

Les champignons mycorhiziens

Avec la collaboration de Lyne Gosselin du Centre de recherche en biologie forestière (CRBF)

1. Historique

Il y a de cela environ 400 millions d'années, les premières plantes quittaient les milieux aquatiques pour venir coloniser la terre ferme. Toutefois, ce changement ne s'est pas fait d'un seul coup et sans aide. Au contraire, les plantes ont eu besoin d'alliés pour réussir ce tour de force et parmi ceux-ci, il y a eu des champignons. C'est grâce à leur association avec certains champignons que les plantes ont réussi à survivre dans des milieux offrant peu d'humidité et de nutriments. Cette association, ou symbiose, se nomme mycorhize.

2. La mycorhize

Le mot « mycorhize » est d'origine grecque et il traduit la collaboration entre un champignon (myco) et les racines (rhize) d'une plante. Cette collaboration est en fait une symbiose, car elle résulte d'un commun accord entre les deux organismes. Elle repose sur le fait que les deux partenaires retirent des avantages de cette liaison. Le champignon retire des sucres de la plante alors que la plante reçoit des minéraux et de l'eau du champignon. D'ailleurs, sans cette association, le champignon mycorhizien ne peut compléter son cycle vital. Pour mieux comprendre cette symbiose, il est nécessaire d'expliquer certaines caractéristiques propres à chacun des partenaires.

3. Les partenaires

3.1 La plante

Les plantes font partie du règne végétal et elles se divisent en différentes espèces, tout comme les animaux et les champignons. Différentes caractéristiques différencient ces trois grands groupes. Le tableau 1 en présente quelques-unes.

Tableau 1 Caractéristiques propres aux végétaux, animaux et champignons

<i>Végétaux</i>	<i>Animaux</i>	<i>Champignons</i>
Croissance continue	Croissance jusqu'à l'état adulte	Croissance continue
Motilité réduite (ne peuvent pas se déplacer)	Motilité poussée (peuvent se déplacer)	Motilité réduite
Autotrophes (transforment eux-mêmes leur énergie nécessaire à la vie)	Hétérotrophes (doivent avoir accès à de l'énergie produite par d'autres organismes)	Hétérotrophes
Digestion intracellulaire (à l'intérieur de leurs cellules)	Digestion extracellulaire (à l'extérieur de leurs cellules, comme dans un estomac)	Digestion intracellulaire
Présence de chlorophylle (pigment permettant de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique)	Absence de chlorophylle	Absence de chlorophylle

Comme tout être vivant, les plantes ont besoin d'énergie pour vivre. Pour en obtenir, elles transforment l'énergie lumineuse (provenant de certaines ondes lumineuses du soleil ou d'autres sources lumineuses) en énergie chimique.

L'énergie chimique sera emmagasinée dans les sucres que les plantes forment elles-mêmes grâce au processus de photosynthèse. Plus particulièrement, c'est dans les liens unissant tous les atomes des sucres que les plantes emmagasinent leur énergie. Donc, lorsqu'une plante aura besoin d'énergie, elle brisera des liens présents dans ses molécules de sucre, ce qui libérera de l'énergie utilisable pour les réactions métaboliques (les réactions chimiques qui permettent la vie). En langage familier, on dit que la plante brûle ses sucres.

La photosynthèse s'effectue à l'intérieur de structures caractéristiques des cellules végétales : les chloroplastes. Ces structures sont présentes dans toutes les cellules végétales, mais on les retrouve en plus grande quantité à l'intérieur des cellules formant les feuilles. Les chloroplastes contiennent un pigment vert essentiel pour la photosynthèse : la chlorophylle ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$). C'est la chlorophylle qui donne la couleur verte aux feuilles.

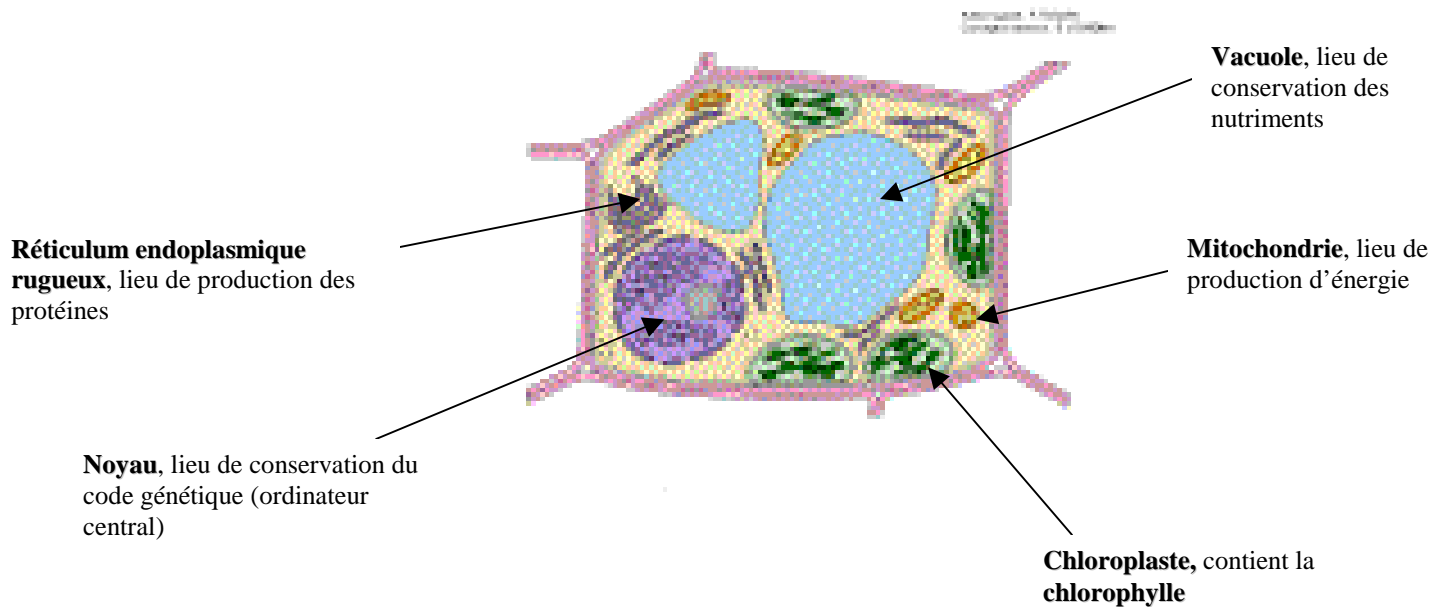


Figure 1 Cellule végétale

perso.wanadoo.fr/jourdan.eric/tele2.htm

La photosynthèse est un processus qui fait en sorte que les végétaux sont capables de transformer l'énergie provenant de la lumière du soleil et le gaz carbonique (ce qu'on rejette lorsqu'on respire et qui est rejeté lorsqu'une voiture fonctionne) en sucre (de l'énergie chimique) et en oxygène. C'est ainsi qu'elles se nourrissent; elles n'ont donc pas besoin de manger comme nous. C'est pour cette raison qu'on dit que les végétaux sont autotrophes, c'est-à-dire qu'ils sont capables de synthétiser leur propre énergie (sous forme de sucre, des composés de carbone) à partir de l'énergie lumineuse et du carbone retrouvés dans l'air et dans les minéraux, donc sans avoir à ingérer d'autres organismes vivants. La photosynthèse peut ainsi se résumer par une formule très simple :

Gaz carbonique (CO₂) + lumière (énergie lumineuse) → oxygène (O₂) + sucre (énergie chimique)

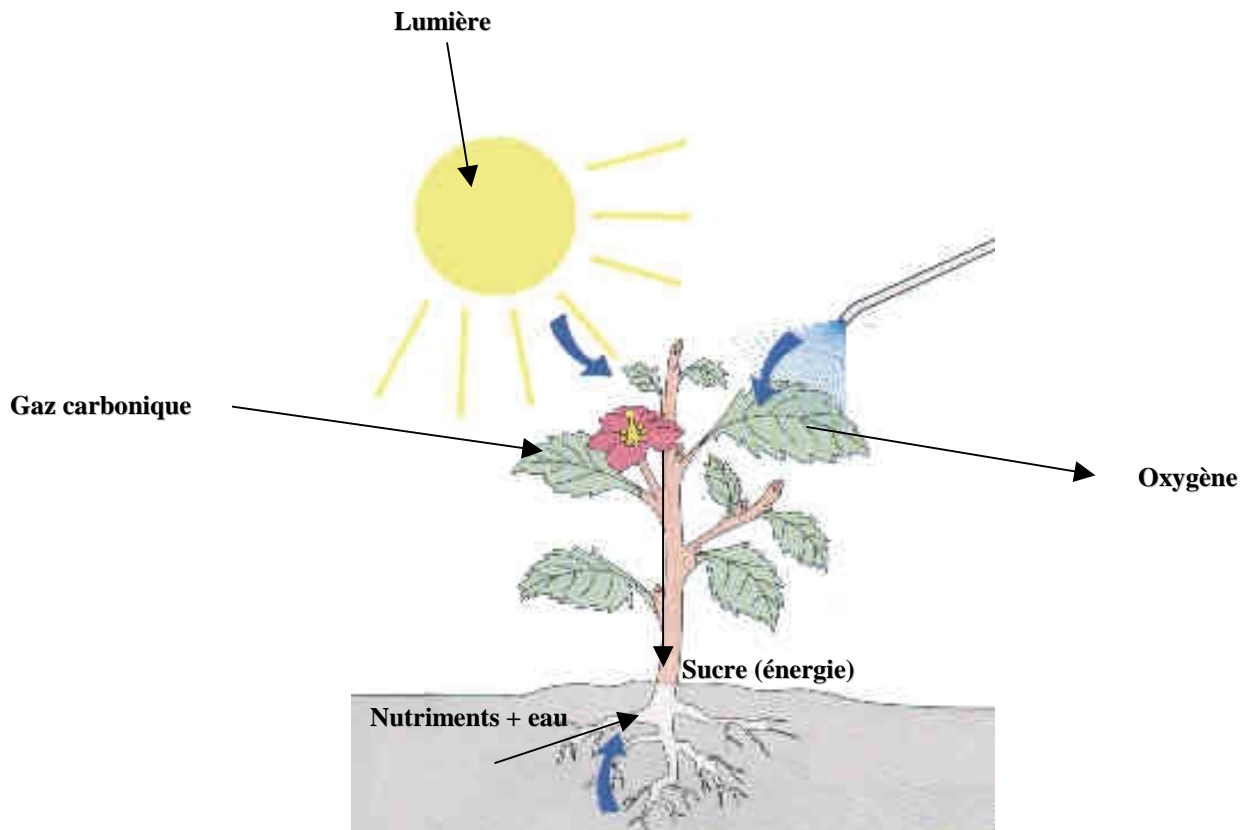


Figure 2 Photosynthèse

www.biogetal.com/cept3.htm

Outre la lumière et le CO_2 , les plantes ont besoin de nutriments, d'oxygène et d'eau pour vivre. Les nutriments sont des éléments que l'on retrouve dans le sol et dans l'air. Les nutriments dont ont besoin les végétaux peuvent être qualifiés de macro-éléments ou d'oligo-éléments. Les macro-éléments sont des nutriments nécessaires en grande quantité alors que les oligo-éléments sont des nutriments nécessaires en très faible quantité. Une carence ou un excès d'un de ces nutriments peut causer différents problèmes, tels qu'illustrés dans le tableau 2. Il ne faut pas oublier que les excès sont aussi dangereux que les carences !

Tableau 2 Fonctions et signes de carence et d'excès des macro-éléments et oligo-éléments

<i>Éléments</i>	<i>Symboles chimiques</i>	<i>Fonctions</i>	<i>Signes de carence</i>	<i>Signes d'un excès</i>
Macro-éléments				
Azote	N	Constituant de la chlorophylle, vitamines, ADN, etc.	Les plantes deviennent vert pâle et les feuilles âgées jaunissent	Croissance exagérée
Potassium	K	Maintient de l'organisation cellulaire	Taches brunes sur les feuilles, ralentissement de la croissance	Les feuilles deviennent plus pâles et se couvrent de taches sombres
Calcium	Ca	Croissance et solidité de la membrane cellulaire	Chute prématurée des feuilles et des fleurs	Diminue la solubilité de certains éléments, donc engendre des carences
Phosphore	P	Constituant de l'ADN, protéines, enzymes, etc.	Les feuilles deviennent vert sombre ou vert pourpre	Jaunissement et brunissement des extrémités des feuilles, puis chute des feuilles
Magnésium	Mg	Constituant de la chlorophylle, production d'énergie	Les feuilles s'enroulent et jaunissent	Croissance exagérée des tiges et des racines, diminution de la floraison
Soufre	S	Constituant de plusieurs enzymes	Les jeunes feuilles deviennent jaunes en premier	Les feuilles sont vert bleuâtre et se courbent vers l'intérieur
Oligo-éléments				
Fer	Fe	Formation de la chlorophylle	Jaunissement des feuilles	Rarement toxique
Chlore	Cl	Intervient dans la photosynthèse	Jaunissement des feuilles de la tomate	Le tabac donne des cendres noirâtres
Manganèse	Mn	Formation de la chlorophylle	Jaunissement et mort des jeunes feuilles	Induit une carence en fer, donc provoque le jaunissement des feuilles
Bore	B	Important dans la croissance	Maladies physiologiques (ex. : craquelure des branches de céleri, taches brunes sur le chou-fleur)	Jaunissement des côtés de la feuille, puis chute des feuilles
Zinc	Zn	Active un grand nombre d'enzymes	Croissance irrégulière, feuilles rabougries	Jaunissement des feuilles, mort des bourgeons, les nervures deviennent noires et tombent
Cuivre	Cu	Formation de la chlorophylle et	Les feuilles sont vert foncé, mort de	Les jeunes feuilles jaunissent et

		essentiel à la photosynthèse	l'extrémité des jeunes feuilles	présentent des taches brunes Rarement toxique
Molybdène	Mo	Production de protéines, essentiel à la respiration de la cellule	Les feuilles âgées jaunissent et meurent sur les côtés, les fleurs tombent facilement	Rarement d'excès
Nickel	Ni	Production de CO ₂ à partir de déchets toxiques	Mort de l'extrémité des feuilles	Pas de signes connus

Puisque les plantes ont de nombreux besoins en éléments, il est souvent nécessaire d'ajouter des engrais étant donné que le sol n'est pas une ressource inépuisable de ces substances. Les engrais sont des produits minéraux ou organiques incorporés au sol afin d'améliorer sa fertilité, c'est-à-dire conserver ou augmenter les éléments essentiels à la croissance des organismes végétaux. Cela peut se faire en ajoutant directement des nutriments (engrais minéraux), en ajoutant des substances organiques qui en se décomposant vont libérer des éléments minéraux ou encore, en utilisant des organismes capables d'aller chercher les nutriments à des endroits inaccessibles par les plantes. C'est ce dernier rôle que s'attribue le champignon mycorhizien.

3.2 Le champignon

Les champignons ne sont pas tous des champignons mycorhiziens. De fait, certains ne forment pas de symbiose avec les plantes. On parle alors de champignons saprophytes ou pathogènes, selon qu'ils se nourrissent de cellules végétales mortes ou vivantes. Tout comme ces autres champignons, les mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes qui ressemble en fait à un amas de filaments. Ces hyphes leur permettent de parcourir des distances beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments inaccessibles par les plantes.

Il existerait sept ou huit groupes de champignons mycorhiziens, chacun étant caractérisé par un type de mycorhize bien particulier. Les mycorhizes les plus communes sont celles

qui colonisent le plus grand nombre de plantes. Ce sont l'ectomycorhize (mycorhize externe) et l'endomycorhize (mycorhize interne).

L'ectomycorhize naît de la rencontre entre des hyphes d'un champignon mycorhizien et des racines d'un arbre (Fig. 3). L'ectomycorhize ne se forme qu'avec des arbres forestiers comme le pin, le sapin, le bouleau, l'épinette et principalement avec les résineux (arbres produisant de la résine comme certains conifères tels que le pin, le sapin, le thuya, etc.). Chez les ectomycorhizes, les hyphes s'infiltrant dans les racines de l'arbre, entourant

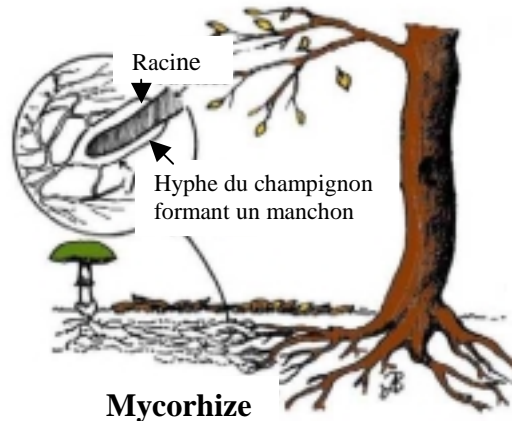


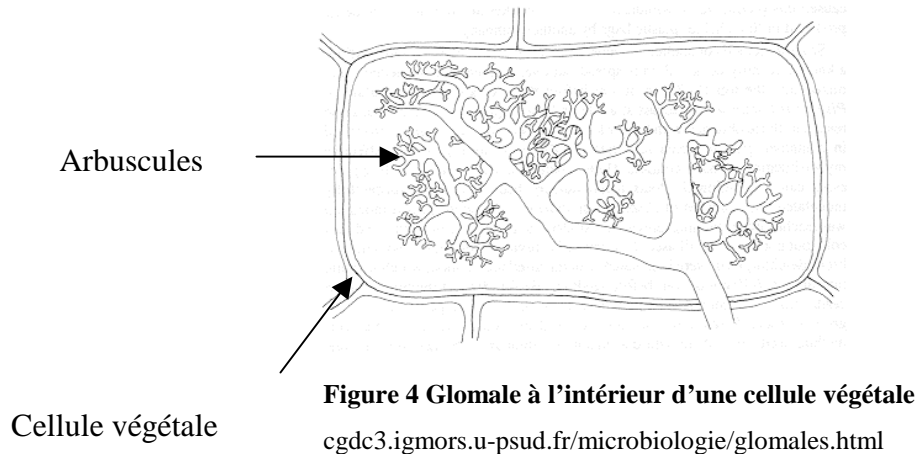
Figure 3 Ectomycorhize

home.wanadoo.nl/abiemans/pict/e_mycorrhiza.jpg

les cellules sans y pénétrer, et forment, au pourtour de la racine, un amas d'hyphes qui s'appelle un manchon. Les échanges symbiotiques entre les partenaires se font au niveau intercellulaire. Le manchon fait par les hyphes du champignon joue aussi un rôle protecteur contre des organismes pathogènes. De plus, plusieurs champignons ectomycorhiziens forment les « chapeaux » ou « carpophores » que l'on voit sur les sols et certains d'entre eux sont comestibles et recherchés par les gastronomes, citons entre autres les girolles (ou chanterelles) et les bolets. D'autres comme les truffes ne sortent jamais du sol, on les dits « hypogés ». Sans cette association avec l'arbre, ces champignons ne pourraient former ce « chapeau » fort prisé.

L'endomycorhize fut la première symbiose mycorhizienne avec les plantes. De fait, ce fut celle qui permis aux végétaux de sortir de l'eau il y a environ 400 millions d'années. Elle résulte de champignons microscopiques dont les hyphes ont la particularité de pénétrer dans les cellules de la racine de la plante. Contrairement aux ectomycorhizes, le champignon ne forme jamais de « chapeau » et les hyphes ne forment pas de manchon autour des racines. Les hyphes forment plutôt une structure, appelée « arbuscule », à

l'intérieur des cellules végétales (Fig. 4). Cette association se retrouve principalement chez les plantes cultivées, mais aussi chez certains arbres forestiers dont l'if et l'érable à sucre ainsi que plusieurs petites plantes des sous-bois.



L'avantage de la mycorhization est de permettre à l'arbre (en passant par le réseau d'hyphes du champignon) d'augmenter sa capacité à puiser des ressources minérales en couvrant un très grand territoire, comparativement aux seules racines des végétaux, et en ayant accès à des nutriments inaccessibles aux racines. En fait, les champignons ont besoin de 100 fois moins de matériel biologique qu'un végétal pour couvrir la même zone d'absorption. De plus, les hyphes accélèrent l'altération des roches, permettant ainsi d'augmenter la disponibilité en minéraux. Ils peuvent s'attaquer aux minéraux insolubles du sol, comme le phosphore. Cette dernière action se fait généralement en symbiose avec des bactéries.

Des recherches ont démontré que certaines ectomycorhizes peuvent pénétrer à l'intérieur de cristaux de feldspath (cristaux contenant de l'aluminium, de la silice et du potassium) en les dissolvant et ainsi y puiser du potassium. Ces champignons sont particulièrement utiles dans des sols où la rétention de minéraux n'est plus possible. Il a aussi été démontré que les mycorhizes peuvent directement exploiter les débris végétaux tombés par terre pour le compte des plantes auxquelles ils sont associés.

D'autres recherches ont aussi permis de découvrir que lorsqu'un même champignon colonise des systèmes racinaires différents, il peut se produire des échanges de carbone d'une plante à l'autre, y compris entre des espèces différentes. C'est le cas notamment entre des semis de bouleau et de sapin Douglas, lorsque exposés à des conditions de lumière différente. Le bouleau fournit du carbone au sapin et cet apport représente environ 9,5 % de la quantité totale de carbone que fixe le sapin grâce à sa photosynthèse. On a aussi retrouvé de tels échanges entre les arbres et les petites plantes printanières des sous-bois des érablières, dont l'érythrone et la trille.



Figure 5 Sapin Douglas

www.nhnursery.com/seedlings/christmaspack/nature%20Douglas.jpg

Carbone →



Figure 6 Bouleau

www.nhm.ac.uk/jubileetrees/images/09-silver-birch-230.jpg

En plus d'être utile pour la plante et le champignon, la mycorhize joue un rôle dans divers domaines. L'agriculture et l'horticulture utilisent désormais les champignons mycorhiziens comme fertilisant. En fait, il a été démontré que l'ajout des champignons permet de diminuer les apports d'engrais chimiques de 15 à 25 %. Ces engrais sont nuisibles à la biodiversité des sols (certains détruisent les mycorhizes) et en l'occurrence, à la diversité végétale. De plus, cette réduction a fait baisser les coûts relatifs à l'entretien et à l'exploitation des sols et ce, pour de meilleurs rendements. Les champignons mycorhiziens sont aussi utilisés pour restaurer des sols perturbés, car ils protègent les racines contre la sécheresse et fournissent des nutriments et de l'eau aux plantes, même

dans des sols très pauvres comme les sables bitumineux exploités pour le pétrole. L'utilisation de champignons mycorhiziens permet également de réduire l'utilisation de pesticides, car leur présence protège les racines contre les organismes pathogènes. À long terme, leur utilisation réduit les divers coûts associés à l'enrichissement des sols destinés à la culture. Ainsi, ces champignons sont une excellente alternative aux produits chimiques, autant dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés.

Références

- CAMPBELL, Neil A. (1995). *Biologie*, Éditions du Renouveau pédagogique inc., St-Laurent, 1190 pages.
- LERAT, Sylvain, *Les champignons mycorhiziens : une communauté souterraine méconnue*, Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval.
- OLIVIER, Alain (2001). *Science des plantes, 1^{ère} partie : systématique, anatomie et physiologie*, Notes de cours, Université Laval, Ste-Foy, 158 pages.
- RATEL, Hervé (1999). « Les champignons dopent la forêt », *La Recherche*, numéro 319, avril, pages 33-35.
- RIOUX, Jacques-André (2001). *Science des plantes, 2^e et 3^e parties : physiologie et domestication des plantes*, Notes de cours, Université Laval, Ste-Foy, 101 pages.
- SELOSSE, Marc-André, François LE TACON (1999). « La stratégie de la symbiose », *Science et avenir*, numéro 633, novembre, pages 72-73.

- Forêt Conservation (1982). *Les mycorhizes*, volume 49, numéro 3, juin, pages 28-31.
- Forêt Conservation (1991). *Les mycorhizes : on ne prêche pas par l'exemple*, volume 58, numéro 6, octobre, pages 6-7.

- http://www.snf.ch/fr/com/prr/prr_arh_99jan18.asp
- <http://cgdc3.igmors.u-psud.fr/microbiologie/mycorhizes.html>
- <http://perso.club-internet.fr/garzanda/truffiere/mycorhizes.html>
- http://forestis.rsvs.ulaval.ca/REFERENCES_X/GLOSSAIRES/Glossaire_Symbioses_X/ectomycorhize_definition.htm
- <http://www.apsnet.org/education/illustratedGlossary/>
- <http://cgdc3.igmors.u-psud.fr/microbiologie/gloiales.html>
- <http://www.chru-lille.fr/cap/ca5-98nov1.htm>
- <http://www.biogetal.com/cept3.htm>

- <http://perso.wanadoo.fr/jourdan.eric/tele2.htm>
- <http://coproweb.free.fr/mycoweb/divers/gloss.htm>
- http://www.bionatics.com/dyna/etiquette_e812ad49ffpicea_d.JPG
- <http://www.rpn.ch/epcf/bellevue/1e92/arbres.htm>