

LA NEUROBIOLOGIE VÉGÉTALE, VRAIMENT ?

Tout comme les animaux, les plantes traitent l'information qu'elles obtiennent d'un environnement changeant afin de se développer et se reproduire de façon optimale. Elles s'adaptent ainsi aux variations périodiques et météorologiques de lumière, de température, de disponibilité d'eau et de vent. Elles s'adaptent également aux fluctuations de la disponibilité en nutriments ou encore aux attaques d'agents pathogènes voire de prédateurs. Plus surprenant encore, les plantes ont des capacités d'apprentissage, comme ce fut démontré en 2017 par Monica Gagliano, de l'université d'Australie occidentale, grâce à des expériences d'habituation chez le mimosa pudique : en soumettant cette plante à des chocs répétés, on peut lui apprendre à ne plus se refermer lors des suivants. De tels comportements, coordonnés à l'échelle de l'organisme, nécessitent des mécanismes qui permettent une signalisation systémique intégrée. Remarquons que les anesthésiants, qui peuvent éteindre rapidement et de manière réversible la conscience chez l'homme, compromettent de façon équivalente les réponses motrices chez les animaux, les plantes... Il y a une dizaine d'années, Stefano Mancuso, de l'université de Florence, en Italie, et František Baluška,

de l'université de Bonn, en Allemagne, 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 le concept de « neurobiologie végétale ». Ils ont également développé une vision intégrée des processus de signalisation longue distance permettant aux plantes de réagir aux stimuli environnementaux. Avec un brin de provocation, ils firent remarquer que le terme « neurone » est un emprunt au grec ancien où le mot désigne une fibre végétale et par analogie tout ce qui est de nature fibreuse. Pour développer ce champ de recherche, ils ont avec quelques collègues créé la société internationale de neurobiologie végétale Plant Neurobiology et mis en place des séries de colloques portant le même nom ainsi que la revue *Plant Signalling and Behavior* (« Signalisation et comportement des plantes »). Ces initiatives ont très rapidement suscité au niveau international une réaction assez épidermique. En 2007, un article, signé par des scientifiques de pas moins de trente-trois institutions travaillant dans le domaine végétal, a clamé que la neurobiologie végétale était fondée sur des analogies superficielles et des extrapolations douteuses

n'ajoutant rien à la compréhension de la biologie végétale. La controverse engendrée par le livre *La Vie secrète des plantes* de Peter Tompkins et Christopher Bird publié en 1975 expliquant que les plantes sont en harmonie avec les états émotionnels humains (en y ajoutant de plus des revendications paranormales) a certainement conduit de nombreux biologistes végétaux à pratiquer une forme d'autocensure dans leur réflexion sur les homologues possibles entre la neurobiologie et la biologie végétale. Cependant, il est aussi notable que le titre de la réponse à l'article de 2007 par les défenseurs de la neurobiologie végétale « Plant neurobiology: no brain, no gain ? » (« La neurobiologie végétale : pas de cerveau, pas de gain ? »), renvoyait à une vision idéaliste de la classification du vivant percevant les plantes comme des organismes passifs 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. Chez ces animaux, le système nerveux est en effet décentralisé sous forme de petits ensembles de neurones connectés entre eux tout autour de leur corps. Les tenants de la neurobiologie végétale

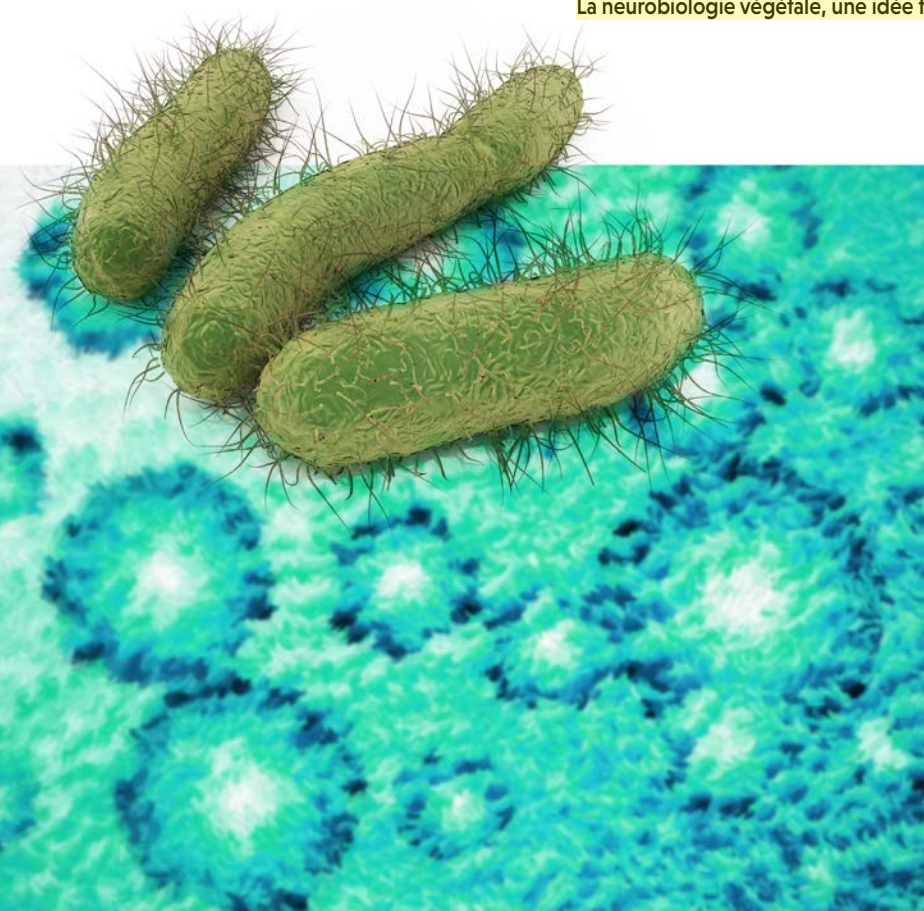
répliquèrent que nul ne défendait la présence d'un cerveau dans la racine ou de neurones myélinisés chez les plantes. Et si les termes neurobiologie végétale qu'ils proposaient étaient nouveaux, leurs idées s'appuyaient sur des travaux aussi anciens qu'éminents tels que ceux de Wilhelm Pfeffer, Charles Darwin, Jagadish Chandra Bose ou encore Julius von Sachs, tant il est vrai que le XIX^e siècle était beaucoup plus ouvert quant à la comparaison des processus biologiques animaux et végétaux. Un des objectifs de la Société de neurobiologie végétale était de changer de paradigme quant à notre vision des plantes et donc notre façon d'appréhender la recherche autour des questions liées à la capacité et aux façons qu'elles possèdent de réagir aux stimuli environnementaux. En 2009, cette société a changé son nom en Plant Signalling & Behavior Society (« Société de signalisation et comportement des plantes ») pour limiter les réactions d'ostracisme d'un certain nombre de collègues. Si ce débat semble s'apaiser, examiner les similitudes que présente la biologie des plantes avec le fonctionnement du système nerveux se heurte toujours à une vision extrêmement anthropocentrée de la neurobiologie.

➤ de canaux ioniques qui aident à lutter contre ce stress osmotique chez les mollusques, les annélides, les nématodes, les vertébrés... Et nous avons justement montré que des FLP de seiche sont capables de réguler des réponses au stress osmotique chez les plantes en agissant notamment sur des canaux ioniques. En outre, nous avons identifié les homologues végétaux de certains des gènes de ces neuropeptides.

L'existence chez les bactéries et les archées d'homologues putatifs de canaux ioniques impliqués dans la neurotransmission soulève

une hypothèse évolutive inattendue : les systèmes de neurotransmission ne dériveraient-ils pas de mécanismes moléculaires et cellulaires très anciens, réutilisés et intégrés dans des organes spécialisés chez les différentes lignées d'organismes vivants, animaux et végétaux ?

C'est probable. Après des dizaines d'années de controverse, on admet désormais que les cellules eucaryotes sont apparues sur la scène de l'évolution après plusieurs événements d'endosymbiose, quand d'autres cellules ont été intégrées. Dans ce contexte,



La bactérie *Escherichia coli* (en haut) perçoit son environnement via des dépolarisations membranaires. Dans les biofilms en croissance (ci-dessus), les bactéries communiquent par des signaux électriques. Peut-on en déduire que les bactéries ont inventé les mécanismes de communication à l'œuvre dans les neurones ?

BIBLIOGRAPHIE

G. BRUNI ET AL., Voltage-gated calcium flux mediates *Escherichia coli* mechanosensation, *PNAS*, prépublication en ligne, 2017.

J. HUMPHRIES ET AL., Species-independent attraction to biofilms through electrical signaling, *Cell*, vol. 168, pp. 200-209, 2017.

M. GAGLIANO ET AL., Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters, *Oecologia*, vol. 175, pp. 63-72, 2014.

F. BOUTEAU ET AL., Could FaRP-Like Peptides Participate in Regulation of Hyperosmotic Stress Responses in Plants?, *Front. Endocrinol.*, vol. 5, p. 132, 2014.

E. D. BRENNER ET AL., Response to Alpi et al.: plant neurobiology: the gain is more than the name, *Trends Plant Sci.*, vol. 12(7), pp. 285-286, 2007.

la sélection naturelle appliquée aux micro-organismes procaryotes (sans noyau) soumis à des environnements extérieurs changeants a pu façonner divers mécanismes leur permettant de percevoir et de répondre aux conditions locales de milieux. Récemment, Giancarlo Bruni, de l'université du Colorado, à Boulder, aux États-Unis, a montré que la bactérie *Escherichia coli* peut percevoir des changements de son environnement par des modifications de la tension membranaire induisant une dépolarisation et un influx de calcium, un phénomène ressemblant aux potentiels d'action enregistrés chez les métazoaires.

Ces données plaident pour la persistance chez un organisme procaryote actuel de modalités de signalisations impliquant des variations électriques et calciques ayant existé chez les organismes les plus anciens. Quelles pouvaient être les fonctions archaïques de ces signalisations ?

Dans la nature, les biofilms sont la forme la plus courante de croissance bactérienne : dans ces communautés, des micro-organismes (bactéries, champignons, algues ou protozoaires) restent solidaires au sein d'une matrice protectrice qui adhère à une surface. Or Jacqueline Humphries et ses collègues de l'université de Californie, à San Diego, ont

détecté des potentiels d'action pendant la phase de croissance d'un biofilm bactérien. À l'inverse, ils sont absents lorsque le biofilm se stabilise ou chez les espèces ne formant pas de biofilm. Les bactéries des biofilms semblent ainsi coordonner leur croissance grâce à une signalisation électrique ! Ce moyen de communication peut s'étendre au-delà du biofilm, entraînant des interactions interspécies à longue distance, par exemple pour attirer des bactéries éloignées.

SIGNALISATION ÉLECTRIQUE CHEZ LES BACTÉRIES

Les mécanismes de ces échanges se dévoilent peu à peu. Ainsi, des homologues putatifs de plusieurs protéines médiatrices de la neurotransmission synaptique cérébrale ont été identifiés chez des bactéries. Ces données suggèrent très fortement que la signalisation électrique longue distance, loin d'être l'apanage des neurones, serait un mécanisme de communication intercellulaire apparu très précocement au cours de l'évolution du vivant. Il aurait été recruté bien plus tardivement par les neurones des animaux, et aussi par les plantes.

L'engouement actuel autour de l'idée de neurobiologie végétale conduit à la réémergence d'une idée ancienne. Au début du ^{xx}e siècle, le physicien et botaniste indien Jagadis Chandra Bose mit en évidence l'omniprésence de la signalisation électrique entre cellules végétales pour coordonner leurs réponses à l'environnement. Il en conclut que les plantes ont un système électromécanique, un système nerveux, une forme d'intelligence et sont capables de se souvenir et d'apprendre. De telles idées n'ont pas été bien reçues en leur temps.

Un siècle plus tard, la biologie contemporaine adopte encore trop souvent un paradigme aristotélien du monde selon lequel les plantes diffèrent profondément des animaux en raison de leur caractère insensible et de leur manque d'aptitude à interagir avec leur environnement. Pourtant, le concept de neurobiologie végétale, au-delà de la discussion sur la terminologie utilisée, nous oblige à reconsidérer l'origine évolutive des neuromolécules et des neurosystèmes.

S'autoriser à envisager l'existence d'homologies profondes entre les deux règnes nous conduit à voir dans les spécialisations récentes du système nerveux animal l'avatar de processus anciens et fondamentaux de la communication et de la survie cellulaire. L'adoption d'une telle hypothèse s'apparente à une révolution copernicienne, comme lorsque l'on passa de la vision d'un monde géocentré à l'héliocentrisme... La communauté scientifique est-elle prête ? ■