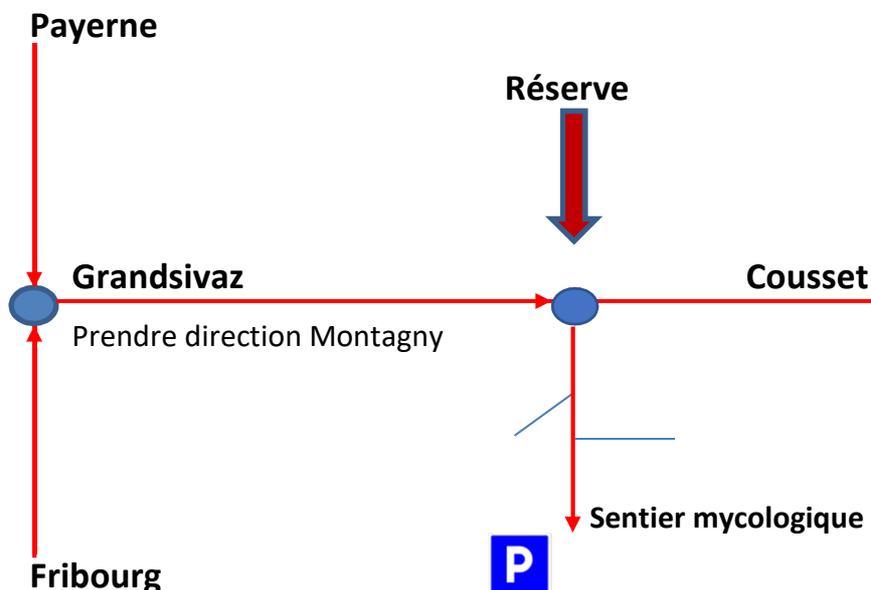




## Chers visiteurs, chers futurs visiteurs, chers amis de la nature et des champignons

Merci d'avoir choisi de parcourir, ou de vouloir parcourir, ce nouveau sentier mycologique didactique, né grâce à la collaboration entre la Société fribourgeoise de mycologie et le Service des forêts et de la faune. Le sentier se situe dans la forêt domaniale de la Chanéaz, sise dans le canton de Fribourg, entre Grandsivaz et Montagny.

### Plan d'accès au sentier mycologique



**P** Coordonnées : WGS = 46°47'55"N 6°59'54"E / CH 1903 = 566'382 183'121



Si vous souhaitez parcourir le sentier mycologique didactique, nous vous invitons à charger préalablement ce document sur votre portable, à l'aide du QR code.

Grâce à l'application préalablement chargée sur votre portable et au QR code qui figure sur des panneaux du sentier, ainsi que ci-contre, nous proposons des compléments à la didactique et aux illustrations des dits panneaux. Vous pouvez ainsi obtenir de plus amples informations sur ce monde particulier et très éclectique des champignons. Vous les trouverez, ci-dessous, en relation avec l'intitulé des panneaux. Nous sommes conscients que de très nombreuses informations resteraient à fournir, mais nous avons dû nous limiter, la mycologie étant très vaste !

L'application qui vous a conduit sur la présente page de notre site Internet, ou qui vous y conduira, garde l'adresse en mémoire sur votre portable. Vous conservez ainsi la possibilité, en tout temps, de retrouver ces informations pour compléter votre lecture ou pour remémoration.

Nous vous souhaitons beaucoup du plaisir.

Votre avis sur ce nouveau sentier mycologique didactique de la Chanéaz nous intéresse. Vous pouvez laisser votre commentaire à [secretaire@mycofr.ch](mailto:secretaire@mycofr.ch).

## Qu'est-ce que la mycologie

La mycologie, ou étude des champignons, est une science qui recouvre non seulement la connaissance des espèces, mais également leur biologie, leur écologie, leurs relations à l'environnement, la connaissance de leur évolution, leurs liens de parenté, etc. La mycologie est donc multiple et la tâche des mycologues ardue. Elle est rendue compliquée par la très grande quantité d'espèces, microscopiques et macroscopiques, par leur complexité biologique, leur grande variété morphologique, leur courte durée de vie, leur apparition aléatoire ou seulement très occasionnelle, etc. L'auteur mycologue français, Marcel Jossier, a parfaitement défini ce qu'est un mycologue, à savoir : « *Un Naturaliste étudiant les champignons dans l'espoir de parvenir à les connaître* » !

Si de très anciens écrits relatent la présence de champignons, la mycologie, elle, est bien plus récente. Elle débute vraiment avec le mycologue et botaniste suédois **Elias Magnus Fries** et son ouvrage *Species plantarum*, en 1753. Les premiers ouvrages entièrement consacrés aux champignons datent du début des années 1800, avec *Synopsis methodica fungorum*, publié par un Sud-africain **Christiaan Hendrik Persoon**. Il faut relever l'immense travail de classification de l'italien **Pier Andrea Saccardo**, dans *Sylloge fungorum omnium hucusque cognitorum*, publié à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Enfin il est encore important de citer le français **Joseph-Henri Léveillé** et sa découverte de l'existence des basides, qu'il distingue des asques, ce qui a abouti à la séparation de certains champignons en deux embranchements, celui des Basidiomycètes et des Ascomycètes.

Ceci nous conduit à découvrir, brièvement, ce que recouvre la notion de mycologie, s'agissant de la connaissance des espèces.

Pour parvenir à reconnaître des animaux, des plantes ou des champignons, il est indispensable de les décrire, de les situer dans l'évolution, soit de les classer et de les nommer. De ceci découle la *taxinomie*, la *systématique* et la *nomenclature*.

La **taxinomie** (ou *taxonomie*) précise la limite des taxons. Un taxon est une unité systématique reconnue par les codes internationaux pour la classification. Ainsi, l'espèce, le genre, la famille, l'ordre, la classe, l'embranchement ou le règne, sont respectivement des taxons. Pour l'espèce, qui est l'unité de base de la systématique, cela consiste à décrire de manière complète et détaillée ses caractères de façon à ce qu'elle puisse être reconnue de manière fiable. Il en est de même s'agissant de la délimitation et de la définition des genres, des familles, des ordres, etc.

La **systématique** consiste, dans le mode dit classique, à hiérarchiser les espèces en genres, familles, ordres, classes, embranchements et règnes. Ce mode de classement est réalisé sur la base des ressemblances les plus visibles entre elles. Cette classification est en opposition avec la classification phylogénique, récente, qui découle d'analyses biologiques moléculaires qui consiste à classer les êtres et donc des champignons, en fonctions de leurs liens de parenté.

La **nomenclature** traite de la dénomination des taxons. Leur dénomination, ainsi que le mode de publication sont régis par le Code International de Nomenclature Botanique (ICBN). Nous nous limiterons ici à ne présenter que quelques situations et règles simples. Pour la désignation d'une espèce, on utilise un binôme latin ou latinisé, écrit en italique : d'abord le nom du genre, écrit avec la première lettre en majuscule, suivi du nom de l'épithète (de l'espèce), la première lettre en minuscule, suivi du nom de l'auteur ou des autorités, soit de celui ou de ceux qui en assument la « paternité ». Ex. *Peziza simplex* Dougloud & Moyne. Il arrive, consécutivement à des connaissances nouvelles, que le placement d'une l'espèce dans un genre ne corresponde plus aux dernières connaissances. Dans ce cas, une *nouvelle combinaison* est nécessaire. Voici un exemple : Le binôme initial du placement devenu inapproprié est : *Peziza horridula* Desmazières, *Ann. Sci. Nat. Bot. III*, 8: 185 (1850). La nouvelle combinaison proposée est : *Lasiobelonium horridulum* (Desmazières) Dougloud, *comb. nov.* Remarquez la mise entre parenthèse du nom de l'autorité initiale et l'indication complète des références de la publication et l'adaptation orthographique de l'épithète.

Pour la publication d'une espèce nouvelle, le Code précité exige : une description détaillée du champignon ; une description succincte, qui toutefois permet de reconnaître l'espèce, rédigée en latin ou en anglais ; l'inscription de l'espèce dans une banque de données, avec indication de son numéro de référence ; le dépôt du champignon (qui devient l'espèce de référence, le *typus*) dans un herbier reconnu, avec numéro de classement. La publication doit paraître dans une revue de mycologie reconnue.

La dénomination d'un taxon peut être complexe et le non-respect du code ICBN entraîne l'invalidité de la publication.

## Morphologie d'un carpophore

Presque tous les champignons forment un **mycélium** qui leur sert à puiser la nourriture dans le substrat. C'est dans ce dernier que les **sporophores** (= *porteurs de spores*) tirent les ressources nécessaires à leur développement. La forme des cellules qui composent les sporophores est différente de celles du mycélium, mais la composition de leur paroi, formée de chitine, est identique. A noter que cette matière est indigeste (*ce qui rend les champignons peu digestes*). Au cours de leur évolution, les champignons ont développé des formes, des dimensions et des couleurs souvent très différentes. Ils se sont également adaptés à des écologies et des substrats. Cependant, en dépit de leur aspect, le but pour chacun d'eux reste le même, perpétuer l'espèce. A cette fin, ils ont élaboré des stratégies distinctes ou comptent sur de l'aide extérieure pour disséminer leurs cellules reproductives, les **spores**. En voici quelques exemples :

On peut penser que les espèces dotées d'un pied et d'un chapeau soient les plus évolués. En effet, le développement des spores, qui se fait à l'extérieur des cellules productrices que sont les basides, a lieu sous le chapeau qui sert de protection contre la pluie ou les rayons trop puissants du soleil. Mieux encore, lorsqu'une espèce ne croît pas sur une surface plane, mais par exemple sur le côté d'un tronc, son pied va se courber de manière à ce que le chapeau et donc sa partie fertile, conserve une position horizontale afin de ne pas entraver la chute des spores. Cette propriété se nomme **géotropisme**. Enfin, grâce au pied, les spores qui tombent sont plus facilement emportées par les déplacements d'air.



Pholiote destructrice (*Hemipholiota populnea*) sur la tranche d'un tronc, avec les pieds courbés. Photo : F. Meignez

Les espèces, comme celles qui composent l'Ordre des Pézizales, forment leurs spores le plus souvent sur la face supérieure du champignon. Leur développement a lieu à l'intérieur de petits réceptacles, généralement cylindracés, les asques. A maturité, la pression interne qui règne dans ces asques, conjuguée à celle qui les entoure, déclenche l'ouverture, souvent simultanée, de leurs sommets. Les spores sont ainsi projetées dans l'air avec une grande vigueur.



Ascobole immergé (*Ascobolus immersus*) montrant des asques émergents laissant apercevoir à l'intérieur les spores colorées. Photo : R. Dougoud

Les espèces vivant sous terre, dites **hypogées**, comme les truffes (*Tuber*) ou les fausses truffes (*Elaphomyces*, *Terfezia*, etc.), laissent aux animaux, friands de ces champignons (sangliers, écureuils, souris, insectes), le soin de disséminer leurs spores. Ce mode de dispersion ne s'appelle **zoochorie** (du grec *zoo*= animal et *chorie*= se mouvoir).



Terfèze de Boudier (*Terfezia-boudieri*)  
Photo : V. Ruiz-Badanelli

Chez les Gastéromycètes, la vesse de loup (*Lycoperdon*) et ses ressemblants, les spores se forment et mûrissent à l'intérieur d'une enveloppe, le **péridium**. A maturité, celui-ci se fragilise et la partie supérieure, au moins, se désagrège pour permettre aux spores de s'échapper. Elles peuvent alors être emportées par le vent, souvent avec l'aide des gouttes de pluie qui viennent frapper le péridium pour les soulever.



Vesse de loup *Lycoperdon* sp.

Photo : Internet

Les espèces de la famille des Phallacées, à l'exemple du Satyre puant (*Phallus impudicus*), possèdent des spores engluées dans une masse mucilagineuse olivâtre, la **gléba**. Pour diffuser leurs spores, ces champignons émettent une très forte odeur de charogne qui attire les mouches et autres insectes nécrophages qui vont, après avoir consommé la gléba, disséminer les spores au loin. D'autres espèces de ce genre arborent, en plus, des couleurs vives pour attirer les insectes, ceci à l'image des fleurs.



Satyre puant (*Phallus impudicus*)

Photo : Internet

De dimensions microscopiques, deux espèces du genre *Ophiostoma* ont été identifiées comme responsables de la graphiose, une maladie causant la mort des ormes. Ces champignons produisent des spores collantes. La propagation de la maladie est favorisée par des scolytes, insectes coléoptères xylophages (mangeurs de bois), qui transportent vers d'autres arbres les spores qui se sont collées à leur corps.



Photo: Internet

Les espèces du genre *Pilobolus*, qui ne mesurent que quelques mm de haut, croissent sur les excréments d'herbivores. Leur survie nécessite impérativement que les spores, qui sont contenues dans un sporange, une sorte de pastille noire fixée au-dessus d'une vésicule, soient ingérées par un herbivore (c'est aussi le cas de nombreuses autres espèces de champignons, dites coprophiles). Les animaux rechignant à manger l'herbe se trouvant proche d'excréments, ces champignons, afin d'assurer leur cycle de vie, parviennent à catapulter leur sporange jusqu'à une distance de 2 m et plus, grâce à la brusque libération de la pression (jusqu'à 7 Bars) contenue dans la vésicule. Avant la projection, en fonction de l'angle de frappe des rayons lumineux sur la base de la vésicule, cette dernière s'incline vers la plus grande source lumineuse. Cette recherche de lumière, nommée **héliotropisme**, permet d'ajuster la projection du sporange et d'éviter de percuter les herbes qui lui font ombrage.



*Pilobolus cristalinus*

Photo : R. Dougoud

## La biologie des champignons

Les champignons sont des êtres à part, privés de photosynthèse et donc réduits à puiser dans les matières organiques le carbone et les autres éléments indispensables à leur existence. Ils se sont adaptés en formant trois modes d'existence : **le saprophytisme (se nourrissant de substances en décomposition), le parasitisme, la symbiose mycorhizienne (une association mutualiste avec les racines des arbres ou autres végétaux).**

Les champignons que l'on peut observer, Basidiomycètes et Ascomycètes, produisent des spores contenant des noyaux à polarités différentes, soit + et -. Pour rappel, les spores formées par un champignon vont être libérées à maturité. Celles-ci vont être transportées par l'air, par l'eau, par des animaux, et finiront par retomber sur un substrat, le sol, du bois, des plantes, etc. Si les conditions le permettent, elles germeront et si l'endroit leur permet de vivre, le germe va s'allonger, se ramifier, bref se développer.

Le germe issu de spores + ou -, va former un filament qui se développera en un mycélium primaire. Ce mycélium est éphémère. Pour former un mycélium secondaire durable et susceptible de former des fructifications, il faut que des filaments du mycélium primaire + rencontrent des filaments de polarité - et qu'ils fusionnent. Il y a alors mélange du contenu cellulaires, le **cytoplasme**, c'est la **plasmogamie**. Les cellules de ce nouveau mycélium contiendront alors deux noyaux, un + et un -. Il en sera de même des cellules formant la fructification, sauf au cours de la maturité, là où se forment les organes reproducteurs. Il s'agit des basides pour les basidiomycètes et des asques pour les ascomycètes. C'est à l'intérieur de ces organes qu'intervient la fusion des noyaux + et -, appelée **caryogamie**, qui correspond à un brassage génétique.

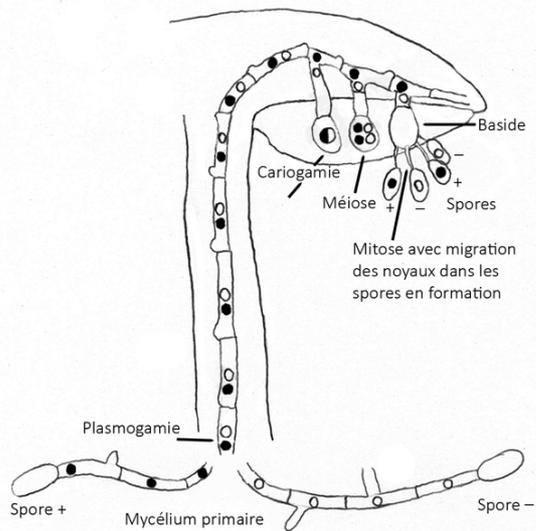
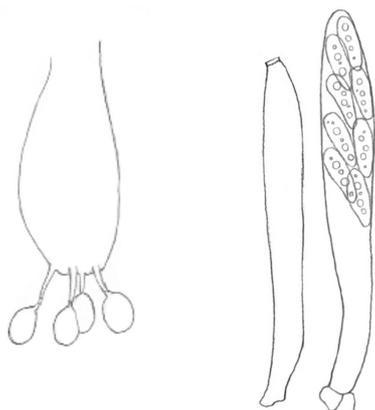


Schéma de reproduction sexuée d'un Basidiomycète.  
Dessin : R. Dougoud

Une fois fusionnés, ces nouveaux noyaux contiennent le double de chromosomes, l'addition des chromosomes des noyaux + et -. Après cette fusion, les noyaux vont se diviser en deux. Les deux noyaux « fils » ne renfermeront alors plus que la moitié des chromosomes, formés des nouveaux noyaux + et -. Ce processus de réduction chromosomique est appelé **méiose**. Enfin, intervient encore une dernière phase, la **mitose**, soit la division des noyaux + et - formées par la méiose, contenant chacun le même nombre de chromosomes. Un noyau + ou - sera inclus dans une spore nouvellement formée. La boucle est ainsi refermée, puisque chaque spore germée pourra former un mycélium primaire.

## Les spores

Les spores sont des cellules à vocation reproductive, des semences en quelque sorte. Les champignons en produisent beaucoup, souvent plusieurs millions par jour. Ils ont en effet besoin d'en produire un très grand nombre, car leur probabilité de germer et de produire un mycélium, puis un ou des champignons est très faible. Les champignons dits supérieurs disposent d'une zone fertile appelée **hyménium** où se forment les spores. Chez les Basidiomycètes, c'est le plus souvent sous le chapeau, à l'extrémité de **basides**, placées sur la face des lames (comme pour le champignon de paris), sur les plis (chanterelles), les aiguillons (pieds de mouton) ou l'intérieur de « tubes » (bolets, polypores) ou à l'intérieur du champignon (vesse de loup et ressemblants).



Une forme de baside avec 4 spores, avant leur libération

Une forme d'asque contenant 8 spores, avant, et après leur libération

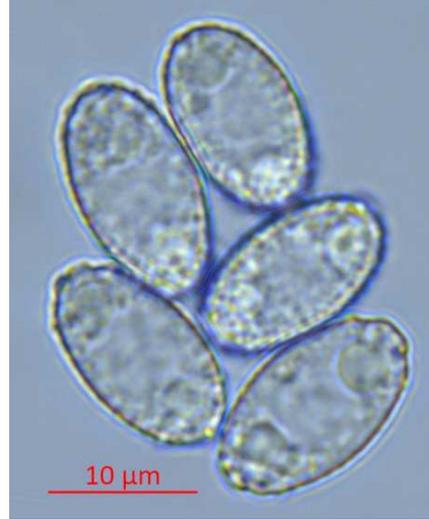
Dessins : R. Dougoud

Chez les Ascomycètes, l'hyménium est formé d'**asques** qui tapissent souvent la face supérieure du champignon (Pezizes et ressemblants), mais se forment aussi à l'intérieur du champignon (truffes et autres). A maturité, les spores des Basidiomycètes se détachent après un léger mouvement de décharge, alors que chez les Ascomycètes les spores sont généralement expulsées des asques avec vigueur. Une partie des spores de ces champignons sera ainsi emportée par l'air pour finir par retomber à des distances variables. Chez les champignons à hyménium interne, comme les vesses de loup, les truffes et autres, c'est le vent, l'eau, les mammifères et les insectes qui contribuent à leur dispersion. Les Ascomycètes forment assez souvent, en plus des spores, d'autres organes fertiles, appelés **conidies**. Celles-ci permettent la formation de mycéliums pouvant produire des fructifications sans passer par le mode sexué. Ce moyen de reproduction augmente de manière importante la possibilité de reproduction.

La forme des spores et leur dimension, qui n'est que de quelques millièmes de millimètre, varient selon les espèces. Leur couleur peut être facilement observée, il suffit de déposer un chapeau sur une feuille de papier blanc, de placer un coton humide sur le chapeau et de recouvrir d'une cloche pour éviter le dessèchement. Après quelques heures, un grand nombre de spores se seront déposées.



Spores de la Mycène des cônes, *Mycena strobilicola*.  
(Basidiomycètes). Photo : R. Dougoud



Spore de Pezize, *Peziza sp.*  
(Ascomycètes) Photo : R. Dougoud

Leur durée de vie est variable, jusqu'à plusieurs années. Leur rôle est triple, celui de perpétuer l'espèce, de maintenir le patrimoine génétique et celui de guerrier, soit de tenter, après germination, de prendre la place à d'autres espèces. En effet, les champignons sont partout ou presque et pour survivre, chacun doit chercher à s'imposer. Ainsi les mycéliums d'espèces peuvent être remplacés au détriment d'autres.

### Le Mycélium

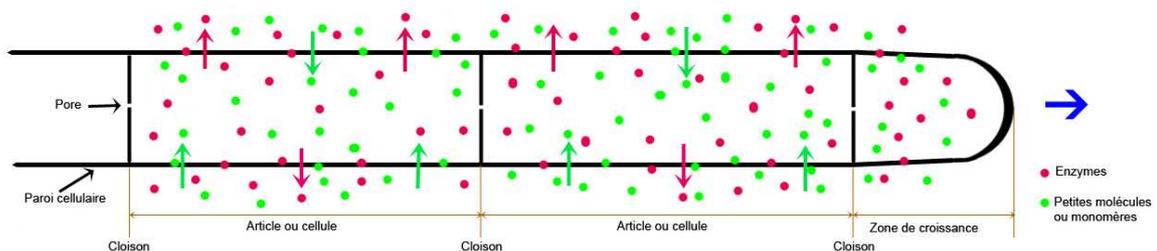
Le mycélium, ou thalle, est la partie végétative du champignon. Il est peut-être plus connu sous le nom populaire de *blanc de champignon*. Dans le sol, les mycéliums de champignons sont nombreux, chaque centimètre carré contient entre 100 et 1000 m d'hyphes. Chez les Basidiomycètes et les Ascomycètes, le mycélium est formé d'hyphes filamenteux, se présentant sous la forme d'une succession de cellules cylindriques allongées, appelées *articles*, séparés par des cloisons. Chaque article contient la matière nécessaire à la vie, le **cytoplasme**, ainsi que le



Hyphes mycéliens. Photo : R. Dougoud

ou les **noyaux**. Ces articles ne mesurent au plus que quelques dixièmes de mm de longueur et quelques millièmes de mm de diamètre. Les cloisons qui séparent les articles sont percées en leur centre pour permettre le passage du contenu cellulaire. La croissance du mycélium est indéfinie, elle se fait par allongement des articles terminaux, non par leur division.

Les hyphes du mycélium s'insinuent dans des substrats très variés (sol, plantes, bois, excréments, etc.) pour y trouver les substances nécessaires à leur croissance ainsi que, le cas échéant, à la croissance des fructifications. Ils y puisent l'eau, le carbone organique, des minéraux, comme l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, ainsi que des oligoéléments, comme le zinc, le cuivre, etc., ainsi que des vitamines. Ces éléments sont assimilés par **osmotrophie**, soit à partir de substances dissoutes dont les échanges se font au travers des parois cellulaires. Des enzymes, jusqu'à plusieurs centaines, sont excrétées pour permettre la décomposition des matières organiques, parfois très résistantes, mais très riches, comme les composants du bois, et les réduire en molécules simples, alors assimilables.



Eléments schématisée d'une partie d'hyphe mettant en évidence le mode d'absorption des nutriments et la zone de croissance. : Dessin R. Dougoud

Ce mode d'absorption permet également celui d'éléments toxiques, tels que des métaux lourds, des produits phytosanitaires, des éléments radioactifs, etc. Les fructifications puisant les

ressources nécessaires à leur croissance dans le mycélium, ces toxiques s’y retrouvent et peuvent avoir des conséquences délétères sur la santé de ceux qui les consomment (voir plus bas, sous «Conseils pour éviter une intoxication»). Le mycélium de certaines moisissures élaborent des mycotoxines (*plus de 300 connues*) dont une trentaine sont susceptibles de mettre en cause la santé humaine et animale.

Le mycélium de certaines espèces à hyphes cloisonnées, Ascomycètes et Basidiomycètes, peut s’agglomérer et former des masses plus ou moins compactes que sont les **stromas**, visibles à la surface des substrats, les **sclérotés**, sortes de tubercules sis à l’intérieur d’une plante ou à l’extérieur, ou des **rhizomorphes**, sortes de cordons, présents à l’intérieur des substrats. Ces structures sont des réserves susceptibles de résister aux conditions défavorables, par exemple pour passer l’hiver.



Stroma, en noir, de « *Rutstroemia lindaviana*, sur roseau commun.

Photo : R. Dougoud



Découpe d’une tige de Renoncule à feuilles d’aconit, montrant deux sclérotés sur lesquelles croissent *Botryotinia ranunculi*.

Photo : R. Dougoud



Rhizomorphe d’une espèce du genre *Armillaria* (Armillaire).

Photo : F. Ayer

Certains thalles de champignons, dit inférieurs, comme ceux des mildioux ou rouilles blanches, sont dépourvus de cloison, ils sont dits **siphonnés**. D’autres champignons, comme les levures, ne forment pas de mycélium.

## Les champignons saprophytes

Les champignons saprophytes se nourrissent de matières mortes ou en voie de le devenir. Grâce aux différents enzymes produits par leur mycélium, ils parviennent, en se nourrissant, à détruire les matières organiques (bois, plantes herbacées, feuilles, aiguilles, poils, plumes, viandes, excréments, etc.). Ils sont des décomposeurs indispensables à notre environnement. Ce sont eux surtout, aidés par des insectes et les bactéries, qui fabriquent l’humus recouvrant le sol. Ils sont si importants, que si de manière subite ils venaient à manquer, très rapidement les déchets organiques s’accumuleraient, avec pour conséquence des amoncèlements de feuilles, de troncs, de branches, de plantes, etc., rendant, par exemple, rapidement les forêts quasi impénétrables.

Durant un passé très éloigné, soit depuis environ 60 millions d’années jusqu’à la fin du Carbonifère, vers 300 millions d’années, les végétaux, faute de ne pouvoir se dégrader, se sont accumulés jusqu’à former des couches très importantes qui, mises à l’abri de l’air par des sédiments, se sont peu à peu transformées en charbon. Une étude récente a permis de dater l’apparition du premier champignon capable de dégrader, grâce à des enzymes, les composants du bois - composants que l’on retrouve aussi, mais en moindre quantité, dans des plantes herbacées, dans les feuilles et les aiguilles - et que seuls les champignons parviennent à détruire. Cette apparition coïncide avec la fin du Carbonifère. Ce champignon et ses descendants ont ainsi mis fin à la production du charbon et, de par la fin de l’accumulation des végétaux, ont contribué à changer la face de la terre.



*Marasmiellus ramealis*

Photo : R. Dougoud

Au fil du temps, les champignons se sont adaptés pour s’inféoder à des substrats bien spécifiques. Ainsi trouve-t-on, par exemple, des espèces ne croissant que sur bois de conifères et d’autres uniquement sur celui de feuillus. Et si certaines espèces ne croissent que sur de grosses branches mortes, d’autres, comme le *Marasme des ramilles* (*Marasmiellus ramealis*) poussent uniquement sur de petites branches ou sur des brindilles. Les



Ce saprophyte, le *Polypore marginé* (*Fomitopsis pinicola*), visible à la base de la souche, a déjà fortement décomposé le bois.

Photo : R. Dougoud



*Rutstroemia sydowiana* et un Ascomycète qui croit le plus souvent qu'aux extrémités des tiges de feuilles de Chêne (*Quercus*) et parfois de hêtre (*Fagus*)

Photo : R. Dougoud

champignons destructeurs du bois commencent par le rendre plus tendre. Cela permet aux insectes de s'y installer et de s'y reproduire plus facilement. Se faisant, ils font le bonheur des oiseaux, dont celui du Pic épeiche, qui frappe l'écorce et le bois de son bec jusqu'à forer des trous pour y trouver des insectes et des larves pour s'en nourrir. D'autres champignons saprophytes sont fidèles à certaines feuilles ou à certaines tiges de plantes. Mieux encore, certains champignons ne croissent qu'aux extrémités de certaines feuilles. Citons encore les espèces qui se sont même adaptées à certains excréments d'herbivores.



Au moins trois espèces de champignons saprophytes visibles ont colonisé cette souche qui finira bientôt par disparaître.

Photo : R. Dougoud



Orange colonisée par une moisissure

Photos : R. Dougoud

Certaines moisissures agissent aussi en décomposeurs. On peut facilement les observer sur des fruits, sur du pain et autres aliments trop âgés ou entreposés trop à l'humidité. Certaines moisissures peuvent produire des mycotoxines qui altèrent la nourriture, même sans en changer le goût. Ces mycotoxines, surtout les aflatoxines, produites par des *Aspergillus*, peuvent provoquer de graves maladies à l'homme et aux animaux qui les consomment. Elles se forment notamment dans des oléagineux mal conservés (température et humidité trop élevées), mais peuvent aussi se trouver dans les céréales, le maïs, les fèves de cacao, le café, les figues, etc. Les animaux qui consomment des aliments contaminés par des aflatoxines peuvent produire de la viande et du lait contaminé. Il en est de même s'agissant d'aliments ou de boissons, par ex. huiles, graisses, bières, etc., confectionnés avec des matières premières contaminées. Ces mycotoxines, très résistantes à la cuisson, sont un problème de santé publique.

Dans les locaux d'habitation, l'inhalation de spores de certaines moisissures peuvent provoquer des allergies et même devenir de véritables parasites pour l'homme.

## Les champignons mycorhiziens

Plus de 90% des plantes vasculaires (*celles qui contiennent des vaisseaux dans lesquels l'eau puisée par les racines circule*) vivent en association, en  **symbiose**  avec des champignons, et forment des mycorhizes (*du grec myco = champignon et rhiza = racine*). De très nombreux filaments microscopiques, nommés **hyphes**, sont reliés à leurs racelles. Ces hyphes sont dispersées dans le sol et prélèvent des nutriments et de l'eau qu'elles cèdent aux plantes. Ces hyphes sont si nombreuses que les contacts qu'elles ont avec le sol pour en absorber les éléments sont plusieurs milliers de fois supérieurs à ceux des racines de la plante. Les plantes ainsi mycorhizées bénéficient d'apports nutritionnels accrus très favorables à leur croissance. En échange et pour assurer leur propre existence, les champignons puisent à la plante de 10% à 40% des composés carbonés (sortes de sucres) issus de la photosynthèse. Des tests comparatifs ont démontré l'importance des mycorhizes. Ainsi des arbres mycorhizés, plantés dans un sol pauvre, croissent 2 à 3 fois plus rapidement que ceux qui sont dépourvus de mycorhize. Les plantes adaptent leurs relations avec les champignons en fonction de leurs besoins, ainsi si le sol est suffisamment riche, elles se passeront des mycorhizes.

Les champignons mycorhiziens se composent de plusieurs types, nommés selon le mode de relation qu'ils adoptent avec les racelles, en : **ectomycorizes, A ; ectendomycorizes, B ; endomycorizes vesiculo-arbusculaires, C** et **endomycorizes à pelotons, D** (voir illustrations 1 et 2 ci-dessous).

**A)** Les champignons **ectomycorhiziens** (illustrés sur le panneau) forment autour de la radicelle une épaisseur plus ou moins visible, nommée manteau. Celui-ci est constitué d'un entrelacs d'hyphes qui s'insèrent entre les cellules de la partie externe de la radicelle, sans jamais les pénétrer. Ces hyphes forment **le réseau de Hartig** (du nom d'un anatomiste autrichien), où ont lieu les échanges de nourriture. Les ectomycorhizes se forment sur plus de 5% des plantes vasculaires. Il s'agit surtout d'arbres et d'arbustes (conifères et feuillus). Des milliers d'espèces de champignons dits supérieurs, Ascomycètes et Basidiomycètes, de ceux que le promeneur peut facilement observer, forment des ectomycorhizes. Un arbre peut compter de très nombreuses espèces de champignons associées à ses racines, à l'exemple du hêtre, plus de 300. Certaines espèces peuvent s'associer à plusieurs arbres, alors que le Lactaire délicieux (*Lactarius deliciosus*) est uniquement associé aux Pins. Il est très probable que les arbres apportent des substances particulières, autres que des sucres, aux champignons ectomycorhiziens. En effet, à ce jour, il n'a pas été possible de cultiver des espèces mycorhyziennes, telles que les Truffes (*Tuber*), les Bolets (*Boletus*), les Chanterelles (*Cantharellus*) et autres espèces de champignons, comestibles ou non, en l'absence d'arbre.



*Neottia nidus-avis*  
Photo : R. Dougoud

Certaines plantes herbacées, à l'image de l'orchidée Neottie nid-d'oiseau *Neottia nidus-avis* ou du Monotrope sucepin (*Monotropa hypopitys*), que nous pouvons observer dans nos forêts, sont dépourvues de chlorophylle. Ces plantes ne réalisent pas la photosynthèse pour se nourrir, mais absorbent les substances carbonées produites par la photosynthèse effectuée par les arbres pour se nourrir. Pour cela, leurs racines sont reliées aux d'hyphes des champignons formant des ectomycorhizes. Il s'agit d'opportunisme !

**B)** Les champignons **ectendomycorhiziens** forment, comme chez les ectomycorhiziens, un manteau plus ou moins visible constitué d'un entrelacs de filaments microscopiques mais, contrairement à ces derniers, les hyphes pénètrent l'intérieur des cellules de la radicelle et y forment des pelotons. Ce type de mycorhize s'observe sur les racelles de certains arbres forestiers.

**C-D)** Les champignons **endomycorhiziens** ne forment pas de structure visible autour des radicelles. Elles ne sont visibles qu'à partir de coupes observées au microscope. Les hyphes du champignon pénètrent dans les cellules des radicelles de la plante. Les champignons endomycorhiziens colonisent à la fois des arbres, des arbustes et la plupart des plantes vasculaires, cultivées ou non, soit plus du 80% de ce type de végétaux. Deux familles font exception, celle des Chénopodiacées (*betteraves, épinards, quinoa, etc.*) et celle des Brassicacées (*choux, raves, céleris, colzas, etc.*).

Il existe deux types d'endomycorhizes :

**C)** Les **visiculo-arbusculaires**, c'est le type de mycorhize le plus répandu, lié à plus de 85 % des plantes vasculaires. Elles sont associées à la majorité des plantes herbacées, arbustes et arbres fruitiers. L'association se fait le plus souvent avec des champignons dits inférieurs, non visibles, appartenant à l'ordre des **Glomérales**. A l'intérieur des cellules racinaires, le champignon forme des structures arrondies ainsi que d'autres faisant penser à de petits arbres.

**D)** Les **endomycorhizes à pelotons**, liées aux radicelles des *Ericacées* (*Bruyères, Myrtilliers, Rhododendron, etc.*) et des Orchidées. Ici, les hyphes ont tendance à s'enrouler à l'intérieur des cellules, rappelant ainsi un peloton.

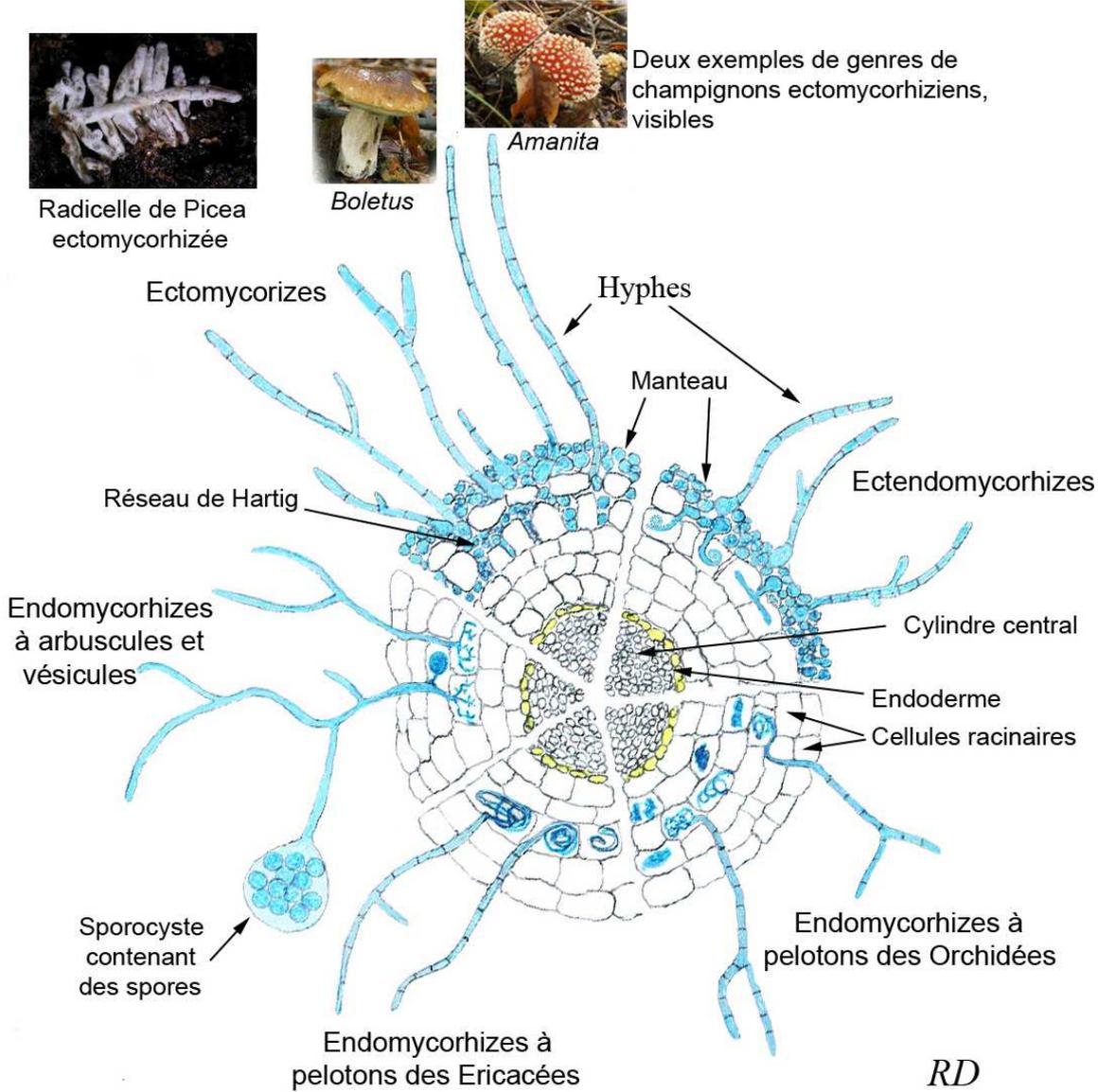


Illustration 1. Coupe schématisée d'une radicelle montrant divers types de mycorhizes.  
 Dessins, photos et montage : R. Dougoud

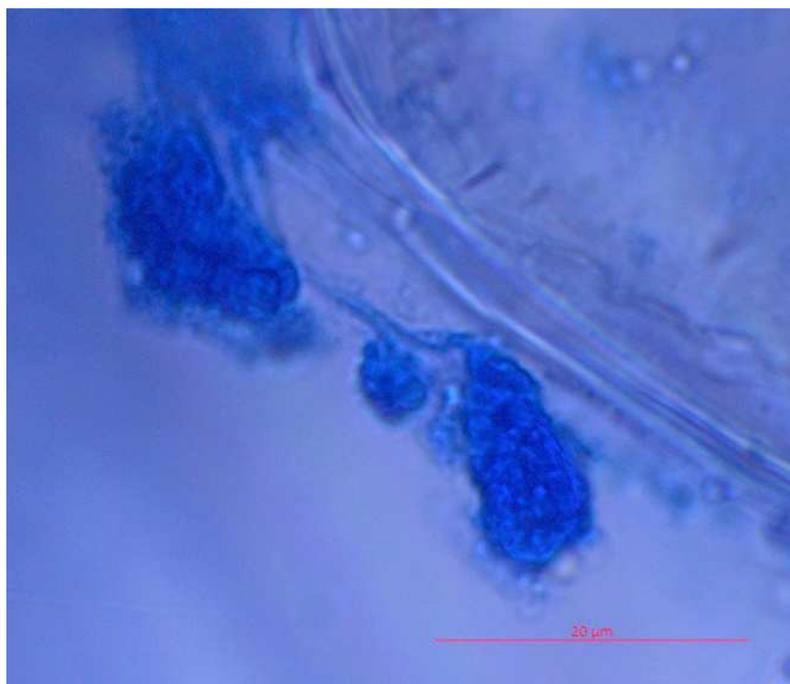


Illustration 2. Endomycorhizes à pelotons à l'intérieur d'une cellule d'Orchidée, colorées par le bleu coton lactique.  
 Photo : R. Dougoud

# Les champignons endophytes

Les endophytes (du grec *endo*= dans et *phyt-on* = végétal) sont invisibles à l'œil nu, puisqu'ils se trouvent dans les tissus des plantes, sous la forme d'hyphes, de filaments. Ces champignons, des Ascomycètes surtout, des Basidiomycètes et des champignons dits imparfaits (dont on ne connaît pas de forme sexuée), se trouvent dans la quasi-totalité des plantes herbacées ou ligneuses, recouvrant notre planète. Ils pénètrent les plantes grâce à leurs spores. Ils sont présents dans les tiges, l'écorce, les feuilles, les aiguilles ou encore dans des graines, qui servent alors à propager les espèces. Ils y vivent le plus souvent sans causer de dommage à l'hôte.



Hyphes d'un champignon endophyte, non identifié, présent à l'intérieur d'une feuille de Chèvrefeuille, *Lonicera xylosteum*. Photo : R. Dougoud

Ce n'est qu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle que la présence de champignons (ainsi que des bactéries) a été observée pour la première fois à l'intérieur des plantes vivantes. Cependant les premiers fossiles indiquant que leur présence remonte à l'apparition des plantes supérieures sur terre, il y a environ 3 milliards d'années ! La connaissance de ces espèces a réellement été lancée à partir de la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, à la suite de la découverte d'un anti-cancéreux paclitaxel (= *qui bloque le développement des cellules*) issu d'une molécule produite par un endophyte, *Taxomyces andreanae*, se trouvant dans la partie interne de l'écorce de l'If du pacifique, *Taxus brevifolia*. A noter qu'un peu plus tard, des méthodes ont permis la production semi-synthétique du médicament, à partir de l'If commun, *Taxus baccata*.

Ainsi, de nombreuses publications scientifiques permettent de mieux connaître les endophytes. Il s'agit de champignons qui bénéficient des plantes, à la fois pour se nourrir, se protéger et se reproduire. En échange, ils permettent aux plantes, au moins à une grande partie d'entre elles, de mieux résister aux agents pathogènes, aux insectes, et même aux herbivores, grâce à la production de diverses substances, aux propriétés antibiotiques, insecticides, répulsives et à des mycotoxines. Ce bénéfice mutuel relève de la symbiose ou plus précisément de l'endosymbiose, mais elle n'est pas forcément durable. Elle se distingue de la symbiose formée par les mycorhizes par le fait que ces dernières ne colonisent que les racines des plantes.

Dans quelques cas, certaines espèces d'endophytes peuvent devenir pathogènes, notamment à l'occasion d'un stress ou lors du vieillissement de la plante hôte. D'autres espèces sont des saprophytes latents qui, à la mort de la plante, sont déjà présents afin de contribuer à sa dégradation. Des fructifications peuvent alors être observées à leur surface, notamment celles appartenant à l'ordre des *Helotiales* et des *Xylariales*.

## Les champignons parasites

Le parasitisme suppose l'existence de deux organismes, le parasite, aux actions offensives et l'hôte, aux actions défensives. Les champignons parasites se composent de très nombreux genres et espèces qui ont évolué avec le temps et avec leurs hôtes (plantes herbacées, plantes ligneuses, insectes, araignées, champignons, mammifères, dont l'homme), en s'adaptant ou en contrant leurs stratégies de défenses. Ils n'ont cependant pas intérêt à une très forte virulence, bien que cela arrive, sans quoi ils s'autodétruiraient ! Comme tous les champignons, ce qu'ils recherchent, c'est de la nourriture, notamment des éléments carbonés, mais dans le cas du parasitisme, aux dépens d'un l'hôte vivant. Certains champignons sont strictement liés à un hôte, alors que d'autres sont plus ou moins ubiquistes. Leur mode d'introduction est triple. Certaines espèces, parfois grandes, que l'on peut notamment observer sur des arbres paraissant en bonne santé, s'introduisent, via leurs spores, par opportunisme, profitant d'une blessure ouverte. Ces espèces

sont des **saproparasites**, se situant entre les espèces *saprophytes* -qui se nourrissent de matières mortes- et les espèces strictement parasites. D'autres espèces pénètrent leurs hôtes en s'introduisant par les *stomates* des feuilles, ces pores microscopiques nécessaires aux échanges gazeux lors de la photosynthèse. Les spores tombées sur les feuilles germent et ces dernières profitent de ces minuscules orifices pour s'introduire. Le troisième moyen consiste, pour certaines espèces, à fabriquer, après la germination de la spore, un outil de pénétration des cellules des feuilles, l'**appressorium**, une hyphe aplatie, s'appliquant fortement, à partir de laquelle une petite tige d'infection se développe et pénètre dans l'hôte.



*Uredinale* sur les feuilles de la Petite Pinrenelle (*Sanguisorba minor*).

Photo : Dougoud

Ce sont souvent des champignons de petites dimensions qui sont la cause de maladies parasitaires. On peut nommer les **Pucciniales** (anciennement *Uredinales*), un ordre de Basidiomycètes comptant quelques 7000 espèces, 150 genres et 13 familles, qui s'en prennent à de très nombreuses plantes herbacées, arbustes et arbres. S'ils ne les font pas mourir, ils les affaiblissent et les enlaidissent en tachant leurs tiges, leurs feuilles ou leurs fruits, avec des conséquences économiques pouvant être importantes. Ces champignons portent souvent le nom de « rouilles ». Il est intéressant de relever que si certaines rouilles, dites **autoxènes**, effectuent leur cycle complet de développement sur la même plante, de nombreuses autres, dites **hétéroxènes**, accomplissent leur cycle complet en parasitant successivement plusieurs plantes.

Les **Ustilagomycètes** sont des basidiomycètes qui parasitent les graminées. On en dénombre quelque 70 genres et 1400 espèces. La plus connue chez nous est **Ustilago maydis** ou **Charbon du maïs**. Les parties attaquées sont souvent les ovaires des grains que le champignon déforme en excroissances tumorales. Les spores noires qu'elles contiennent font penser à du charbon, d'où le nom latin *Ustilago*. Cette espèce peut être consommée avant maturité. Elle réjouit le palais des mexicains où elle se consomme sous le nom de « *cuitlacoche* ou de *huitlacoche* ».



*Ustilago maydis* Photo : R. Dougoud



*Hymenoscyphus fraxineus* Photo : R. Dougoud

Depuis 1990, l'Europe est confrontée à la mort lente des *Frênes*, *Fraxinus excelsior* et *F. angustifolia*. Heureusement, quelques arbres semblent résister ! Le responsable de cette hécatombe est un petit Ascomycète venant d'Asie, **Hymenoscyphus fraxineus** et à sa forme asexuée, **Chalara fraxinea**. Le champignon, après avoir pénétré dans les tissus de l'arbre, provoque le flétrissement des rameaux, le dessèchement de l'écorce, qui devient orangée, l'apparition de nombreux gourmands et la pourriture du bois. L'arbre meurt en quelques années.

Un certain nombre de champignons, appelés *entomophytes*, infectent des insectes ou leurs larves et les tuent. Les espèces du genre ***Entomophthora*** jouent un rôle important dans la réduction naturelle du nombre de certains insectes, comme les mouches, les moustiques et les criquets. D'autres champignons, des genres ***Aspergillus***, ***Fusarium***, ***Penicillium***, etc., souvent assimilés à des moisissures, infectent d'autres insectes, à l'image du hanneton commun, limitant ainsi leur nombre.



*Entomophthora cf. muscae*

Photo : V. Ruiz-Badanelli



*Ophiocordiceps gracilis*

Photo : R. Dougoud



*Ophiocordiceps myrmecophila*

Photo : E. Stökli



*Ophiocordiceps unilateralis*

Photo internet



*Ophiocordiceps* sp. : Photo Internet

Les espèces du genre ***Ophiocordiceps***, soit environ 500 espèces, parasitent de nombreux insectes, chenilles, chrysalides, papillons, mouches, guêpes, sauterelles, etc., aussi des araignées et certains champignons. Le mycélium envahit l'animal et le tue pour s'en nourrir. Les divers champignons qui en émergent présentent parfois des formes surprenantes. Selon les espèces, ils mesurent de quelques millimètres à plus de 10 cm de haut.

La lutte biologique contre les insectes nuisibles, à l'aide de champignons ou combinée, se poursuit, notamment celle visant à éradiquer le paludisme.

## Quelques champignons comestibles (après cuisson)

En alimentation, on peut distinguer deux types de champignons, les comestibles et les utiles (moisissures nobles, levures) qui, bien sûr, sont aussi comestibles. Avec plusieurs millions de tonnes de champignons cultivés et sauvages commercialisés à travers le monde, ils revêtent un intérêt commercial et culinaire bien réel, qu'il s'agisse de grandes espèces ou d'espèces microscopiques. Le rôle des champignons dans l'alimentation est surtout limité à ses valeurs gustatives. Les apports nutritionnels sont relatifs, mais cependant non dénués d'intérêt. La composition nutritionnelle varie selon les espèces. Les analyses s'accordent à donner les moyennes suivantes, pour 100 g : 80-90 g d'eau ; 2 à 4 g de protéines, soit en proportion égale et même supérieure aux légumes, mais elles ne seraient pas toutes assimilables ; très peu de lipides, 0,3 à 1 g ; 3 à 10 g de glucides, souvent non assimilables ; des matières minérales, calcium 5 à 7 mg, phosphore 100 à 200 mg, potassium 300-500 mg ; magnésium 8 à 15 mg, sodium, 5 à 20 mg, ainsi que du fer et des oligo-éléments (du zinc, du cuivre, ... ; des vitamines A et substances connexes (dans les chanterelles surtout, sous la forme de carotènes), C, 4 à 9 mg, B3, 5 à 8 mg et B5, 2 mg, ainsi que quelques autres en très faible quantité. Les levures sont cependant riches en protéines et en vitamines.

La comestibilité des champignons ne se définit pas seulement par leur innocuité, ni simplement par le fait qu'ils seraient mangeables. Mais leur valeur culinaire, leur goût, leur odeur ou encore leur consistance sont aussi des critères limitant leur comestibilité. Sur les plus de 120'000 espèces connues, seuls quelques 250 macromycètes sont comestibles, s'y ajoutent des moisissures nobles et des levures comestibles. En Suisse, la liste des champignons sauvages et cultivés autorisés à la vente est limitée à quelque 115 espèces.

## Conseils pour la cueillette des champignons

La cueillette des champignons n'est pas ou n'est plus une nécessité pour se nourrir. Heureusement, les périodes de restrictions alimentaires où les champignons sauvages ont composé les repas de bien des familles ne sont plus d'actualité. Aujourd'hui, la cueillette des champignons est un loisir. D'aucuns disent qu'elle fait renaître en soi le vieil instinct du chasseur-cueilleur ! Peut-être ! Mais sans doute que le plaisir d'une balade, celui d'humer les odeurs de la forêt, d'écouter le chant des oiseaux, de prendre le temps d'admirer une fleur, un insecte, bref, de savoir s'immerger dans la nature, devrait privilégier la récolte.

Le résultat des études qui ont été conduites ici, dans la forêt de la Chanéaz (dont une partie est encore réserve protégée), indique que la cueillette ne nuit pas aux champignons. Il n'en est pas moins nécessaire d'avoir un comportement responsable envers eux. De simples mesures, comme de s'assurer d'avoir reconnu l'espèce comme comestible avant de la cueillir ou, si une espèce inconnue se trouve en nombre, de ne cueillir qu'un ou deux exemplaires pour une identification ultérieure, contribuent à leur protection. Les champignons ne sont-ils pas plus beaux sur leur pied et plus utiles dans la nature, que de finir lamentablement dans une poubelle ?

Les champignons sont en forte diminution ! A cela plusieurs raisons. Les pluies acides (conséquence de la pollution de l'air) influencent la nature des sols forestiers et herbeux, avec pour conséquence la souffrance des mycéliums et leur disparition. S'agissant des espèces croissant dans les prairies et pâturages, ce sont en plus les apports plus ou moins abondants de lisier et d'autres engrais qui tendent à les faire disparaître. Le réchauffement climatique, la diminution des précipitations, avec pour conséquence l'assèchement des sols, contribuent grandement à leur diminution, car pas d'humidité, pas de champignons ! Il faut enfin encore citer la diminution des biotopes comme les marais, les tourbières, les prairies humides et autres pressions exercées par les activités humaines.

Assez souvent, le récolteur se pose la question s'il faut couper ou arracher les champignons. En fait cela n'a pas grande importance du point de vue biologique. Par contre cela en a du point de vue pratique. En les arrachant, à moins de nettoyer la base des pieds, vous salissez vos champignons de terre et d'autres éléments qu'il sera difficile de nettoyer avant de les apprêter. Par ailleurs, les espèces présentées à l'expert contrôleur doivent être propres et en bon état. Si vous souhaitez déterminer ou faire déterminer une ou quelques espèces qui vous sont inconnues auprès d'un expert, il est conseillé de les déterrer soigneusement en conservant la base du pied intacte, celle-ci pouvant être importante pour l'identification. Ces espèces devront bien sûr être placées dans un contenant qui leur est réservé.

## Conseils pour éviter une intoxication

Faire vérifier l'entier de votre récolte par un expert en champignons est le meilleur moyen pour éviter une intoxication. Pour une espèce reconnue comestible, il y en a au moins un, voire plusieurs sosies vénéneux. Ne pas oublier non plus qu'un champignon n'a pas toujours la même couleur, à l'exemple de l'Amanite phalloïde, qui peut être blanche et être confondue, par exemple avec un Agaric comestible. Oui, les intoxications résultent le plus souvent d'une confusion entre espèces !

Vous trouverez un lieu de contrôle près de chez vous, ici : <http://www.vapko.ch/index.php/fr/>

Mais il serait faux de croire que les champignons comestibles ne puissent être toxiques. Des champignons mal conservés, trop âgés ou insuffisamment cuits, peuvent causer des intoxications. Il faut également compter avec les intolérances individuelles pouvant mettre en cause toutes les espèces ou seulement certaines d'entre elles. D'autre part, la chitine qui compose les parois des cellules est totalement indigeste. Les champignons sauvages sont susceptibles d'accumuler des substances indésirables (métaux lourds, produits phytosanitaires, éléments radioactifs, etc.) qu'ils trouvent dans l'environnement (sol, air, eau). Il est ainsi recommandé de ne pas récolter des champignons destinés à la consommation dans des endroits pollués (abords des décharges, des

routes et autoroutes, de certaines usines, des zones industrielles, des cours d'eau pollués, etc.). Les champignons sont des chimistes, ils contiennent tous, de manière innée ou par accumulation, des substances indésirables. Tous doivent être cuits au moins 15 min à 20 min. Certains comestibles pouvant être toxiques insuffisamment cuits. La consommation de champignons sauvages devrait se limiter à l'accompagnement de plats ou comme condiments. Des repas constitués exclusivement de champignons sauvages ne devraient être qu'occasionnels.

## Quelques mots de conclusion

La vie serait-elle possible sans les champignons ? Peut-être, mais elle serait certainement bien différente de celle que nous connaissons.

Vous avez pu découvrir, en raccourci seulement, à quel point les champignons sont importants pour votre environnement. Sans eux, pas ou peu de destruction de matières organiques, pas ou peu de formation d'humus, une faible croissance des plantes, pour certaines pas de croissance du tout, ni de moyen de défense pour nombre d'entre elles. Bien avant l'homme, les insectes ont su cultiver des champignons pour se nourrir et les ruminants ne sauraient se passer de certains d'entre eux pour digérer. Il ne s'agit là que d'exemples parmi d'autres. Alors sans champignons, serions-nous ici maintenant ? On peut en douter, tant ils sont omniprésents et tant leurs actions et interactions sont multiples dans les écosystèmes où notre espèce est apparue et vit.

Nous tendons souvent à oublier que notre quotidien ne serait pas le même sans les champignons ! Déjà pour les plaisirs de la table. Pensez qu'il n'y aurait pas de pain levé, pas de fromage à pâte persillée, ni de charcuterie fleurie, ni de sauce asiatique, et dans nos verres, pas de vin, ni de bière, ni autres boissons alcoolisées. Ainsi, grâce aux champignons, nous échappons à une certaine grisaille gastronomique!

De nombreuses substances médicamenteuses comme des antibiotiques, des anticancéreux, des analgésiques, etc., sont issues des champignons. Nous leur devons de très nombreuses vies ! L'industrie utilise également des dérivés chimiques de champignons, qui entrent dans la composition de matériaux de fabrication. Enfin, les champignons sont encore l'objet de nombreuses recherches dans le domaine médical, industriel et environnemental. Le potentiel de découvertes par les chercheurs reste très grand. En effet, le nombre de champignons actuellement connu n'a certainement pas été entièrement étudié par les chercheurs et il en reste un nombre bien plus important, estimé à plus d'un million, encore à découvrir et à étudier.

Notre environnement est en danger, espérons que nous parviendrons rapidement à prendre et à respecter les mesures pour le sauvegarder, afin que les champignons aussi, eux qui nous sont tellement nécessaires, puissent survivre pour le bien de tous les êtres vivants

\*\*\*

