

DES ANIMAUX COMME LES AUTRES ?

Des plantes aux animaux, et vice versa



La distinction entre un animal et un végétal n'est pas aussi nette qu'on le croit. Sur beaucoup d'aspects, ils sont les extrêmes d'une continuité que révèlent l'évolution et... le microscope.

L

ors de son voyage sur le *Beagle* entre 1861 et 1836, Charles Darwin observa les récifs coralliens. Il y constatait un paradoxe qui porte son nom: les ressources manquent dans les eaux très claires où vivent les coraux, et pourtant, ils forment profusion de biomasse et sont parfois aussi productifs qu'une forêt tropicale! Comment les coraux prospèrent-ils là? En se comportant presque comme des végétaux! Ils posent ainsi la grande question de la limite entre végétaux et animaux.

Existe-t-il une frontière entre ces deux règnes que l'on oppose si souvent? Non, ou alors elle est floue. De fait, l'étude de ce qui les distingue et de leur apparition dans l'évolution révèle qu'animaux et végétaux ne sont que... les extrêmes d'un continuum! Mais avant de le montrer, commençons par résoudre le paradoxe de Darwin.

Les coraux, comme les anémones de mer, sont des cnidaires: ils forment par bourgeonnements successifs de grosses colonies associant des petits modules dotés d'une bouche et d'une couronne de tentacules. La colonie s'entoure d'une gaine calcaire protectrice qui forme les récifs coralliens. Leur corps est fait de deux couches de cellules dont la plus interne, qui borde la cavité digestive, est piquetée de myriades de petits points dorés. Ce sont des algues!

Ces algues photosynthétiques unicellulaires, du groupe des Dinophytes, représentent environ un tiers de la masse vivante des coraux. Du reste, nul besoin d'aller dans les eaux limpides des tropiques pour les observer: beaucoup d'anémones de nos côtes, proches parentes des coraux, telle

Le corail, animal ou végétal?
Les deux en même temps?

© Loïc Mangin

L'ESSENTIEL

- On oppose facilement animal et végétal: les uns étant hétérotrophes et mobiles, les autres autotrophes et immobiles.
- Il y a certes des différences, et l'anatomie d'une cellule végétale le prouve: sa paroi et l'apparition évolutive à répétition des plastes sont caractéristiques.

- Pourtant, nombre d'organismes ont des statuts intermédiaires: le corail vit comme un végétal, des orchidées mangent des champignons, des algues se déplacent, etc.
- Animal et végétal sont en fait les deux extrémités d'un continuum. Cette frontière floue oblige à aller au cœur du végétal pour en apprécier la nature.

L'AUTEUR



MARC-ANDRÉ SELOSSE est professeur au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et à l'université de Gdansk, en Pologne.

➤ *Anemonia viridis*, contiennent aussi des algues. Cette présence est la clé du paradoxe de Darwin.

En effet, nichées au fond des cellules, ces algues prodiguent un complément alimentaire au corail grâce à la photosynthèse. Le corail s'en nourrit entre deux proies... c'est-à-dire, le plus souvent, puisqu'il n'y a guère à manger alentour. Les rares proies capturées apportent les protéines et les composés phosphatés nécessaires à l'animal... mais aussi aux algues. Les déchets azotés et phosphatés du métabolisme des cellules de corail ne sont pas rejetés sous forme d'urine, mais transmis aux algues pour qui ils constituent un engrais. Elles produisent en retour des molécules azotées et phosphatées pour le corail, notamment des acides aminés. Cette association à bénéfice réciproque, une symbiose, permet un recyclage efficace, adapté à la survie en milieu pauvre.

VÉGÉTAL, AS-TU UNE ÂME ?

D'une certaine façon photosynthétiques, les coraux ont des formes semblables aux plantes, car ils sont aussi adaptés à capter la lumière. Animaux par origine, mais végétaux par fonctionnement, ils ont donné du fil à retordre à nos anciens. Au XVII^e siècle, le botaniste Gaspard Bauhin parle de « Zoophytes » qui « sont des êtres qui ne possèdent ni la nature des animaux, ni celle des plantes, mais une troisième composée de chacune des deux ». En 1824, Jean-Baptiste Boris de Saint-Vincent crée pour eux et les éponges le groupe les Psychodiales, étymologiquement, « organismes à deux âmes », animale et végétale. Mais au fait, en quoi animaux et végétaux diffèrent-ils exactement ? Et en quoi les coraux sont-ils intermédiaires ?

Regarder une plante suffit à en saisir les particularités: immobile, au port dressé, verte et donc photosynthétique. Elle fabrique elle-même sa matière organique (elle est autotrophe). En cela, elle s'oppose à l'animal, mobile, au corps plus mou et hétérotrophe (il dépend de matière organique qu'il trouve dans son milieu). Il existe des végétaux qui ne sont pas des plantes (on désigne souvent ainsi les végétaux pourvus de

racines), comme les algues vertes, brunes ou rouges fixées aux rochers marins. Bien que les pigments qui leur servent à capter l'énergie lumineuse diffèrent, tous ces végétaux ont en commun d'effectuer la photosynthèse.

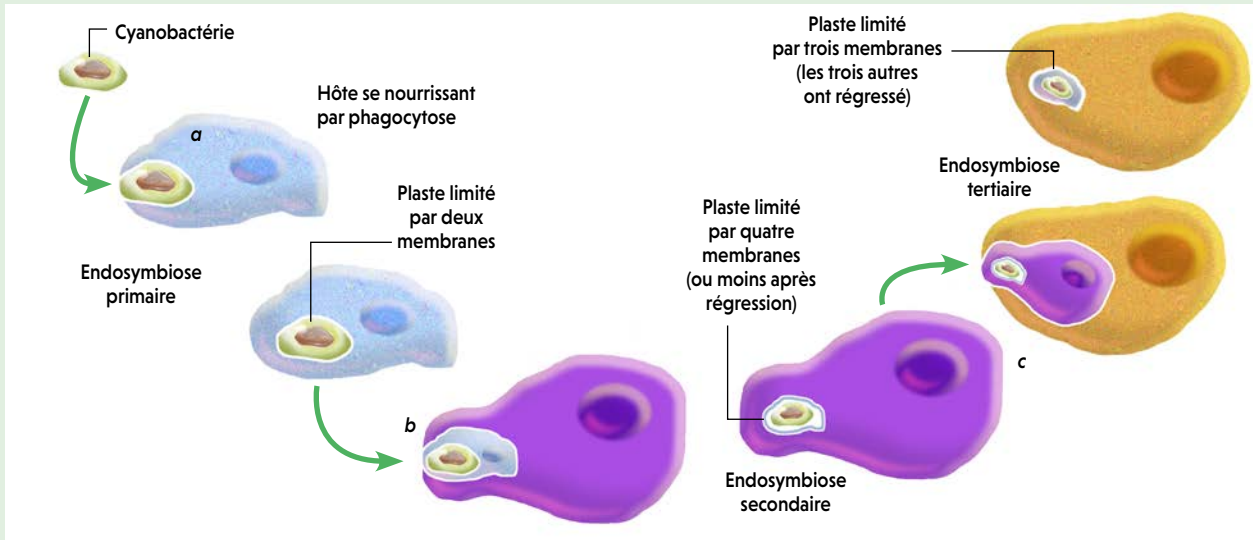
Plus exactement, les cellules végétales ont toutes un ou plusieurs plastes, cette portion de la cellule, isolée par deux membranes ou plus, où se trouvent les différents pigments capturant la lumière. Ceux-ci contiennent plus ou moins de chlorophylle: quand cette molécule domine, comme chez les plantes, l'organisme est vert et on parle de chloroplaste. Mais d'où vient ce plaste, entouré de multiples membranes, qui permet l'autotrophie des végétaux ?

Trente ans de recherche ont confirmé une histoire étonnante: le plaste est... un autre organisme, emprisonné, comme une algue dans une cellule de corail ! Les algues rouges et vertes, ainsi que les plantes, qui sont toutes évolutivement proches, ont un plaste entouré de deux membranes dérivant d'une cyanobactérie (voir les Repères, page 6), une bactérie photosynthétique. L'ancêtre de ces algues et des plantes était probablement un prédateur avalant des unicellulaires par phagocytose, c'est-à-dire par une invagination de sa membrane cellulaire qui emballait la proie. Enfermée dans la cellule au sein d'une vésicule, la bactérie est normalement... digérée. Mais ici, les proies ont persisté dans la cellule et s'y sont même multipliées: les partenaires sont devenus dépendants de cette symbiose où, comme dans les coraux, ils se nourrissent réciproquement ! Les deux membranes du plaste sont les vestiges de la membrane de la cyanobactérie et de la membrane de phagocytose (voir la figure page ci-contre).

QUAND L'ÉVOLUTION BÉGAIE

L'évolution a ensuite bégayé: d'autres organismes ont aussi, à partir d'ancêtres prédateurs d'unicellulaires, acquis un plaste en phagocytant des algues unicellulaires. Cela a engendré divers groupes d'algues: chez les algues brunes, le plaste est une ancienne algue rouge; c'est aussi le cas des algues Dinophytes, qui ont ensuite, à leur

LES POUPÉES RUSSES DE L'ENDOSYMBIOSE



L'endosymbiose est le processus par lequel une cellule photosynthétique est incorporée à l'intérieur d'une autre et devient un plaste, c'est-à-dire un organe de celle-ci. Ce phénomène s'est produit à diverses reprises chez les eucaryotes, notamment par l'internalisation de cyanobactéries (a, en rouge son génome): c'est l'endosymbiose primaire, à l'origine de la lignée verte,

dont les végétaux terrestres. Cependant, d'autres ont pu phagocyter des cellules eucaryotes déjà pourvues d'un plaste (b, on parle d'endosymbiose secondaire): c'est le cas des algues brunes et des Dinophytes. Enfin, pour une endosymbiose tertiaire (c), un des eucaryotes précédents est internalisé à son tour pour devenir le plaste d'une autre cellule: les coraux en sont un exemple.

tour, été adoptées par les coraux; chez les Euglènes, le plaste est une ancienne algue verte... Le nombre de membranes augmente alors, car à la membrane de phagocytose s'ajoutent la membrane de l'algue internalisée et celles du premier plaste. Les coraux sont un exemple de ces bégaiements évolutifs: ils acquièrent souvent leur algue par phagocytose à la naissance, mais certaines espèces, par exemple *Anemonia sulcata*, transmettent les algues à l'embryon par la mère, dont les ovules sont colonisés. Cette hérédité ressemble à celle des plastides et rend ces coraux encore plus proches... des végétaux.

La ressemblance entre les différents groupes végétaux ne s'arrête pas au plaste: elle comprend aussi la paroi et la vacuole. Algues et plantes ont en effet leurs cellules emballées dans une paroi (essentiellement de cellulose) qui confère rigidité et résistance de l'ensemble, car les parois des cellules voisines sont soudées entre elles.

Les ancêtres végétaux étaient dépourvus de paroi, car la phagocytose serait alors difficile. Dès que le plaste est établi et que la nourriture vient de l'intérieur de la cellule, une paroi protectrice est sélectionnée au cours de l'évolution. Cependant, la paroi impose aussi une contrainte: la cellule végétale ne peut plus rejeter à l'extérieur ses déchets, comme des morceaux de

cellules usagées. L'existence d'une paroi est donc indissociable d'un stockage ultime des déchets à l'intérieur même de la cellule. La «décharge» prend la forme d'un grand compartiment limité par une simple membrane, une vacuole. Elle occupe jusqu'à 90% du volume de la cellule.

Ainsi l'acquisition du plaste a-t-elle à plusieurs reprises entraîné en cascade plusieurs ressemblances entre différents groupes d'algues et les plantes. Nul étonnement, donc, devant de premières classifications réunissant tous les végétaux, compte tenu de ces similarités intimes et multiples. Mais aujourd'hui, où les classifications sont fondées sur l'origine évolutive, on place les végétaux dans différents groupes indépendants. Ils sont apparus par une évolution répétée, convergente. C'est une différence avec les animaux (les Métazoaires) qui, eux, sont apparus une seule fois, à partir d'un unique ancêtre (voir les Repères, page 6).

L'IMPOSSIBILITÉ D'UNE ÎLE

Le plaste et les autres attributs de l'autotrophie construisent une compartimentation typique du végétal, entre espace intercellulaire, espace cellulaire et, au-dedans, vacuoles. Cela diffère beaucoup des animaux, dont les cellules n'ont ni vacuole, ni paroi: elles peuvent être >

➤ accolées, comme dans la peau, ou englobées dans un gel commun, par exemple, de collagène dans le tissu conjonctif, voire libres comme nos globules blancs et rouges. L'autotrophie engendre de plus l'immobilité de l'organisme, car la photosynthèse ne produit pas assez d'énergie pour déplacer la masse d'une plante. Michel Houellebecq, dans *La Possibilité d'une île*, décrit des humains devenus photosynthétiques, mais la surface de notre corps n'intercepterait pas assez de lumière pour nous déplacer, ni même nous nourrir... L'immobilité a d'ailleurs gagné les coraux dans leur imitation du modèle végétal !

Une stratégie de défense des végétaux utilise la compartimentation de leurs cellules : ils contiennent souvent des toxines contre leurs prédateurs. Ils se protègent en effet eux-mêmes de ces toxines en les stockant dans leur vacuole ! Tannins, alcaloïdes, composés générant du cyanure, composés bromés indigestes... toutes ces toxines végétales sont vacuolaires. Une agression microbienne ou la dent du bétail qui détruit la fine compartimentation libère les toxines. Ainsi, la famille de la moutarde (les Brassicacées) contient des composés soufrés irritants, les glucosinolates. Si nous en utilisons certains à faible dose en condiment, comme ceux du wasabi, d'autres sont toxiques pour le foie et cancérogènes (c'est le cas des choux sauvages). On ne les sent que lorsque les tissus sont rompus : un précurseur stocké dans la vacuole rencontre alors les enzymes, cantonnées dans le cytoplasme cellulaire, et libère les composés irritants.

Alors que les plantes pratiquent toutes ce stockage vacuolaire, les animaux n'accumulent guère les toxines dans leur organisme, à de rares exceptions près. D'ailleurs, ces exceptions accumulent dans leur sang des toxines souvent issues des plantes qu'elles consomment : les chenilles d'*Heliconius* stockent par exemple les alcaloïdes des passiflores qu'elles parasitent.

On pourrait croire que, séparées par d'épaisses parois, les cellules végétales communiquent moins entre elles que leurs homologues animales. Ces dernières peuvent pourtant s'accoler par leur membrane et communiquer par de fins canaux protéiques. En fait, les cellules de plantes sont encore plus communicantes ! Chez quelques algues vertes ou brunes et chez les plantes, les cellules voisines sont reliées par des canaux, les plasmodesmes (voir les Repères, page 6). Bordés de la même membrane que les cellules voisines, les plasmodesmes mettent en continuité les cellules voisines et leurs membranes !

Les cellules de la plante forment ainsi un grand réseau continu, partageant une membrane commune... Certains virus végétaux utilisent les plasmodesmes pour se propager en les agrandissant, un scénario inexistant chez les animaux. Mais les plasmodesmes

LES PLANTES POUR ELLES-MÊMES

Aujourd'hui, une certaine vulgarisation fait renaître l'intérêt pour la plante en lui attribuant des capacités dans des registres animaux, comme l'intelligence, l'entraide ou la vie sociale... Son succès certain, construit sur notre fascination pour des traits animaux, cache un zoocentrisme, sinon même une fascination pour des traits humains. Les caractères qui accompagnent l'autotrophie, radicalement opposés à l'animalité, méritent plus d'attention pour eux-mêmes. Approcher la plante par l'animalité encourt le risque de méprises, d'incompréhensions, voire d'omettre l'essentiel de la végétalité. Inversement d'ailleurs, qui achèterait un livre sur « la photosynthèse des hommes » ? Même si de nombreuses formes intermédiaires existent avec l'animal, il nous faut aujourd'hui aller au cœur du végétal. Cela exige de se préparer à la différence, comme dans la démarche scientifique dont Bachelard disait que « c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé », un passé animal pour nous.

présentent des avantages : par exemple, aucune cellule ne peut garder pour elle des ressources puisqu'elle « est » aussi toutes les autres ! Cela explique sans doute qu'il n'y ait pas de cancer chez les plantes, sauf lorsque certains parasites les provoquent : la coordination entre cellules voisines est totale ! Bien plus, les neurones deviennent inutiles : vus comme des succès de l'évolution, ils sont en fait imposés par la séparation des cellules animales qui ne peuvent s'échanger une excitation électrique.

À l'inverse, chez la plante, le signal électrique d'une cellule passe à l'autre sans encombre (voir *La neurobiologie végétale, une idée folle ?* par F. Bouteau, page 36). Quand un insecte effleure les poils d'un piège de dionée, une plante carnivore qui referme ses feuilles sur des proies, un signal électrique est vite transmis de cellule en cellule par les plasmodesmes vers la charnière du piège, qui se clôt brusquement.



Les végétaux sont immobiles ? Non, l'Euglène (à droite) et le Chlamydomonas (à gauche) se déplacent grâce à des flagelles.



L'orchidée *Epipactis helleborine* est mixotrophe : elle se nourrit par photosynthèse (à gauche) et en mangeant ses champignons mycorhiziens. Cela autorise la survie de mutants sans chlorophylle (à droite).

BIBLIOGRAPHIE

M.-A. SELOSSE, *Jamais seul : ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*, Actes Sud, 2017.

M.-A. SELOSSE ET AL., *Mixotrophy everywhere on land and in water: the grand écart hypothesis*, *Ecology Letters*, vol. 20, pp. 246-263, 2017.

J. ARCHIBALD, *One Plus One Equals One: Symbiosis and the evolution of complex life*, Oxford University Press, 2016.

M.-A. SELOSSE ET M. ROY, *Les plantes qui mangent des champignons...*, Dossier *Pour la Science* « Les végétaux insolites », n° 77, pp. 102-107, 2012.

F. HALLÉ, *Éloge de la plante. Pour une nouvelle biologie*, Seuil, 2004.

Ces dernières décennies, une découverte majeure sur le plancton, où s'est particulièrement illustrée la Station biologique de Roscoff, en Bretagne, est que... beaucoup d'algues unicellulaires ne sont pas totalement autotrophes. Certaines sont capables, comme des petites algues vertes ou des Euglènes, de pomper des molécules organiques dans l'eau, qui couvrent jusqu'à 50% de leurs besoins! D'autres se comportent comme des plantes carnivores, attrapant parfois une autre cellule qu'elles capturent par phagocytose et digèrent pour en collecter l'azote, le phosphate et des sucres.

Ce mélange d'hétérotrophie et d'autotrophie est la mixotrophie (voir *Le règne des plantes-garous*, par A. Mitra, page 78). Il est plus rare dans le monde visible, mais mon équipe, au Muséum, a découvert une mixotrophie chez des plantes de nos forêts, dont certaines orchidées. Privées d'une lumière suffisante par les arbres, elles complètent leurs besoins en exploitant des champignons qui colonisent leurs racines! En effet, la plupart des plantes vivent associées à des champignons du sol, en une symbiose nommée mycorhize. Habituellement, la plante cède du sucre au champignon, en échange d'eau, d'azote et de phosphate que celui-ci collecte dans le sol. Le fonctionnement est modifié par les plantes mixotrophes, qui reçoivent aussi de la matière organique des champignons: elles ne sont donc plus totalement autotrophes.

L'ORCHIDÉE ÉTAIT EN BLANC

Ainsi existe-t-il des mixotrophies « primitives », par conservation de la phagocytose chez des algues. Mais d'autres mixotrophies, secondaires dans l'évolution, nous racontent un retour évolutif à l'hétérotrophie partielle. Et parfois même, totale: certaines des orchidées forestières, nourries de leurs champignons, ont perdu la chlorophylle et la photosynthèse, comme la néottie nid-d'oiseau ou l'épipactis (voir figure ci-contre). Un basculement similaire vers l'hétérotrophie existe aussi chez les plantes parasites qui, à partir d'ancêtres mixotrophes, comme le gui, ont parfois perdu la photosynthèse, comme les Orobanches ou le *Rafflesia*, qui parasitent les racines voisines.

Une trop stricte opposition entre animal et végétal est donc un piège macroscopique: le monde microbien, qui abrite l'essentiel de la biodiversité, révèle des stratégies intermédiaires. Elles sont moins fréquentes dans le monde visible, mais pas absentes: pensons... aux symbioses coralliennes qui sont mixotrophes, après tout! Ces divers intermédiaires révèlent des passerelles évolutives, parcourues en tous sens, entre l'autotrophie et l'hétérotrophie pures. Il n'en reste pas moins que l'autotrophie construit, de façon répétée dans l'évolution, une organisation cellulaire originale et très différente de celle des animaux. ■

L'opposition entre végétal, autotrophe immobile, et animal, hétérotrophe mobile, est observable quotidiennement, mais sous le microscope la chose se complique... De nombreuses algues unicellulaires du plancton sont mobiles. Elles se déplacent grâce aux mouvements d'expansions cellulaires filiformes, les flagelles. L'Euglène a un flagelle qui remorque sa cellule; les Chlamydomonas en ont deux qui s'agitent comme vos bras quand vous nagez la brasse; Bolidomonas a deux flagelles, un qui remorque et l'autre qui sert de gouvernail. Cette cellule de 1,5 micromètre porte bien son nom, elle qui franchit 1000 fois sa taille par seconde!

Si la photosynthèse ne produit pas assez d'énergie pour qu'une pâquerette bouge, une cellule unique capte assez de lumière pour se mouvoir, car sa surface est grande comparée à son poids. Les végétaux microscopiques ne sont donc pas tous immobiles; ils se déplacent pour se rapprocher de la lumière ou fuir des prédateurs. Étonnamment, les Chlamydomonas ont, dans la membrane de la cellule, des protéines sensibles à la lumière de la même famille que les opsines, les protéines qui, dans les yeux des animaux, perçoivent la lumière!



De majestueux baobabs,
à Madagascar.