, [La vie secrète des plantes](#). HS n° 189, avril-mai 2017, et n° 833, juillet 2016 ;
- SCHREIRER Ulrich, [Le développement successif et symbiotique des plantes et de la vie du sol](#), décembre 2018 ;
- [Pourquoi nous avons tant besoin des arbres](#). GEO Voyage n°87, 7 août 2019 ;
- Dossier consacré à [l'intelligence des arbres et des plantes](#). Sciences et Avenir, n°868, 2019 ;
- [L'industrie ouvre ses portes à la nature](#). Livre blanc, Techniques de l'ingénieur, mars 2020 ;
- [La forêt et le bois en France en 100 questions](#). Publication collective dont les rédacteurs sont des membres de l'Académie ou des experts extérieurs, coordonnés par Yves Birot, Académie d'Agriculture. Mis à jour le 23/03/2020 ;

Liens sources

- <https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/rapport-agriculture-innovation2025.pdf>
- <https://balises.bpi.fr/sciences-et-techniques/les-tomates-stressees-produisent-35-ultrasons-par-heure>
- http://en.wikipedia.org/wiki/The_Power_of_Movement_in_Plants
- <https://fr.wikipedia.org/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_de_Lamarck
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeremy_Narby
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9ophraste#Botanique>
- <https://lejournaldeschouettessavantes.cafe-sciences.org/articles/linsoupconnable-intelligence-des-plantes-partie-1/>
- <https://up-magazine.info/index.php/le-vivant/innovations-vertes/8023-la-revolution-en-cours-de-la-biologie-vegetale-bouleverse-notre-conception-du-vivant/>
- https://www.academie-sciences.fr/pdf/conf/debat_230118.pdf
- <https://www.academieherbholiste.com/info-verte-mars-2019-intelligence-vegetale/>
- <https://www.bastamag.net/Les-plantes-sont-extraordinaires-c-est-un-modele-decentralise-dont-tous-les>
- <https://www.bbc.com/news/science-environment-48257315>
- <https://www.bpi.fr/sites/Balises/contents/Contenus/sciences-et-techniques/contenus-dossiers/quen-pensent-les-plantes.html>
- <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/symbiose-evolution-lorigine-de-cellule-eucaryote/>
- <https://www.franceculture.fr/emissions/linvite-culture/stefano-mancuso>
- <https://www.franceculture.fr/emissions/le-journal-des-sciences/le-journal-des-sciences-du-jeudi-12-mars-2020>
- <https://www.franceinter.fr/emissions/la-tete-au-carre/la-tete-au-carre-04-avril-2018>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/oceanographie-record-positonie-agee-plus-80000-ans-mediterranee-36601/>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/botanique-top-12-vegetaux-plus-ages-monde-57602/>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/botanique-exclusivite-nouvel-extrait-documentaire-intelligence-arbres-68428/>
- <https://www.futura-sciences.com/maison/actualites/batiment-flora-robotica-robots-plantes-construire-ville-futur-70005/>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/botanique-nouvel-antibiotique-decouvert-foret-tropicale-mexicaine-77873/>
- <http://planete.gaia.free.fr/vegetal/botanique/intelligence.html>
- <https://www.geo.fr/environnement/dans-la-drome-lintelligence-des-arbres-au-service-de-la-production-fruitiere-197658>
- <https://www.geo.fr/environnement/francis-halle-ardent-defenseur-des-forets-tropicales-primaires-173331> Francis Hallé (botaniste)
- <https://www.geo.fr/environnement/lintelligence-des-plantes-decryptee-par-des-chercheurs-francais-194819>
- <http://www.internetactu.net/2018/04/17/quand-les-robots-grandissent/>
- https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/l-intelligence-secrete-des-plantes_2074498.html
- https://www.liberation.fr/debats/2019/04/17/le-corps-intelligent-des-vegetaux-ebranle-notre-philosophie_1721953
- <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/climat-le-role-clef-de-la-symbiose-forestiere-1029810>
- <https://www.media.mit.edu/projects/elowan-a-plant-robot-hybrid/overview/>
- <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1128-0>
- <https://www.newscientist.com>
- <https://www.planeterobots.com/>
- <https://www.plantoidproject.eu/index.php/plantoid-media/90-interviews-video/116-euronews-video>
- <https://www.pourlascience.fr/sd/biologie-vegetale/hors-serie-pour-la-science-n0101-14825.php>
- <https://www.rtflash.fr/cyborg-botanique-pour-ameliorer-capacites-naturelles-plantes/article>
- <https://www.sciencesetavenir.fr/>
- <https://www.science-et-vie.com/archives/revelations-sur-l-intelligence-des-plantes-elles-pensent-22921>
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/dossier/materiaux-biosource-biomimetisme-recherche-innovation/>
- https://www.ted.com/talks/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intelligence
- <https://www.usinenouvelle.com/editorial/des-robots-autonomes-inspires-des-plantes.N947286>
- <https://www.universalis.fr>

Organismes, associations, instituts, événements, etc.

- 2020, [Année internationale de la santé des végétaux](#) ;
- [Académie d'agriculture](#) ;
- Agence Nationale de la Recherche ([ANR](#)) ;
- Association Arbres Remarquables : Bilan, Recherche, Études et Sauvegarde ([A.R.B.R.E.S](#)) ;
- Association des Journalistes-Écrivains pour la Nature et l'Écologie ([JNE](#)) ;
- [Balises](#), *webmagazine* de la Bibliothèque publique d'information ;
- Bibliothèque publique d'information ([BPI](#)) ;
- [Bordeaux Sciences Agro](#) ;
- Bureau d'Economie Théorique et Appliquée ([BETA](#)) anciennement le Laboratoire d'Economie Forestière (LEF) ;
- UMR groupant l'Université de Strasbourg, le CNRS, l'Université de Lorraine, l'INRA et AgroParisTech ;
- Centre d'Ecologie fonctionnelle et évolutive ([CEFE](#) - CNRS) ;
- Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement ([Cirad](#)) ;
- Centre National de la Propriété Forestière ([CNPF](#)) ;
- Centre National de la Recherche Scientifique ([CNRS](#)) ;
- Certification forestière [PEFC](#) France ;
- Challenge [ROSE](#) « Robotique et Capteurs au Service d'Ecophyto » ;
- [Comment les plantes collaborent ?](#) Rencontre organisée pour cycle L'intelligence des plantes, en partenariat avec la revue "Science et Vie", 17 février 2020 ;
- [Commission européenne](#) ;
- Conseil général de l'environnement et du développement durable ([CGEDD](#)) ;
- Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts ([ENGREF](#)) /AgroParisTech ;
- École des hautes études en sciences sociales ([EHESS](#)) ;
- École Nationale Supérieures des Technologies et Industries du Bois ([ENSTIB](#)) ;
- Ecole normale supérieure de Lyon/ UMR Reproduction et Développement des Plantes ([RDP](#)) ;
- [Exhibition La Botanica di Leonardo](#), Santa Maria Novella Museum, Florence (Italie), 13 sept.-15 déc.2019,
- The Future & Emerging Technologies ([FET](#)) Programme ;
- Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat ([GIEC](#)) ;
- Groupement d'Intérêt Public [GIP ECOFOR](#) ;
- [INRAE](#), Unité de Recherche Prairies et Plantes Fourragères (URP3F) – Université de Poitiers ;
- Institut agronomique, vétérinaire et forestier de France ([Agreenium](#)) ;
- Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement [AgroParisTech](#) ;
- Institut National de l'Information Géographique et Forestière ([IGN](#)) ;
- Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture ([IRSTEA](#)) ;
- Institut National de Recherche en sciences et technologies du numérique ([INRIA](#)) ;
- Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement ([INRAE](#)) ;
- Institut pour le Développement Forestier ([IDF](#)) ;
- Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement ([FCBA](#)) ;
- Institute for Climate Economics ([i4CE](#)) ;
- *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* ([IPBES](#)) / Fondation pour la recherche sur la biodiversité ;
- [International Plant Health Conference Protecting Plant Health in a changing world](#), Helsinki (Finlande), 5-8 oct. 2020 ;
- Laboratoire d'Études et de Recherche sur le Matériau Bois ([LERMAB](#)), Université de Lorraine ;
- Laboratoire Écologie, Systématique et Évolution ([ESE](#)) ;
- Laboratoire Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre en environnement Fluctuant ([PIAF](#)), INRAE-Université Clermont-Auvergne ;
- [Montpellier Sup Agro](#) ;
- [Muséum National d'Histoire Naturelle](#) ;
- Observatoire des sciences et des techniques ([OST](#)) ;
- Office National de Forêt [ONF](#) ;
- [Pôle de compétitivité du végétal](#) ;
- [PNAT](#) (acronyme pour Project nature), *think tank* ;
- [Quels droits pour les plantes ?](#) Colloque organisé par l'Association des Journalistes-Écrivains pour la Nature et l'Écologie (JNE), Paris, 19 mars 2020 (*reporté*) ;

- [Soil Foodweb inc.](#) ;
- UMR botAnique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations ([AMAP](#)) ;
- [UMR SILVA](#), Unité Mixte de Recherche AgroParistech, INRA - Université de Lorraine ;
- [UMR SYSTEM](#) ;
- Université Sorbonne Paris Cité ([USPC](#)) ;

Quelques documentaires

- [Life, l'aventure de la vie](#) –Saison 1, épisode 9, 43mn (2009) ;
- [The Roots of Plant Intelligence](#), 13 mn, de Stefano Mancuso, TedGlobal (2010) ;
- [Natura](#), film documentaire (55mn), réalisé par Pascale d'Erm et Bernard Guerrini, produit par ADLTV et Alter Production (2018) ;
- [L'Intelligence des Arbres](#), bande annonce, Julia Dordel et Guido Tölke, Jupiter Communications (2018) ;
- [Peut-on parler d'intelligence des plantes ?](#) Francis Hallé, chaîne YouTube de l'Espace pour la vie de Montréal, le 28 juin 2018 (42 min.) ;
- Exposition scientifique « [Dans la peau d'un arbre](#) », Catherine Lenne, Clermont-Ferrand, 5 mars - 12 avril 2019 ;
- [Les arbres de Josué pourraient disparaître avant la fin du siècle](#), Emeline Féraud, film, juillet 2019 ;
- [Les imaginaires de l'intelligence végétale](#), Rencontre autour de la sensibilité végétale, Museum National d'Histoire naturelle, Paris, Fête de la Science, 12 octobre 2019 ;
- *Les Arbres remarquables - Un patrimoine à protéger*. Film documentaire de l'association A.R.B.R.E.S. (réalisé par Georges Feterman, Jean-Pierre Duval et Caroline Breton), produit par Muséo films (sortie le 3 avril 2019), durée 1h30. Avec la suite *Arbres et forêts remarquables* (sortie prévue en octobre 2020) ;
- [L'intelligence des plantes](#), BPI WebTV/WebRadio ;

L'année 2020 est proclamée **Année internationale de la santé des végétaux** (AISV), par l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et la Convention internationale pour la protection des végétaux (CIPV). <http://www.fao.org/plant-health-2020/home/fr/>



ANNÉE INTERNATIONALE DE LA
SANTÉ DES VÉGÉTAUX
2020