



Nos sœurs les plantes, penser le vivant en terme de parenté

François Bouteau, Étienne Grésillon, Denis Chartier, Patrick Laurenti

► To cite this version:

François Bouteau, Étienne Grésillon, Denis Chartier, Patrick Laurenti. Nos sœurs les plantes, penser le vivant en terme de parenté. 2020. <hal-02950972>

HAL Id: hal-02950972

<https://hal.science/hal-02950972v1>

Preprint submitted on 28 Sep 2020

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Nos sœurs les plantes, penser le vivant en terme de parenté

Our sisters the plants, thinking the living in terms of kinship

François Bouteau, Botaniste, Université de Paris, Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain, France.

Etienne Grésillon, Bio-géographe, Université de Paris, Laboratoire Dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS-UMR 7533), Paris, France.

Denis Chartier, Géographe environnemental, Université de Paris, Laboratoire Dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS-UMR 7533), Paris, France.

Patrick Laurenti, Généticien du développement, Université de Paris, Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain, Paris, France.

* e-mail : direction.espace.milieux@gmail.com

Résumé :

Avant le bouleversement opéré par la classification phylogénétique, la taxonomie classique séparait les vivants en deux règnes distincts, l'animal (*anima* qui bouge) et le végétal (immobile). Contrairement à d'autres espaces ontologiques (animistes ou totémistes), la science occidentale (fortement naturaliste) a pendant très longtemps construit son appareillage théorique sur cette dichotomie. Dans cet article, il s'agit, avec une approche interdisciplinaire, d'associer le développement de la phylogénie et des récentes découvertes autour du végétal, de présenter les parcours évolutifs communs entre l'animal et le végétal ainsi que de comprendre les freins socioculturels qui ont empêché l'intégration du vivant comme une parentèle tout en évoquant quelques pistes qui permettraient de lever ces blocages.

Mots clés : biodiversité, environnement, interdisciplinarité, plantes, parentèles

Abstract:

Before the upheaval brought about by phylogenetic classification, classical taxonomy separated the living into two distinct kingdoms, the animal (moving anima) and the plant (immobile). Contrary to other ontological spaces (animist or totemist), western science (strongly naturalist) has for a very long time built its theoretical apparatus on this dichotomy mostly based on the ancient aristotelician ideas. Nowadays, despite the adoption of the Darwinian paradigm that unifies biology as a kinship, the concept of the scale of beings unfortunately maintains as frame of reference in our view of living species. In this article, the aim is to combine the development of phylogeny, recent discoveries, and the renewed interest in plant agentivity with an interdisciplinary approach. We present the common evolutionary pathways of the tree of life, and we emphasize the lines at the origin of plant or animal lines have a common evolutionary history dating back to about 3.9 Ga separating only 1.6 Ga ago. Therefore, in a tree-thinking perspective of living species history Plants are our sisters. We further present some recent data highlighting specific features of plant sensitivity and communication related to the “plant neurobiology” hypothesis. By using these biological data our aim is to try to understand and discuss some socio-cultural obstacles, mainly in western naturalist countries, that have prevented the integration of living organisms as relatives, while suggesting a few avenues suggested by practices principally from other ontologies that could help overcome these obstacles.

Key words: biodiversity, environment, interdisciplinarity, plants, kinship

Introduction

Nos sœurs les plantes. Au premier abord, penser le vivant en termes de fraternité ou de sororité semble plus relever de modes de pensée animistes que d'une froide rationalité scientifique moderne. Et pourtant... Le paradigme darwinien unifie la biologie en inscrivant le vivant dans un processus historique unique (Lecointre 2009). Les espèces actuelles proviennent d'espèces ancestrales via un mécanisme de descendance avec modification, tant et si bien qu'en remontant le fil des générations, toutes les espèces actuelles présentent un degré d'apparentement plus ou moins profond (Figure 1). Cependant, la prise en compte du vivant comme une parentèle dans un contexte scientifique moderne peine (Casane et Laurenti 2011) car il semble difficile de s'extraire de la vision aristotélicienne et d'une approche génésiaque du monde plaçant l'homme en haut de la pyramide du vivant (Fig. 1).

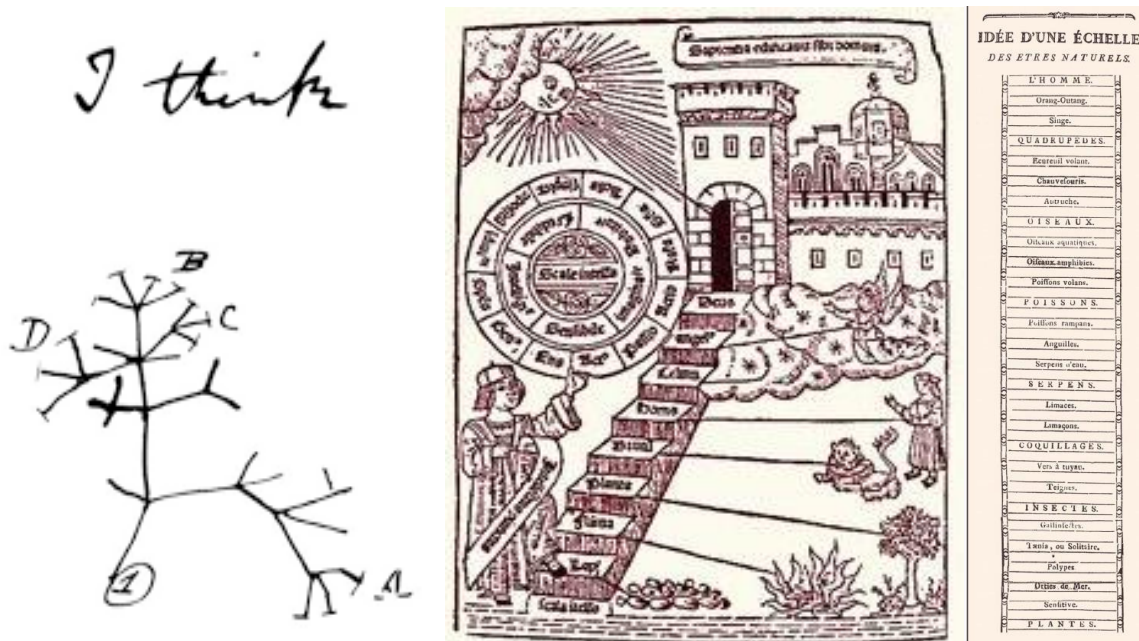


Figure 1: A gauche, l'arbre de vie de Darwin (1837) schématisant l'évolution du vivant, à droite les échelles de Lull (1305) et de Bonnet (1745) représentant l'échelle du vivant, scala naturae, inspirée par Aristote (350 avant JC).

Avec beaucoup d'autres, il nous a semblé nécessaire, dans le contexte pluridisciplinaire du master "Espace et Milieux-Territoires Ecologiques"¹, de mettre au travail collectivement ces

¹ Le master Espace et Milieux est un des plus vieux Master (1986) sur les questions environnementales en France qui croise dans une démarche interdisciplinaire la géographie et la biologie: <http://espace-milieux.fr/>

questions. Les étudiants et les enseignants ont eu les plus grandes difficultés à s'extraire de schémas dichotomiques entre les animaux et les plantes, ce qui rendait très difficile de penser les relations, les liens entre les vivants. Il nous est apparu nécessaire d'engager une discussion sur les homologues, au sens biologique, c'est-à-dire les ressemblances héritées d'un ancêtre commun, entre les humains, les animaux et les plantes au vu des travaux scientifiques récents en confrontant les travaux issus des sciences de la vie avec ceux issus des sciences humaines.

Dans cet article, il s'agit de pointer pourquoi les scientifiques ont encore des difficultés à considérer la parenté entre les plantes et les animaux², alors qu'il a été montré, en particulier par les *sciences studies* et de nombreuses études menées sur les sciences que la plupart des scientifiques ne sont pas les caricatures naturalistes³ que certains voudraient voir, et qu'il existe un grand décalage entre le discours sur la science et la science en action dans les laboratoires par exemple (Latour et Woolgar, 2008 [1979] ; Latour, 2005 [1987] ; Houdart, 2007 ; Brives, 2017).

Dans un premier temps, nous nous pencherons sur les travaux de sciences du vivant qui montrent les homologues entre les animaux et les plantes par des approches génétiques et biologiques. Ensuite, nous dresserons à grands traits les blocages socioculturels à un tel rapprochement et tenterons de comprendre en quoi les débats scientifiques sur l'agentivité végétale en écho à l'émergence du débat public sur l'intelligence des plantes permettent de penser autrement notre rapport au vivant. Nous terminerons par évoquer quelques pistes de nouvelles façons d'appréhender le vivant qui pourraient ouvrir d'autres protocoles de recherches pour une meilleure compréhension et ouverture à ce qui relie humains et plantes.

Les homologues entre les plantes et les animaux

La classification phylogénétique fait des plantes et des animaux des sœurs

La Terre s'est formée au sein du système solaire il y a environ 4,56 milliards d'années (Ga, pour giga-annum), les conditions du développement de processus prébiotiques, notamment la

² Dans l'article, nous prenons une définition ouvertement biologique en considérant l'homme comme un animal, plus précisément comme un grand singe.

³ Dans l'article, nous prenons la définition de Philippe Descola "c'est la combinaison entre le caractère distinctif d'un esprit humain (...) et d'autre part la reconnaissance que les êtres humains, en dépit de cette singularité morale, ont une constitution physique qui ne les rend pas fondamentalement différents des autres êtres organisés (Descola 2011, p. 23).

présence d'eau stabilisée, n'ont été réunies qu'à partir d'environ -4,4 Ga. La vie cellulaire, c'est-à-dire des unités auto-répliquatives séparées du milieu externe par une membrane biologique, serait apparue aux alentours de -3,9 Ga dans un environnement dépourvu d'oxygène. Les plus vieilles traces d'une activité biologique, en l'occurrence la photosynthèse anoxygénique, sont révélées par l'enrichissement en isotope 12 du carbone constaté dans les graphites de la formation d'Isua (Groenland) datant de -3,85 Ga (Tashiro et al., 2017). Cette photosynthèse était probablement le fait de bactéries, organismes unicellulaires procaryotes (c'est-à-dire dépourvus de noyaux) dont l'existence est attestée dès -3,46 Ga, âge des plus anciennes roches d'origine biogénique comme les stromatholithes de la formation de North Pole (Australie). Les cellules à noyaux, ou eucaryotes, seraient apparues vers -2,7 Ga (Brocks et al., 1999). Les eucaryotes résulteraient de la fusion de bactéries et d'archées (Martin et Müller, 1998) dans un monde que l'activité croissante des cyanobactéries (pratiquant une photosynthèse cette fois oxygénique) saturait d'un poison mortel pour la plupart des espèces de l'époque : l'oxygène. Vers 2,4 Ga cet oxygène devient prépondérant dans l'atmosphère marquant un tournant de l'histoire du vivant, appelé la grande oxydation. La lignée des eucaryotes pourvue d'organites internes capable de détoxifier l'oxygène, les mitochondries, a été capable de survivre à cette crise écologique. Ces mitochondries sont issues d'un processus d'endosymbiose, correspondant à l'incorporation d' α -protéobactérie par une cellule eucaryote primitive il y a environ 2 Ga (Margulis, 1967). Cette lignée, ancêtre de tous les eucaryotes actuels, se diversifie en plusieurs groupes vers -1,6 Ga dont, entre autres, les lignées à l'origine des plantes ou celle à l'origine des animaux. Issus d'une histoire évolutive commune remontant à environ 3,9 Ga pour la lignée du vivant cellulaire voire à 4,4 Ga si l'on remonte aux formes protobiontiques (Oparine, 1965), plantes et animaux ont donc partagé près des deux tiers d'une évolution commune avant de se séparer (Fig. 2). A l'échelle de l'histoire du vivant, et d'un point de vue phylogénétique, les plantes sont donc nos sœurs. La principale différence entre animaux et plantes est que ces dernières ont bénéficié d'une endosymbiose supplémentaire qui les a vues intégrer une cyanobactérie à l'origine du plaste (Margulis, 1967). Cette acquisition leur a conféré leur aptitude photosynthétique, et donc leur autotrophie, et constitue sans doute le moteur principal de leur succès évolutif. Remarquons, qu'en l'occurrence ce sont les plantes qui présentent une innovation évolutive supplémentaire,

tout comme les algues brunes issues d'une endosymbiose secondaire, tandis que tous les autres eucaryotes (dont les humains), ont conservé l'organisation cellulaire ancestrale.

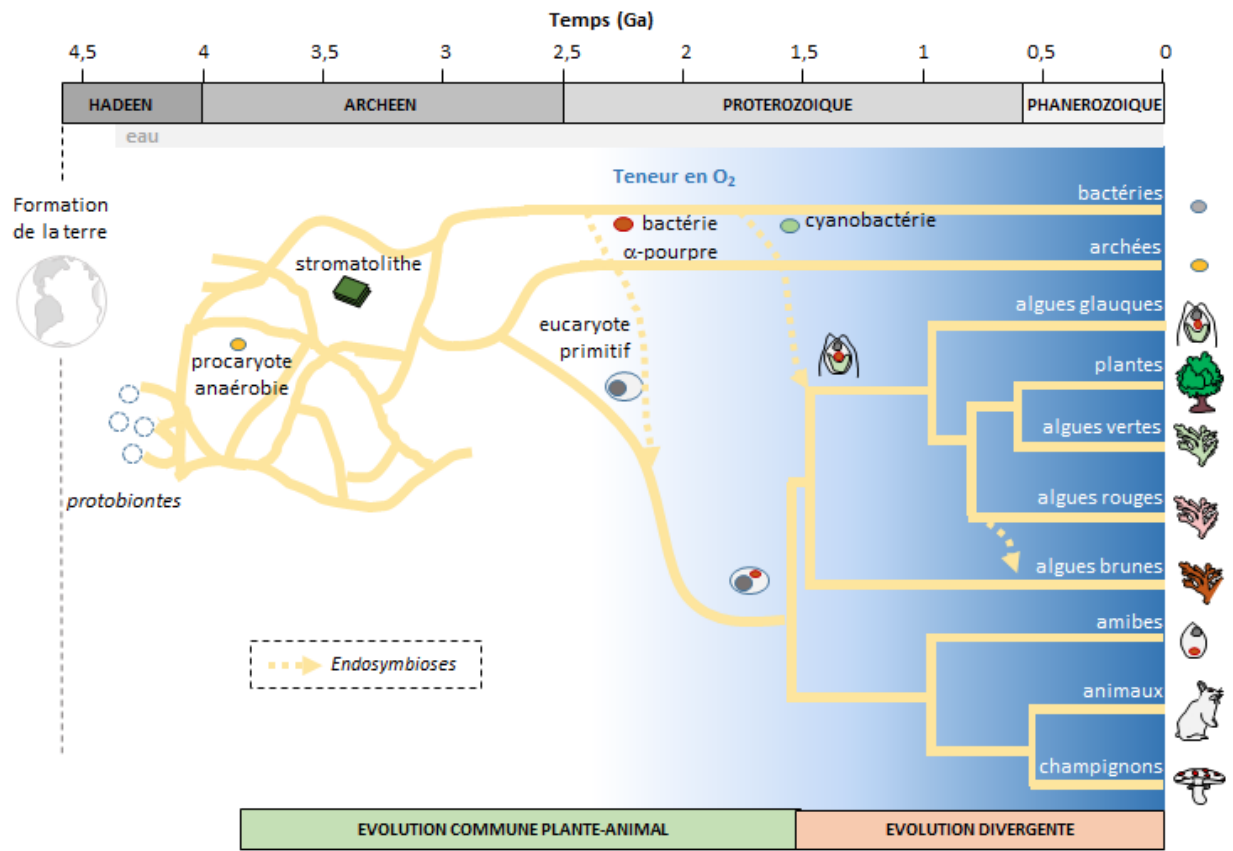


Figure 2 : Schéma de l'évolution des organismes vivants depuis la formation de la terre.

Qu'avons-nous, animaux et plantes, hérités en commun de cette parenté évolutive ? En tant qu'organismes vivants, nous partageons la machinerie cellulaire de base, bien entendu : nous codons et stockons l'information génétique sous forme d'ADN et la transportons sous forme d'ARN messager vers les ribosomes où nous la décodons de façon identique pour synthétiser des protéines. De plus, en tant qu'eucaryotes, nos cellules contiennent un noyau qui cantonne les chromosomes et possèdent en commun dans leur cytoplasme un cytosquelette, du réticulum endoplasmique, un appareil de Golgi, des lysosomes, des peroxysomes et des mitochondries. Grâce à ces dernières, les cellules des animaux et des plantes produisent de l'énergie à partir des sucres et respirent de la même façon, les plantes pouvant, de plus, synthétiser des sucres grâce à la photosynthèse !

Un système nerveux chez les plantes ?

Les éléments *sus* cités auraient dû amener la majorité des biologistes à considérer les plantes comme des êtres vivants doués, au moins biologiquement, d'une certaine agentivité. Il n'en est rien, alors que ces présomptions ne sont pourtant pas nouvelles. Luigi Galvani à la fin du 18^e siècle comme Alexander von Humboldt, réalisèrent des travaux pionniers permettant de conclure à une similarité de la nature bioélectrique des animaux et des plantes. A la fin du 19^e et début du 20^e siècle, des potentiels d'action furent mis en évidence chez divers végétaux suggérant que l'excitabilité de certaines cellules végétales pourrait être un moyen de communication intercellulaire (Burdon-Sanderson, 1873). Jagadis Chandra Bose (1926) mit en évidence l'importance et l'omniprésence de la signalisation électrique entre cellules végétales pour coordonner leurs réponses à l'environnement. Il en concluait que les plantes ont un "système nerveux", une forme d'intelligence et sont capables de se souvenir et d'apprendre, comme l'avaient déjà proposé Charles Darwin (1880) et son fils Francis Darwin (1909). La découverte de l'existence de potentiels d'action chez toutes les plantes échappa à la majorité des spécialistes qui suivirent. Pourtant, preuve avait été faite que la signalisation électrique sur de longues distances constitue un moyen efficace de communiquer de cellule à cellule en réponse à de nombreux stress biotiques et abiotiques chez les plantes comme chez l'ensemble des eucaryotes (Baluska et Mancuso, 2019). Malgré ces démonstrations répétées, le concept de "système nerveux végétal" ne réussit pas à s'imposer auprès de la communauté scientifique et ce jusqu'au début de notre siècle (Alpi et al., 2007), même si certains auteurs comme Francis Hallé ont mis en avant de surprenantes capacités des plantes (Hallé, 2004).

Convergences ou héritage commun ?

Des mécanismes longtemps considérés comme l'apanage exclusif des animaux présentent cependant de fortes similarités entre plantes et animaux. Ces ressemblances étaient attribuées classiquement à des convergences évolutives, c'est-à-dire l'apparition indépendante dans deux lignées de solutions adaptatives équivalentes en réponse à un même problème. Une hypothèse alternative existe : celle de la conservation de processus ancestraux mis au point avant la séparation des lignées. A titre d'exemple l'immunité innée des animaux et des plantes présente

ainsi des principes communs (Gust et Nurnberger, 2017). Si les organismes eucaryotes multicellulaires utilisent des systèmes immunitaires sophistiqués à plusieurs niveaux pour prévenir les infections microbiennes, la première barrière est constituée par l'activation d'une immunité innée. Le système immunitaire inné des animaux et des plantes partage une même logique conceptuelle. La reconnaissance des microbes se fait par des motifs moléculaires reconnus comme du non-soi perçus par des récepteurs de structure similaire qui activent des voies de signalisation analogues. Ces données conduisent à une vision holistique de l'immunité innée en tant que caractéristique générale des eucaryotes issue de leur ancêtre commun.

De la même façon, des processus de type neurobiologique (c'est-à-dire requérant une signalisation électrique basée sur l'activation de canaux ioniques) pourraient avoir pour origine une homologie profonde (Bouteau et Laurenti, 2018). Il a été récemment (re)découvert de fortes similarités des mécanismes de signalisation électrique entre plantes et animaux. La présence de potentiel d'action (message électrique qui se transmet le long des neurones chez les animaux) avéré chez les plantes comme les animaux depuis fort longtemps (Burdon-Sanderson, 1873 ; Bose 1926), bénéficie d'un fort regain d'intérêt chez les plantes depuis une quinzaine d'années (Huber et Bauerle, 2016). Bien plus, des signaux ressemblant aux potentiels d'action ont été enregistrés chez des bactéries en réponses à des changements de leur environnement (Masi et al., 2015 ; Bruni et al., 2017) ou lors de la formation d'un biofilm (Humphries et al., 2017). Chez les plantes, les animaux, voire les bactéries il existe de fortes similarités entre la majorité des gènes codant les canaux ioniques impliqués dans les régulations du potentiel membranaire (Estévez et Jentsch, 2002 ; Ludewig, 2006 ; Nieves-Cordones et Gaillard, 2014 ; Sulla et Wallace, 2017). De la même façon, des homologues de toutes les molécules servant de neurotransmetteurs chez les animaux (l'acétylcholine, la dopamine, la noradrénaline, l'adrénaline, la sérotonine, l'histamine la mélatonine, le GABA ou encore le glutamate) existent chez les plantes. Le transport polaire à l'apex de la racine de l'auxine (un dérivé du tryptophane, comme l'est la sérotonine) est accompli par exocytose et par recyclage actif de vésicules, comme dans les synapses chimiques animales (Baluska et al., 2008) par des cellules qui partagent avec les neurones la capacité de générer spontanément des potentiels d'action (Masi et al., 2009). Récemment, il a aussi été montré que *Arabidopsis thaliana* pouvait détecter des signaux exogènes, comme une attaque d'herbivore, et

utiliser le glutamate et ses récepteurs pour transmettre des informations dans toute la plante grâce à des signaux calciques (Toyota et al., 2018). Ceci permet d'activer rapidement les réponses de défense dans les parties non endommagées de la plante. Ce fonctionnement est équivalent à celui du système nerveux des animaux pour lesquels le glutamate est le neurotransmetteur excitateur le plus abondant utilisé par les cellules nerveuses pour envoyer des signaux à longue portée à d'autres cellules. Ces données, auxquelles s'ajoutent de nombreuses homologues moléculaires, révèlent de fortes similitudes fonctionnelles avec des processus de type "neurobiologiques" même en l'absence de neurones. Là encore ces données conduisent à une vision holistique des processus neurobiologiques en tant que caractéristique générale des eucaryotes voire de l'ensemble du vivant. Tous ces éléments montrent que les plantes sont des êtres biologiquement proches de l'homme et pourtant, cette réalité a le plus grand mal à diffuser au sein de la communauté scientifique. Pourquoi ?

Quelques explications des difficultés pour penser, dans nos sociétés modernes, les plantes comme des êtres proches des animaux

Une première étape : la séparation entre la nature et les humains.

Evoquons succinctement quelques éléments explicatifs de la mise à distance entre les humains et la nature (dont les plantes) dans le monde moderne. Cette distance se dévoile tout d'abord dans le terme nature qui provient du latin *natura*, lui-même issu de *nascor*, soit « venir au monde, naître, prendre son origine ». La nature est donc ce qui prend vie, qui se produit par elle-même. Elle échapperait aux humains parce qu'elle aurait sa propre dynamique sa propre temporalité, sa mobilité, ses mécanismes structurels de croissance et de reproduction (qui peuvent être maîtrisés par les interventions humaines : coupe, plantation, hybridation, modifications génétiques etc.). La deuxième racine étymologique, *phusis* (grecque), prolonge cette mise à distance puisqu'elle désigne « *ce qui contient en soi-même son principe d'existence et de changement* » (Larrère et Larrère, 2015).

Au 18^e siècle, Descartes avait ramené les objets, artificiels ou naturels, à leur dimension mécanique. Le philosophe a ainsi contribué à forger en Europe l'approche scientifique rationnelle que la physique newtonienne formalisa au début du 19^e siècle (Larrère et Larrère, 1997).

Introduisant une nouvelle séparation entre la matière et la pensée, propre à l'être humain, il instaure la séparation moderne de l'humain et de la nature, du sujet et de l'objet (Larrère et Larrère, 2015). Dans une perspective utilitariste, la nature est ainsi assimilée aux ressources que les éléments biophysiques fournissent aux sociétés humaines. La nature devient alors un cadre de vie. Elle fournit la matière première aux humains pour se nourrir et se loger. La notion de service écosystémique est sans doute l'un des derniers avatars de ce rapport utilitariste à la nature (Méral, 2012 ; Maris, 2014). La vision de la nature comme ressource et ressourcement s'exprime également dans la notion de paysage vue par la société du tourisme combinée à des préoccupations hygiénistes ou artistiques. François Terrasson a également montré que cette scission, se traduisait par une peur de la nature, constitutive de la manière dont les sociétés occidentales la perçoivent (Terrasson, 1991). Cette nature échappe aux lois humaines. Le séparatisme nature/culture renferme pour lui refoule la part de naturel en l'humain et repousse toute idée de parentèle entre vivant humain et vivant non-humain.

Une deuxième étape : la distinction entre plantes et humains.

Les points de vue classiques modernes sont fondés sur des différences fondamentales entre les plantes et les animaux énoncées dans les textes bibliques anciens et par Aristote (Aristotle 2002). Dans la Genèse, la végétation est créée le troisième jour et présente sous une forme utilitariste : "les herbes portant semence et des arbres fruitiers donnant sur la terre selon leur espèce des fruits contenant leur semence et il en fut ainsi" (Bible de Jérusalem, Gn 1, 11). Elle arrive comme le premier organisme vivant sur terre. Dans la chronologie qui devient hiérarchique elle incarne le vivant élémentaire. Cette vision utilitariste est renouvelé dans le Nouveau Testament. Selon Aristote, les plantes ont une âme végétative, ou threptikon, qui leur donne des capacités d'alimentation et de reproduction. Les capacités des plantes, pour Aristote, sont communes à tous les êtres vivants, les humains ayant des capacités supplémentaires, la sensation et la pensée rationnelle, surajoutées à l'âme végétative. Bien qu'Aristote ait corroboré l'hypothèse de l'existence d'une âme, il la considérait comme inférieure à celle de l'homme et de l'animal à tel point qu'il qualifiait les plantes "d'animaux déficients". Cette vision perdure encore au travers de l'appui renouvelé à cette théorie par certains philosophes (Ferry, 1992) et religieux

(Concile Vatican II⁴; Paul VI⁵...).

Les récentes découvertes sur la “neurobiologie végétale” ré-ouvrent le débat

Les plantes possèdent tout comme nous des sens leur permettant de s'adapter à leur environnement

La biologie contemporaine conserve trop souvent un paradigme aristotélicien du monde selon lequel les plantes diffèrent des animaux en raison de leur caractère insensible et de leur manque d'aptitude à interagir avec leur environnement. Cependant, on assiste à un débat renouvelé, qui passionne le grand public, sur les capacités insoupçonnées des plantes, voire leur intelligence (Trewavas, 2003 ; Marder, 2012 ; Calvo et al., 2017 ; Baluska et Mancuso, 2019). En 2005, Stefano Mancuso et Frantisek Baluska, suite à la mise au jour chez les plantes d'un grand nombre de caractéristiques que l'on trouve dans le système neuronal de l'animal, ont proposé avec un brin de provocation le concept de neurobiologie végétale (Brenner et al., 2006) et créaient la Société savante Plant Neurobiology. Cette initiative a induit une forte controverse, des scientifiques de trente-trois institutions clamant qu'il ne s'agissait que d'analogies superficielles et d'extrapolations douteuses (Alpi et al., 2007). Le titre de leur réponse, « Plant neurobiology: no brain, no gain ? » trahissait une vision idéaliste de la classification du vivant et oubliait au passage que les neurones existent chez des animaux dépourvus de cerveau tels que les étoiles de mer, les oursins, les bivalves ou encore les méduses. Un des objectifs de la Société était de changer de paradigme quant à la vision aristotélicienne des plantes. En 2009, pour limiter les réactions d'ostracisme illustrant le fort conservatisme du milieu scientifique, cette société a choisi de changer son nom en Plant Signaling & Behavior Society (<https://plantbehavior.org/>).

Ces dernières années, de nombreuses études ont étayées l'hypothèse selon laquelle les plantes, organisme sessiles devant s'adapter rapidement et efficacement aux changements de

⁴ Dans le concile Vatican II dans la Constitution Pastorale *Gaudium et Spes*, (1965), il est écrit : “L’homme, créé à l’image de Dieu, a en effet reçu la mission de soumettre la terre et tout ce qu’elle contient, de gouverner le cosmos en sainteté et justice...”

⁵ En 1967, Paul VI dans sa lettre encyclique *Populorum Progressio* (le Développement des Peuples) écrit “Emplissez la terre et soumettez-la” (Gn. 1, 29) : la Bible, dès sa première page, nous enseigne que la Création entière est pour l'homme, à charge pour lui d'appliquer son effort intelligent à la mettre en valeur, et, par son travail, la parachever pour ainsi dire à son service. ”.

leur environnement, percevaient de nombreuses informations disponibles dans leur environnement. Même si elles ne présentent pas d'organes dédiés, elles possèdent des sens comparables à ceux des animaux : elles utilisent l'information lumineuse notamment pour réorienter leur racine (Mo et al., 2015), perçoivent des fréquences sonores (Gagliano, 2017 ; Rodrigo-Moreno et al., 2017), sont sensibles au toucher et à la gravité (Demidchick et al., 2018) et non seulement perçoivent les odeurs, mais de plus communiquent entre elles et avec d'autres organismes grâce à des composés volatiles (Beck et al., 2018). Les plantes sont capables de mémorisation et peut-être d'apprentissage par association (Gagliano et al., 2014 ; 2016 ; 2018 ; Calvo and Friston, 2017). Les questions sous-jacentes à ces capacités de perception sont (i) l'intégration au fil du temps et de l'espace de ces signaux complexes, leur priorisation et l'adoption de comportements élaborés (Novoplansky, 2019), ce qui devrait être traité par un système "phytoneurologique" selon Calvo et Friston (2017), et (ii) l'intentionnalité (Marder, 2012) ou capacité de faire des choix impliquant une conscience (Bergson, 1911). Une conscience spécifique des plantes de leur environnement serait donc nécessaire à leur adaptation et survie (Baluska and Mancuso, 2019), comme pour les animaux (Popper, 1994), voire l'ensemble du vivant (Trewavas and Baluska, 2011 ; Baluska et Reber, 2019). Charles Minot (1902) proposa que "la conscience est un dispositif permettant de réguler les actions des organismes pour accomplir des buts qui sont utiles aux organismes et sont donc téléologiques". Quoiqu'il en soit l'utilisation du terme conscience pour les plantes n'a pas manqué de susciter une vive réponse de certains collègues (Taiz et al., 2019), même si la question principale reste un problème de définition comme discutée depuis fort longtemps (cf. l'âme végétative d'Aristote).

En sciences, une stratégie optimale, même si elle a aussi ses limites, consiste à commencer l'analyse par des systèmes simples et ensuite à continuer vers des systèmes plus complexes. Les sciences de la vie traitant de la cognition et de l'apprentissage ont commencé avec un système complexe (le cerveau humain) et n'ont inclus que plus tard des systèmes plus simples. Cette situation cause des problèmes et des malentendus dans les tentatives actuelles d'explorer le comportement cognitif des plantes mais aussi des bactéries, des protozoaires etc. Au-delà de l'intelligence et de la conscience, qui relèvent plus de concepts et dont de nombreuses définitions existent, des phénomènes biologiques fondamentaux comme l'apprentissage, la mémoire, la

cognition, la sensibilité etc. ont été réservés uniquement aux humains. Toute tentative d'étendre ces concepts biologiques de base à d'autres organismes est encore souvent de ce fait rejetée comme un exemple d'anthropomorphisme (Baluska and Mancuso, 2019). Et pourtant il n'est "pas possible de faire un travail en science sans utiliser une langue remplie de métaphores" même si "le prix de la métaphore est éternelle vigilance" (cité dans Ameisen, 2002). L'utilisation de ces termes pour les plantes se justifie par le fait qu'il n'y en a pas de meilleurs pour qualifier leurs capacités et leurs comportements. Cette position est inoffensive si l'on s'en sert comme d'une métaphore, mais remet plus de choses en question si ces descriptions cognitives sont avérées (Segundo-Ortin et Calvo, 2019). Les concepts liés à la neurobiologie végétale, au-delà de la discussion sur la terminologie utilisée, doivent nous conduire à reconsidérer de façon fructueuse l'origine évolutive des "neurosystèmes". S'autoriser à envisager l'existence d'homologies profondes, nous mène à considérer les spécialisations récentes du système nerveux animal comme émergeant de processus anciens et fondamentaux de la communication et de la survie cellulaire et nous encourage à reconsidérer les liens de parentalités.

La neurobiologie des plantes comme incitation à s'extraire de concepts et de pensées verrouillées par un imaginaire naturaliste.

S'ouvrir à d'autres ontologies pour pleinement reconnaître les plantes comme nos sœurs ?

Affirmer aujourd'hui que les humains forment une communauté d'organismes entièrement distincte des autres composantes biotiques de l'environnement n'a plus de justifications objectives. Cela doit avoir des conséquences sur nos façons de penser et travailler. Pour pleinement comprendre et travailler sur ces homologies profondes, sur cette agentivité des plantes, il est temps de s'extraire en conscience d'une vision dualiste nature-culture et de la dichotomie sujet/objet, d'une conception par trop naturaliste (Descola, 2005) qui imbibe notre sens commun, notre conception de la science et donc structure notre épistémologie, ainsi que notre vision des autres modes de perception de la nature (Descola, 2014). Même si comme l'on montré de nombreuses études de *sciences studies*, le dualisme nature-culture est "un masque pour une pratique qui le contredit" [...] cela " n'élimine pas pour autant sa fonction rectrice dans l'organisation des sciences" (Descola, 2005, p. 130). Si les ontologies présentées par Descola

restent critiquables, comme toute tentative de catégorisation (Friedberg, 2007) et si ces ontologies peuvent parfois s'hybrider, il s'agit de s'extraire d'une perspective par trop naturaliste pour mieux reconsidérer ce que les plantes peuvent être. Certains s'y emploient tels que les biologistes Monica Gagliano (2018) ou Robin Kimmerer (2013) ou des anthropologues tel Eduardo Kohn (2013) ou Florence Brunois (2008). D'autres appellent à reconsidérer un animisme qui encouragerait par exemple " les humains à voir le monde comme une communauté variée de personnes vivantes avec lesquelles on trouve différentes espèces de respect » (Lestel, 2015, p. 138-139) et à faire de la place à d'autres façons de connaître et de raconter le monde vivant (Myers, 2018). Ces approches n'ont pas pour ambition de mettre en place un néo-animisme qui aurait pour intention de définir une spiritualité de la nature comme évoqué par Gérald Bronner (2017). En revanche, tout comme les débats autour de l'intelligence et de la conscience des non-humains, elles marquent probablement la fin du cycle naturaliste dans les sociétés occidentales (Descola *in* Rhamani, 2016). Comme nous l'avons montré, il est ainsi important pour aborder le vivant d'avoir une vision holistique des processus biologiques en tant que caractéristique générale des eucaryotes voire de l'ensemble du vivant et de comprendre et accepter ce que nous avons de commun et donc reconsidérer les parentèles. Il s'agit d'explorer comment d'autres ontologies comprennent et perçoivent les rapports d'interdépendance entre les vivants (Gilbert et al., 2012) et leur parentèle pour penser la manière dont les vivants composent entre-eux (Stengers, 2017). Ces approches nous permettront de mieux comprendre comment notre ressenti de l'altérité retarde la prise en compte de notre reconnaissance du vivant comme une parentèle. Ces approches sont aussi à rapprocher de celle proposée par Donna Haraway (2003 ; 2016) proposant à partir de sa propre expérience une vision de la parentèle élargie en examinant nos liens profonds avec d'autres "créatures" non-humaines. "Je pense que l'élargissement et la recomposition de la parenté sont autorisés par le fait que tous les Terriens sont parents proches, dans le sens le plus profond, et il est grand temps de pratiquer de meilleurs soins aux genres-par-assemblages (car une espèce n'est jamais seule). Parenté est une sorte de mot qui engage une notion d'assemblage. Toutes les créatures et autres bestioles partagent une « chaire » commune, latéralement, sémiotiquement, et généalogiquement." (Haraway, 2016b, p. 79-80).

Conclusion : "Faire de la parenté" avec le monde plus qu'humain est une piste, voire une responsabilité éthique urgente pour penser et promouvoir un avenir soutenable à la planète, aux humains et autres qu'humains. Pour cela il est utile de comprendre que notre histoire évolutive commune conduit à penser le vivant comme une parentèle et de le mettre en résonance avec d'autres ontologies. Il ne s'agit pas d'une posture métaphysique comme celle que portent certains philosophes, comme par exemple celles de B. Morizot (2016) ou E. Coccia (2016). Il s'agit de donner toute sa place à des savoirs, des pratiques, d'autres réalités vécues et partagées sensiblement qui considèrent que les plantes ne peuvent « pas être isolées des autres êtres qui composent le monde pour constituer des objets spécialisés, ni pour être érigée en objet métaphysique » (Gosselin, 2019). L'enjeu n'est pas anecdotique. Il s'agit bien de reconsidérer les plantes et leur position dans notre monde en pleine mutation tout en s'ouvrant à d'autres savoirs qui pourraient nous aider à accepter enfin les parentèles et donc la totale inclusion des humains dans le vivant et dans le monde. Les trajectoires des découvertes scientifiques récentes et leurs rapprochements, mises en friction avec d'autres ontologies, avec d'autres pratiques, seront plus qu'utiles pour bousculer fondamentalement une vision aristotélicienne du vivant toujours prédominante et permettre de repenser et renouveler les liens entre animaux (humains compris) et plantes, en recherchant et pensant ce que nous avons et vivons en commun, dans un monde qui appelle de nouvelles formes d'attentions et de cohabitations entre tous les êtres vivants.

Remerciement : Cette étude contribue au Centre des Politiques de la Terre et à l'IdEx Université de Paris ANR-18-IDEX-0001. Nous remercions David Rebutier pour sa relecture critique.

Références :

- Alpi A., Amrhein N., Bertl A., Blatt M.R., Blumwald E., Cervone F., Dainty J., De Michelis M.I., Epstein E., Galston A.W., Goldsmith M.H., Hawes C., Hell R., Hetherington A., Hofte H., Juergens G., Leaver C.J., Moroni A., Murphy A., Oparka K., Perata P., Quader H., Rausch T., Ritzenthaler C., Rivetta A., Robinson D.G., Sanders D., Scheres B., Schumacher K., Sentenac H., Slayman C.L., Soave C., Somerville C., Taiz L., Thiel G., Wagner R., 2007. Plant neurobiology: no brain, no gain?, *Trends in Plant Science*, 12, 135-6.
- Ameisen J.C., 2002. On the origin, evolution, and nature of programmed cell death: a timeline of four billion years, *Cell Death and Differentiation*, 9, 367-393.
- Aristotle, 2002. *Historia animalium*. Edited by Balme D.M., prepared for publication by Gotthelf A., Cambridge, Cambridge University Press.

- Baluska F., Schlicht M., Volkmann D., Mancuso S., 2008. Vesicular secretion of auxin: Evidences and implications, *Plant Signalling and Behavior*, 3, 4, 254-6.
- Baluška F., Mancuso S., 2019. Plant cognition and behavior: from environmental awareness to synaptic circuits navigating root apices, in Baluska F. (Ed), *Memory and Learning in Plants, Signaling and Communication in Plants*, Springer International Publishing, 51-77. .
- Baluska F., Reber A., 2019. Sentience and consciousness in single cells: how the first minds emerged in unicellular species, *Bioessays*, 41, 3, :e1800229.
- Beck J.J., Alborn H.T., Block A.K., Christensen S.A., Hunter C.T., Rering C.C., Seidl-Adams I., Stuhl C.J., Torto B., Tumlinson J.H., 2018. Interactions among plants, insects, and microbes: elucidation of inter-organismal chemical communications in agricultural ecology, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 66, 26, 6663-6674.
- Bergson H., 1911. La conscience et la vie. Conférence donnée à l'université de Birmingham.
- Bose J.C., 1926. *The Nervous Mechanism of Plants*. Long-mans, Green and Co., Ltd., London.
- Bouteau F, Laurenti P., 2018. La neurobiologie végétale, une idée folle ?, *Pour la science*, Hors série 101, 36-41.
- Brenner E.D., Stahlberg R., Mancuso S., Vivanco J., Baluska F., Van Volkenburgh E., 2006. Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling, *Trends in Plant Science*, 11, 413-9.
- Brives C., 2017. Que font les scientifiques quand ils ne sont pas naturalistes ? Le cas des levuristes, *L'Homme*, 222, 35-56.
- Brocks J.J., Logan G.A., Buick R., Summons R.E., 1999. Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes, *Science*, 285, 1033–1036.
- Bronner G., 2017. Ce néoanimisme qui vient, *Pour la Science*, 481, 16.
- Bruni G.N., Weekley R.A., Dodd B.J.T, Kralj J.M., 2017. Voltage-gated calcium flux mediates Escherichia coli mechanosensation, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 114, 35, 9445-9450.
- Brunois F., 2018. “Savoir-vivre avec les plantes : un vide ontologique”, *Cahiers philosophiques*, 153, 9-24.
- Burdon-Sanderson J.I., 1873. Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of *Dionæa muscipula*. *Proceedings of the Royal Society, London*, 21, 495–496.
- Calvo P., Friston K., 2017. Predicting green: really radical (plant) predictive processing. *Journal of The Royal Society Interface*, 14, 20170096.
- Calvo P., Sahi V.P., Trewavas A., 2017. Are plants sentient? *Plant Cell and Environment*, 40, 2858-2869.
- Casane D., Laurenti P., 2011, Penser la biologie dans un cadre phylogénétique : l'exemple de l'évolution des vertébrés, *Médecine Science, Paris*, 28, 1121-1127
- Coccia E., 2016. *La vie des plantes*, Paris, Bibliothèque Rivages.
- Darwin C. 1880. *The power of movement in plants*. London, John Murray.
- Darwin F., 1909. Do plant really possess the power of thinking? *The New York Times*, February 28.
- Demidchik V., Shabala S., Isayenkov S., Cuin T.A., Pottosin I., 2018. Calcium transport across plant membranes: mechanisms and functions, *New Phytologist*, 220, 49-69.
- Descola P., 1996. Les cosmologies des indiens d'amazone, *La Recherche*, 292, 62- 67.
- Descola P., 2005. *Par-delà Nature et Culture*, Paris, Gallimard.
- Descola P., 2011. « Entretien avec Philippe Descola », *Cahiers philosophiques*, vol. 127, no. 4, 2011, pp. 23-40.

- Descola P., 2014. *La composition des Mondes. Entretiens avec Pierre Charbonnier*, Paris, Flammarion.
- Estévez R., Jentsch T.J., 2002. CLC chloride channels: correlating structure with function, *Current Opinion in Structural Biology*, 12, 4, 531-9.
- Ferry L., 1992. *Le nouvel ordre écologique. L'arbre, l'animal et l'homme*, Paris, Grasset & Fasquelle.
- Friedberg C., 2007. Par-delà le visible, *Natures Sciences Sociétés*, 15, 167-176.
- Gagliano M., Renton M., Depczynski M., Mancuso S., 2014. Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters, *Oecologia*, 175, 63–72.
- Gagliano M., Vyazovskiy V.V., Borbély A.A., Grimonprez M., Depczynski M., 2016. Learning by association in plants, *Scientific Reports*, 2, 6, 38427.
- Gagliano M., Grimonprez M., Depczynski M., Renton M., 2017. Tuned in: plant roots use sound to locate water, *Oecologia*, 184, 1, 151-160.
- Gagliano M., Abramson C.I., Depczynski M., 2018. Plants learn and remember: lets get used to it, *Oecologia*, 186, 1, 29-31.
- Gagliano M., 2018. *Thus Spoke the Plant*, Berkeley, North Atlantic Books.
- Gilbert S.F., Sapp J., Tauber A.I., 2012. A symbiotic view of life: we have never been individuals, *The Quarterly Review of Biologie*, 87, 325-341.
- Gosselin S., 2019. Redonner corps à l'esprit des plantes, *Terrestres*, 4, <https://www.terrestres.org/2019/03/05/redonner-corps-a-lesprit-des-plantes/>
- Gust A.A., Pruitt R., Nürnberger T., 2017. Sensing danger: key to activating plant immunity, *Trends in Plant Science*, 22,9, 779-791.
- Hallé F., 2004. *Eloge de la plante. Pour une nouvelle biologie*. Paris, Seuil.
- Haraway D. 2003. *The companion species manifesto*. Chicago university, Prickly Paradigm Press.
- Haraway D., 2016. *Staying with the Trouble. Making Kin in the Chthulucene*, Duke University Press.
- Haraway D., 2016b. Anthropocène, Capiitalocène, Plantiatonocène, Chtulucène. Faire des parents. *Multitudes*, 65, 75-81.
- Houdart S., 2007. *La Cour des miracles. Ethnologie d'un laboratoire japonais*. Paris, Cnrs Éd.
- Huber A.E., Bauerle T.L., 2016. Long-distance plant signaling pathways in response to multiple stressors: the gap in knowledge, *Journal of Experimental Botany*, 67, 2063-79.
- Humphries J., Xiong L., Liu J., Prindle A., Yuan F., Arjes H.A., Tsimring L., Süel G.M., 2017. Species-independent attraction to biofilms through electrical signaling, *Cell*, 168, 200–209.
- Kimmerer W.R., 2013. *Braiding sweetgrass. Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge, and the Teaching of Plants*, Canada, Milkweed Editions.
- Kohn E., 2013, *How Forests Think. Toward an Anthropology Beyond the Human*, Berkeley, University of California Press.
- Larrère C., Larrère R. (dir.), 1997. *La crise environnementale*. Paris, INRA.
- Larrère C., Larrère R., 2015. *Penser et agir avec la nature. Une enquête philosophique*. Sciences humaines. La Découverte Eds.
- Latour B., 2005 [1987], *La Science en action. Introduction à la sociologie des sciences*. Trad. de l'anglais par Michel Biezunski. Paris, La Découverte (La Découverte- poche. Sciences humaines et sociales).

- Latour, B., Woolgar S., 1988 [1979]. *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Trad. de l'anglais par Michel Biezunski. Paris, La Découverte (Sciences et société).
- Lecointre G., 2009. *Guide critique de l'évolution*, Paris, Belin.
- Lestel D., 2015. *À quoi sert l'homme ?*, Paris, Fayard.
- Ludewig U., 2006. Ion transport versus gas conduction: function of AMT/Rh-type proteins. *Transfusion and Clinical Biology*, 13, 1-2, 111-116.
- Marder M., 2012. Plant intentionality and the phenomenological framework of plant intelligence, *Plant Signalling and Behavior*, 7, 1365-72.
- Margulis (Sagan) L., 1967. On the origin of mitosing cells, *Journal of Theoretical Biology*, 14, 225-274.
- Maris V., 2014. *Nature à vendre. Les limites des services écosystémiques*, Quae
- Martin W., Müller M., 1998. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote, *Nature*, 392, 37-41.
- Masi E., Ciszak M., Stefano G., Renna L., Azzarello E., Pandolfi C., Mugnai S., Baluska F., Arecchi F.T., Mancuso S., 2009. Spatiotemporal dynamics of the electrical network activity in the root apex, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 106, 10, 4048-53.
- Masi E., Ciszak M., Santopolo L., Frascella A., Giovannetti L., Marchi E., Viti C., Mancuso S., 2015. Electrical spiking in bacterial biofilms. *Journal of the Royal Society Interface*, 12, 20141036.
- Méral P., 2012. Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes, *Natures Sciences Sociétés*, 20, 1, 3-15.
- Minot C.S., 1902. The problem of consciousness in its biological aspects, *Science*, 16, 1-12.
- Mo M., Yokawa K., Wan Y., Baluška F., 2015. How and why do root apices sense light under the soil surface?, *Frontiers in Plant Sciences*, 6, 775, 1-8.
- Morizot B., 2016. *Les diplomates. Cohabiter avec les loups sur une autre carte du vivant*, Marseille, Wildproject.
- Myers N. 2018. How to grow livable worlds: Ten not-so-easy steps, in Smith O. (Ed) *The World to Come*, Gainesville, Florida, Harn Museum of Art.
- Nieves-Cordones M., Gaillard I., 2014. Involvement of the S4-S5 linker and the C-linker domain regions to voltage-gating in plant Shaker channels: comparison with animal HCN and Kv channels, *Plant Signalling and Behavior*, 9, 10, e972892.
- Novoplansky A., 2019. What Plant Roots Know?, *Seminars in Cell & Developmental Biology*, S1084-9521, 18, 30250-7.
- Oparine A.I., 1965. *L'origine de la vie sur la Terre*. Paris : Masson.
- Rahmani S., 2016. Les plantes ces grandes communicantes. *Le Monde*, 2 mars 2016.
- Rodrigo-Moreno A., Bazihizina N., Azzarello E., Masi E., Tran D., Bouteau F., Baluska F., Mancuso S., 2017. Root phonotropism: Early signalling events following sound perception in Arabidopsis roots. *Plant Science*, 264, 9-15.
- Segundo-Ortin M., Calvo P., 2019. Are plants cognitive? A reply to Adams. *Studies in History and Philosophy of Science*, 73, 64-71.
- Stengers I., 2017. Préface" dans Lowenhaupt Tsing A., *Le champignon de la fin du monde*, Paris, La découverte, 7-19.
- Sula A., Wallace B.A., 2017. Interpreting the functional role of a novel interaction motif in prokaryotic sodium channels. *Journal of General Physiology*, 149, 6, 613-622.
- Taiz L., Alkon D., Draguhn A., Murphy A., Blatt M., Hawes C., Thiel G., Robinson D.G., 2019. Plants neither possess nor require consciousness. *Trends in Plant Science*, 24, 8, 677-87.

- Tashiro T., Ishida A., Hori M., Igisu M., Koike M., Méjean P., Takahata N., Sano Y., Komiya T., 2017. Early trace of life from 3.95 Ga sedimentary rocks in Labrador, Canada, *Nature*, 549, 7673, 516-518.
- Terrasson F., 1991. *La peur de la Nature*, Paris, Sang de la terre.
- Toyota M., Spencer D., Sawai-Toyota S., Jiaqi W., Zhang T., Koo A.J., Howe G.A., Gilroy S., 2018. Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling. *Science*, 361, 6407, 1112-1115.
- Trewavas A., 2003. Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany*, 92, 1, 1-20.
- Trewavas A., Baluška F., 2011. The ubiquity of consciousness, cognition and intelligence in life. *EMBO Reports*, 12, 1221-25.