

► neurobiologie des plantes n'est peut-être pas une idée aussi folle qu'on le pense.

Et cette idée n'est pas récente ! Suite aux travaux pionniers de l'Italien Luigi Galvani à la fin du XVIII^e siècle, l'explorateur Allemand Alexander von Humboldt réalisa de multiples expériences concluant à une similarité de la nature bioélectrique des animaux et des plantes. Plus encore, à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, des potentiels d'action, c'est-à-dire des messages électriques qui se transmettent (*voir l'encadré page ci-contre*), furent mis en évidence chez divers végétaux, principalement la dionée et le mimosa pudique. Ainsi, l'excitabilité de certaines cellules végétales serait un moyen de communication intercellulaire chez ces organismes.

Malgré ces démonstrations répétées, le concept de système nerveux végétal perdit de sa popularité à l'occasion de la découverte des hormones végétales. La communauté scientifique opta alors en faveur d'un mécanisme de signalisation chimique. La découverte de potentiels d'action non seulement chez quelques plantes spécialisées, mais chez toutes les autres échappa au final à la majorité des spécialistes des plantes.

COMMUNICATION LONGUE DISTANCE

Pourtant, preuve avait été faite que la signalisation électrique sur de longues distances constitue un moyen efficace de communiquer de cellule à cellule chez l'ensemble des eucaryotes. Chez les plantes, des signaux électriques à propagation rapide sont produits en réponse à de nombreux stimuli : des pluies acides, une irradiation, un choc froid, un stress osmotique (quand les concentrations en composés divers varient notablement d'un côté à l'autre d'une membrane biologique) ou une attaque d'agents pathogènes.

Ces signaux résultent de flux d'ions à travers la membrane cellulaire conduisant à une dépolarisation transitoire locale du potentiel électrique de la membrane, cette variation dépendant du type de stimulus et des ions circulant. Chez les plantes, au moins trois types de signaux électriques se propageant à longue distance ont été identifiés : deux sont typiques des végétaux (les ondes de dépolarisation lente et les hyperpolarisations transitoires), et nous n'en parlerons pas ici, alors que ceux de la troisième catégorie, les potentiels d'action, ont les mêmes caractéristiques (*voir la figure ci-contre*) que leurs homologues du monde animal : ils obéissent à la loi du « tout ou rien », se déplacent à vitesse et

amplitude constantes et sont suivis d'une période réfractaire.

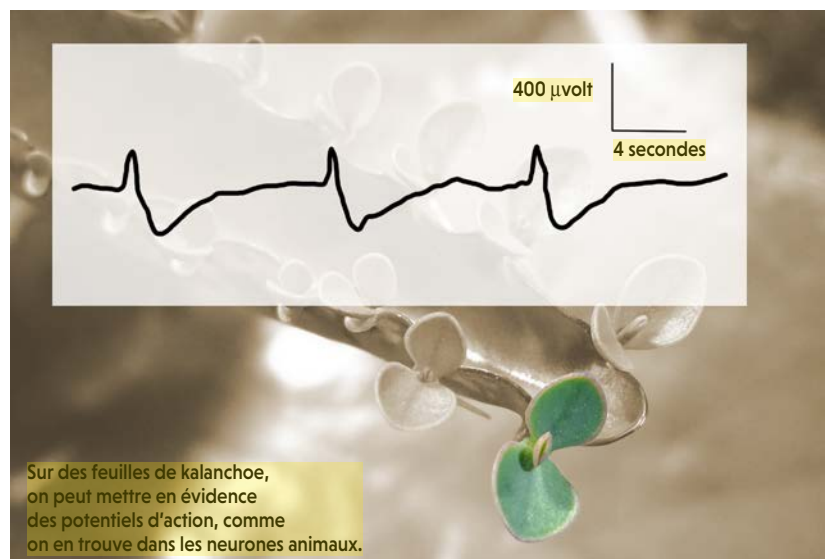
Chez les plantes, les potentiels d'action se propagent sur de longues distances principalement *via* les tubes criblés du phloème dédiés par ailleurs à la sève dite élaborée (*voir les*

Repères, page 6), c'est-à-dire transportant les sucres. Ces canaux tissent un réseau de câbles au travers de tout l'organisme. Ces potentiels d'action sont caractérisés, comme dans les cellules animales, par une phase de dépolarisation rapide du potentiel membranaire suivi d'une phase de repolarisation tout aussi rapide.

Toutefois, les ions impliqués diffèrent. En effet, chez les plantes, la phase de dépolarisation des potentiels d'action ne résulte pas d'un mouvement d'ions sodium (Na^+), ceux-ci étant toxiques pour la plupart des cellules végétales, mais d'ions calcium (Ca^{2+}). Lors de l'initiation de la dépolarisation, des canaux favorisent l'augmentation de la concentration en Ca^{2+} dans le cytoplasme induisant l'ouverture d'autres canaux qui laissent passer des ions chlorures (Cl^-) responsables de la phase de dépolarisation proprement dite. Enfin, un troisième type de canaux s'ouvre aux ions potassium (K^+) et déclenche la phase de repolarisation.

Dès que le stimulus atteint une intensité critique, un seuil (c'est la règle du « tout ou rien »), le potentiel d'action s'autoperpétue et se déplace le long des tubes criblés du phloème : le signal est envoyé. Il peut également être transmis sur de plus courtes distances au travers des pores (des plasmodesmes) entre cellules adjacentes, de façon similaire à la transmission par des synapses électriques.

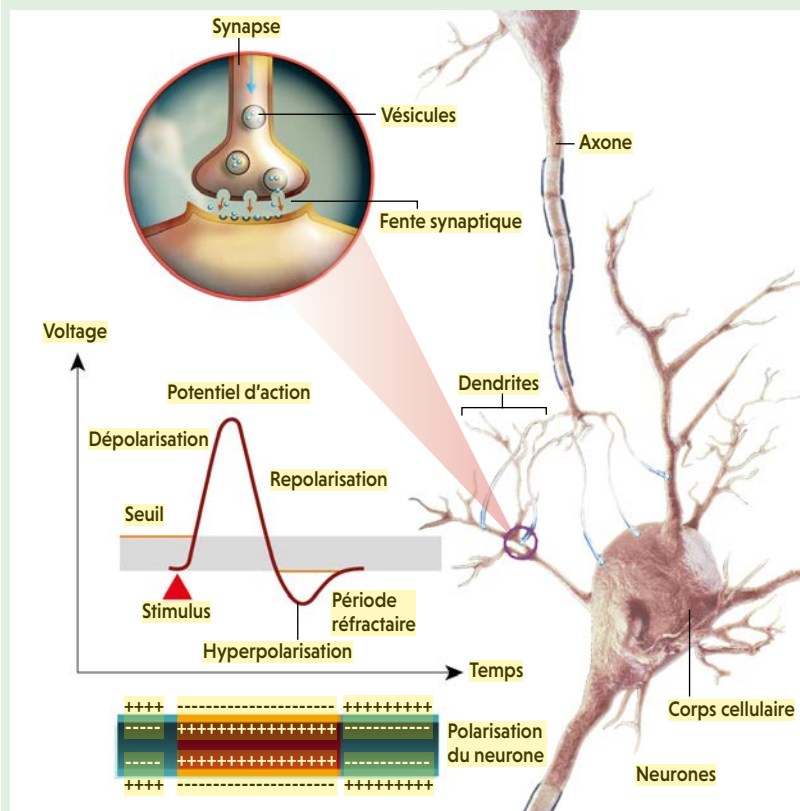
CHEZ LES PLANTES, AU MOINS TROIS TYPES DE SIGNAUX ÉLECTRIQUES SE PROPAGEANT À LONGUE DISTANCE ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS



AU CŒUR DES NEURONES

La neurobiologie ou neuroscience désigne une branche de la biologie qui étudie la structure et le fonctionnement du système nerveux. Elle est le plus souvent focalisée sur l'étude du fonctionnement du cerveau des animaux et en particulier de celui de l'espèce humaine. Une des fonctions du système nerveux est la réception d'une information *via* des organes sensoriels reliés à des nerfs qui conduisent l'information vers les centres nerveux. Ces derniers traiteront l'information et, en retour, enverront *via* les nerfs moteurs des instructions vers des muscles, des organes ou des glandes pour déclencher une réponse appropriée. Les fonctions cellulaires du système nerveux sont assurées par les neurones, des cellules excitables spécialisées dans la conduction de l'information nerveuse. Un neurone peut contenir des milliers de synapses par lesquelles il se connecte à d'autres neurones formant ainsi un réseau très complexe. Le message nerveux, ou potentiel d'action, est un message électrique qui se transmet le long des dendrites, du corps cellulaire et de l'axone à une vitesse de 1 à 10 mètres par seconde.

Ces potentiels d'action suivent une loi du « tout ou rien », se propagent avec une vitesse et une amplitude constantes et sont suivis d'une période réfractaire (voir la figure) pendant laquelle aucun potentiel d'action ne peut être créé. Ils sont dus à l'ouverture de canaux à ions sodium Na^+ induisant une dépolarisation de la membrane (une inversion locale de la répartition des charges électriques) des axones qui provoque l'ouverture de canaux à potassium K^+ permettant une repolarisation puis une hyperpolarisation de la membrane. La transmission d'une information d'un neurone à un autre se fait au niveau des synapses. À l'arrivée du potentiel d'action, l'information électrique est soit transmise directement (par des synapses électriques, essentiellement chez les métazoaires non vertébrés), soit transformée en information chimique (dans les synapses chimiques des vertébrés). Dans ce dernier cas, les neurotransmetteurs contenus dans des vésicules sont libérés par exocytose au-dehors du neurone, traversent l'espace intersynaptique, puis se fixent sur des récepteurs spécifiques et induisent un nouveau potentiel d'action dans le neurone suivant.



Les potentiels d'action végétaux sont plus lents que ceux des animaux, leur vitesse moyenne de propagation étant de 1 à 2 centimètres par seconde, même s'ils sont parfois plus rapides chez certaines plantes.

Les ressemblances entre végétaux et animaux vont plus loin. En effet, des études ont montré que les gènes de la majorité des familles de canaux ioniques végétaux ont des homologues animaux. Le développement de l'électrophysiologie a révélé l'activité de la plupart de ces canaux constituant ainsi une solide base de compréhension du fonctionnement électrique des végétaux au niveau cellulaire. Certains canaux ioniques sont des canaux archétypes retrouvés aussi bien chez les animaux que chez les plantes, les bactéries ou les archées.

De même, il est notable que toutes les molécules servant de neurotransmetteurs chez les animaux, telles que l'acétylcholine, la dopamine, la noradrénaline, l'adrénaline, la sérotonine, l'histamine ou encore la mélatonine aient des homologues chez les plantes. Précisons néanmoins qu'ils n'ont pas nécessairement les mêmes rôles ; de plus, tous leurs rôles chez les plantes n'ont pas encore été élucidés.

Quelques exemples de points communs entre animaux et végétaux. L'équipe de František Baluška, de l'université de Bonn, en Allemagne, a montré qu'à l'extrémité de la racine, le transport de l'auxine, une hormone végétale dérivée du tryptophane (un acide aminé) à l'instar de la sérotonine, est accompli par exocytose et par recyclage actif de vésicules, comme dans les synapses chimiques animales. De plus, ces cellules racinaires partagent avec les neurones la capacité de générer spontanément des potentiels d'action.

Ces chercheurs ont également montré que le L-glutamate, un neurotransmetteur animal, lié à des homologues végétaux de récepteurs animaux, contrôle le flux de vésicules endocytosiques dans ces cellules de l'extrémité racinaire ainsi que les variations transitoires d'ions calcium pendant l'induction des potentiels d'action. À ces fortes similitudes fonctionnelles avec les synapses, s'ajoutent de nombreuses homologues moléculaires telles que la présence de clathrine sur les vésicules ou de synaptotagmines.

LUTTER CONTRE LE STRESS... OSMOTIQUE

Ces observations nous ont conduits, avec l'équipe de Laure Bonnaud, du Muséum national d'histoire naturelle, à tester l'hypothèse d'une conservation chez les animaux pluricellulaires des processus de réaction au stress osmotique, stress auquel la plupart des organismes vivants doivent faire face. Nous l'avons vérifiée !

Certains petits neuropeptides de la famille des FLP participent à la régulation de l'activité ➤