Un livre de Marc-André Selosse : « La symbiose (2) »

Partage international n° 429 – Mai 2024

par Dominique Abdelnour

Marc-André Selosse est microbiologiste, écologiste et enseignant. Professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris et aux universités de Gdansk, en Pologne, et de Kunming, en Chine, ses recherches portent sur l'écologie et l'évolution des relations mutuellement bénéfiques (symbioses).

La première partie, *L'origine du monde : une histoire naturelle du sol pour ceux qui le piétinent (Partage international,* avril 2024), examinait la composition du sol de notre planète et la vie foisonnante qui l'habite. Ce deuxième article s'appuie sur les livres de M-A Selosse *L'origine du monde* et *La symbiose*, dans lesquels il montre comment la coopération est un processus fondamental de la vie sur terre. Un troisième article traitera de l'impact de l'homme sur le sol et de l'impact du sol sur le changement climatique.

« Aucun organisme ne peut vivre seul, chacun a un entourage symbiotique sans lequel on ne peut comprendre ni sa physiologie ni son succès écologique. »

Symbioses et coopération dans le sol

Dans la nature, il existe de nombreux types de relations entre les plantes, les microbes et les insectes. Nous connaissons des relations temporaires avec des bénéfices réciproques, comme entre les insectes pollinisateurs et les plantes à fleurs ; ces interactions peuvent durer un certain temps. Dans son livre *La symbiose*, M-A Selosse s'intéresse à la symbiose en tant qu'association persistante entre deux ou plusieurs individus d'au moins deux espèces différentes – des partenaires choisis sur plusieurs générations et dans des lieux différents. Souvent, l'un ne peut vivre sans l'autre. La loi de la jungle est souvent citée comme une loi fondamentale de la nature, mais l'auteur montre que dans le sol, dans la vie, les lois fondamentales sont le partenariat et la symbiose. Le parasitisme reste l'exception et attire l'attention parce qu'il conduit à un dysfonctionnement : la plante hôte finit par succomber. La vie pratique la symbiose à grande échelle, on la retrouve chez les microbes, les plantes, les animaux et les humains.

M-A Selosse décrit de nombreux cas et techniques de symbiose, en examinant plus de 500 espèces et groupes. Voici quelques cas illustrant les techniques et l'ampleur du phénomène.

Deux grands sauts évolutifs

Il y a deux milliards d'années, les ancêtres des microbes (procaryotes[1]) ont intégré les ancêtres des cellules complexes (eucaryotes[2]) dans une symbiose étroite qui associait les capacités enzymatiques des uns à la capacité de former des organismes pluricellulaires des autres. Les mitochondries[3] en sont le résultat. Elles permettent aux cellules de respirer de l'oxygène.

L'autre symbiose à l'impact majeur, qui aurait débuté il y a un milliard d'années, est l'inclusion de cyanobactéries dans les ancêtres des algues actuelles rendant ainsi possible la photosynthèse.

Ces deux développements symbiotiques ont joué un rôle majeur dans la construction des organismes vivants actuels, dans un saut évolutif spectaculaire qui a formé le règne végétal et a conduit à la variété de formes d'organismes multicellulaires que nous connaissons aujourd'hui (plantes, animaux).

La symbiose joue également un rôle majeur dans la colonisation de nouveaux espaces arides en y ajoutant des fonctions ou en en créant de nouvelles (lichens[4], coraux). On pense qu'il y a 400 millions d'années, les champignons[5] ont aidé les premières plantes à sortir des océans et à coloniser la terre ferme.

Le sol regorge d'exemples variés de symbioses entre bactéries, champignons, plantes, insectes et mammifères, dont certaines assurent une protection physique ou chimique contre les prédateurs ; elles fournissent la nourriture (sucres), la concentration de minéraux (sels et azote), la production de vitamines et d'acides aminés, etc. Une autre activité

essentielle de la symbiose est la digestion et le stockage dans le sol de la matière végétale morte en vue d'une utilisation ultérieure.

La symbiose peut consister en un contact physique, une intégration des cellules entre les cellules de la plante hôte, ou une interpénétration des cellules de l'hôte.

Chez l'homme

L'homme vit en symbiose avec un grand nombre de bactéries qui lui sont indispensables ; nous avons 10^{13} cellules (10 000 milliards), autant de bactéries à la surface de notre peau, et dix fois plus de bactéries dans nos intestins. Ces dernières synthétisent les vitamines B et K, recyclent les acides biliaires dans notre organisme et nous protègent des pathogènes ; on estime aussi que nous avons 10^{17} mitochondries (soit 10 000 fois plus que de cellules), résultat d'une symbiose ancestrale.

Nous avons focalisé notre attention sur les microbes qui, en période de déséquilibre, nous rendent malades. Cependant, nous ne pouvons pas éradiquer les bactéries de notre corps, mais seulement préserver un équilibre pour faciliter les bactéries qui nous aident. Il serait impossible de vivre sans elles.

Pour saisir l'influence de ce microbiote sur notre vie humaine, on peut citer des expériences montrant que des souris dont le microbiote a été stérilisé font preuve de timidité et d'un manque d'agressivité.

Les fourmis

L'exemple des fourmis a été étudié en détail, révélant la sophistication des relations. Certaines plantes offrent aux fourmis du nectar et un hébergement dans des cavités refuges (domaties) ; les plantes recyclent ensuite leurs déchets (excréments et CO2) et s'en nourrissent.

Certaines fourmis cultivent des champignons dont elles se nourrissent. Cet exemple illustre la complexité des processus en jeu et mérite d'être détaillé ici. Les fourmis apportent des feuilles au champignon. Les branchies du champignon (le basidiomycète lamellaire) transforment les cellules végétales en cellules fongiques que les fourmis peuvent digérer. Les fourmis ouvrières taillent le mycélium, provoquant des excroissances dont elles se nourrissent.

Les fourmis protègent leurs champignons : par exemple, si on leur fournit des feuilles traitées avec des fongicides, elles apprennent à les éviter. Elles empêchent le développement de champignons concurrents en produisant des antibiotiques sécrétés par des bactéries *(Streptomyces)* vivant en symbiose sur la carapace ou la peau des fourmis, aussi appelée cuticule. Un bel exemple de symbiose multipartite ! Lorsqu'elle part fonder une nouvelle colonie, la jeune reine emporte avec elle une boule de mycélium.

Dans d'autres cas de symbiose, les fourmis protègent les acacias des insectes, notamment les boutons floraux, les fleurs fécondées et les fruits, et s'éloignent lors de la floraison (repoussées par les produits volatils émis par la plante), permettant ainsi l'arrivée des insectes pollinisateurs. On a également observé que les termites cultivent des champignons.

Symbioses dans le sol : plantes et champignons

Les champignons jouent un rôle fondamental dans le règne végétal : 85 % des plantes ont besoin de champignons pour vivre. Nous ne connaissons des champignons que leur organe reproducteur – l'organe qui produit les spores, la partie que nous voyons à la surface du sol et que nous mangeons si elle est comestible. Les champignons sont en fait constitués de longs filaments (également appelés hyphes) dont le diamètre est très fin, de l'ordre du centième de millimètre.

Dans une prairie, pour chaque mètre de racines, il y a un kilomètre de filaments de champignons. Dans chaque mètre cube de sol, il y a entre 0,1 et 10 kilomètres d'hyphes, ce qui permet une multiplicité de contacts possibles entre le champignon (et donc la plante) et le sol, dans lequel les minéraux utiles peuvent être rares. Le champignon pénètre dans les racines soit entre les cellules, soit en entrant directement dans les cellules des racines. La mycorhize est le nom donné à l'association entre le mycélium souterrain du champignon et la racine d'une plante.

La plante fournit au champignon le sucre issu de la photosynthèse. Le champignon explore le sol et apporte des sels minéraux, décompose les matériaux durs du bois comme la lignine, prédigère les tanins du feuillage, récupérant ainsi l'azote et le phosphore de la matière organique, isole dans ses vacuoles les substances toxiques du sol pour les rendre inoffensives, protégeant ainsi les racines de la plante des attaques en les enveloppant dans ses hyphes. Le champignon recycle ainsi les déchets de la plante

pour la nourrir tout en se nourrissant lui-même.

Sur un arbre, il peut y avoir des centaines d'espèces de champignons qui se partagent les racines, chacune apportant des ressources spécifiques. L'arbre préférera nourrir le champignon qui lui fournit les ressources dont il a besoin : phosphates, nitrates, etc. De même, le champignon colonisera la plante qui lui apporte le sucre dont il a besoin. Seuls les couples à action bénéfique réciproque perdurent. Les truffes et les girolles (champignons comestibles) que nous connaissons ne peuvent vivre qu'en symbiose mycorhizienne avec leur espèce d'arbre.

Plantes et bactéries

Les bactéries jouent également un rôle fondamental pour les plantes. Parmi les nombreuses fonctions chimiques des bactéries autour des racines, citons la production d'hormones de croissance racinaire, l'optimisation de la mobilité des phosphates, la promotion de la croissance des champignons mycorhiziens, le piégeage des métaux lourds, la rétention de l'eau, la dévoration des hydrocarbures et la production d'antibiotiques contre les champignons pathogènes par le biais d'une grande variété de processus chimiques. Près de la racine, les bactéries et les champignons symbiotiques consomment tout le sucre des racines, ce qui laisse peu de place aux nouveaux intrus, protégeant ainsi la racine.

Les légumineuses (trèfle, luzerne, pois, haricots), les arbres tels que les acacias, les mimosas ou les aulnes, ainsi que les argousiers, forment des associations avec des bactéries capables de capturer et de fixer l'azote de l'air. Les légumineuses peuvent ainsi stocker l'azote de l'air dans le sol, ce qui permet de cultiver en alternance des plantes annuelles qui ont besoin d'un sol riche en azote.

Autour de ses racines, la plante construit des nodules, sortes de petites cavités de quelques millimètres, où elle attire des milliards de bactéries et les nourrit de sucre, entretenant la symbiose pour son approvisionnement en ressources minérales. Un véritable dialogue moléculaire s'établit entre la plante et la bactérie, chacun des partenaires libérant des molécules, reconnaissant les molécules de l'autre et se sélectionnant mutuellement avant de mettre en place la symbiose.

« La plante contrôle quantitativement l'infection de ses nodules afin d'équilibrer ses apports en fonction de l'environnement. »

Tout ceci s'inscrit dans un équilibre dynamique où les partenaires se partagent les tâches et où les apports compensent les pertes.

La communication

Les symbioses se transmettent de génération en génération de diverses manières : les lichens se divisent en deux parties symbiotiques ; chez certains insectes, la femelle inocule à ses œufs une gouttelette de bactéries symbiotiques ; la petite fougère *Azolla* inclut dans ses spores des cyanobactéries qui colonisent les nouvelles feuilles ; les insectes sociaux tels que les termites se réinfectent avec leurs congénères.

Le monde souterrain communique au moyen de signaux chimiques permanents. Les plantes signalent leur présence et attirent des bactéries ou des champignons utiles en émettant des molécules spécifiques. En retour, les champignons émettent des molécules qui signalent leur présence, et les plantes et les champignons développent leurs racines et leurs filaments pour former la mycorhize.

Les bactéries évitent l'acidité, les champignons l'apprécient ; les plantes privilégient l'un ou l'autre type de sol, en fonction de leurs besoins. Les racines peuvent également émettre des molécules toxiques pour certaines bactéries. La plante choisit donc les microbes et les champignons qui l'accompagneront.

La coopération par les racines

« Un échange de signaux chimiques dans le sol donne naissance à ces étreintes appelées mycorhizes. »

« En termes de santé, les plantes ont besoin de petites créatures à leurs pieds. »

« La symbiose est un équilibre dynamique dont le maintien est contrôlé par les partenaires et qui dépend aussi des conditions environnementales. »

Les réseaux mycorhiziens, qui relient les racines des arbres et les hyphes fongiques, sont des réseaux d'échange d'informations et de nourriture. Un champignon couvrant plusieurs mètres carrés formera des mycorhizes avec plusieurs plantes. Si une plante lui donne plus de sucre ou consomme moins de ses minéraux, cela aidera indirectement les autres. Des arbres de la même espèce peuvent fusionner leurs racines, échangeant ainsi des sucres

ou des minéraux manquants qui nourriront un arbre malade ou un jeune plant. Dans les forêts tropicales, les espèces de sous-bois trop éloignées du soleil obtiennent des sucres supplémentaires grâce aux mycorhizes des arbres voisins.

Lorsqu'une plante attaquée commence à synthétiser des tanins qui repoussent les parasites, ce signal est transmis à d'autres plantes par le réseau de mycorhizes, celles-ci synthétiseront alors ce tanin avant d'être attaquées.

Les plantes construisent et entretiennent le sol dans lequel elles vivent avec l'aide de nombreux alliés : champignons, bactéries et vers de terre. *« Le sol est donc aussi un lieu d'entraide et un réservoir de partenaires avec lesquels former des symbioses. La rhizosphère[6], même si elle peut attirer des malfaiteurs, est un nid douillet où de bonnes fées microbiennes veillent sur les fondations de la plante. »*

En vivant en harmonie avec la nature, les peuples premiers ont compris et respecté cette symbiose universelle que notre civilisation a oubliée et tente de retrouver. Trop souvent, ceux qui accaparent les richesses se comportent comme des parasites, tout comme l'humanité, agissant comme un prédateur, se comporte comme une espèce envahissante et destructrice. D'une certaine manière, l'homme doit réapprendre à vivre en symbiose avec la Terre.

1. Procaryote : forme de vie unicellulaire dépourvue de noyau, telles que les bactéries.
2. Eucaryote : forme de vie souvent multicellulaire dont les cellules possèdent un noyau comme chez les animaux, les plantes et les champignons.
3. Mitochondries : la centrale énergétique de nos cellules, également impliquée dans de nombreuses activités cellulaires. Chaque cellule peut contenir jusqu'à 2 000 mitochondries.
4. Lichen : symbiose entre une algue et un champignon.
5. Champignon : organisme qui fabrique sa propre matière organique en décomposant la matière organique existante, et non à partir de minéraux, comme le font les plantes. La partie aérienne que nous voyons est l'organe reproducteur de certains, mais leur activité est essentiellement souterraine.
6. Rhizosphère : partie du sol entourant la racine et influencée par elle.

Auteur : Dominique Abdelnour, collaboratrice de Share International résidant en France.
Sources : M-A Selosse, L'origine du monde, La Symbiose
Thématiques : environnement
Rubrique : Compte rendu