

Le monde des CHAMPIGNONS

Marcel Lecomte

Texte publié, à leur demande, dans le bulletin de la Société Française de Microscopie, en avril 2023.

Ces organismes, longtemps ignorés par peur, à cause de leur discrétion ou de leur rôle apparemment inutile, font l'objet maintenant d'un regain d'intérêt tant pour le grand public (sans doute d'abord par intérêt gastronomique) que pour le monde scientifique qui au fil du temps découvre leur implication dans de multiples domaines de la recherche tant pure qu'appliquée.

Chapitre 1 : qu'est-ce qu'un champignon ?

C'est un être vivant qui peut être mono- ou pluricellulaire, qui ne se déplace pas, et qu'on ne peut assimiler à un végétal car il ne possède pas de chlorophylle..

Pour justifier l'appellation de « champignon », il faut répondre à 7 critères :

+++ Être **Eucaryote** : la majorité du matériel génétique cellulaire est contenu dans un noyau constitué par une enveloppe nucléaire (un « vrai noyau »), par opposition aux procaryotes. C'est le cas des Animaux, des Champignons et des Plantes. Il y a un (des) noyau(x) bien individualisé(s) dans chaque cellule.

+++ Être **Hétérotrophe** : se dit des espèces qui prélèvent dans le milieu extérieur les substances organiques dont elles ont besoin, car elles ne peuvent réaliser la synthèse d'éléments minéraux, notamment du carbone, faute de pigments assimilateurs (chlorophylle). Les Végétaux sont dits autotrophes.

+++ Être **Absorbotrophe** : utiliser pour se nourrir une sorte de digestion extracellulaire suivie de l'absorption des nutriments (par opposition aux Animaux qui pratiquent l'ingestion, et aux Végétaux qui pratiquent l'assimilation).

+++ Posséder une **paroi cellulaire chitineuse** et non cellulosique, comme celle des Végétaux. La chitine est un sucre complexe (un polysaccharide azoté) ; c'est le principal composant structural de soutien des parois cellulaires des Champignons, des Exosquelettes d'arthropodes comme ceux des Crustacés et des Insectes, ou encore des becs de Céphalopodes. C'est un matériau résistant et souple, qui durcit lorsqu'elle est associée à du carbonate de calcium.

+++ Être **Thallophyte** : présenter un appareil végétatif ramifié, diffus et tubulaire (thalle), qui est constitué de filaments appelés hyphes. Cette qualification est également appliquée aux Algues et aux Lichens.

+++ Être **Cryptogame** : la reproduction n'a pas lieu dans des organes floraux bien évidents ; les organes de fructification sont peu apparents ; la reproduction se fait au moyen de spores.

+++ Présenter des **spores non flagellées** (ou exceptionnellement uniflagellées), en tous cas jamais biflagellées.

Chapitre 2 : la classification



Photo M. Lecomte 2015 ©

L'être humain se sent le besoin de tout trier et tout ranger dans des tiroirs.

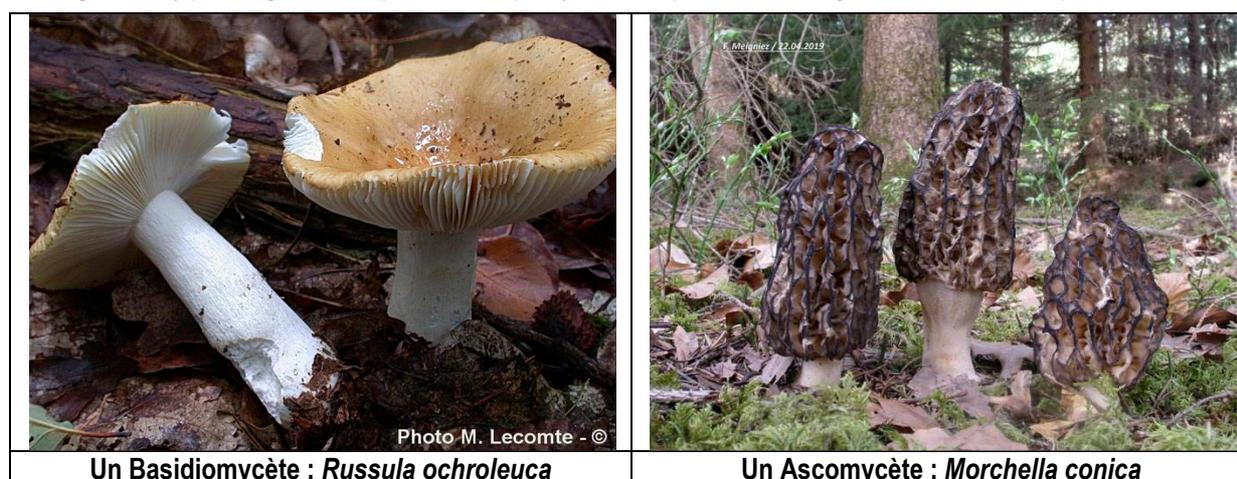
Aussi, les champignons (sensu stricto - au sens strict) ont fait l'objet d'une classification très précise et constituent un Règne particulier, les **Fungi** (voir le tableau en page suivante).

Prenons l'exemple de cette belle espèce dont le nom scientifique est *Sarcoscypha coccinea* et le nom vernaculaire Pézize écarlate. Elle est courante dans nos régions, en hiver et au début du printemps et se trouve sur des bois moussus au sol.

Pour la forme, il nous paraît utile de rappeler que conventionnellement, **le nom de genre prend toujours une majuscule, et que le nom d'espèce ne prend jamais de majuscule**. Dans un texte, il convient également d'inscrire les noms latins en italique. C'est valable pour toutes les espèces de tous les Règnes.

La classification		
Place dans l'échelle hiérarchique	Radical de terminaison	Exemple : la pézize écarlate
Règne	-	Fungi
Division	-MYCOTA	Ascomycota
Sous-division	-MYCOTINA	Pezizomycotina
Classe	-MYCETES	Pezizomycetes
Sous-classe	-MYCETIDAE	Pezizomycetidae
Ordre	-ALES	Pezizales
Sous-ordre	-INEAE	-
Famille	-ACEAE	Sarcoscyphaceae
Sous-famille	-OIDEAE	-
Tribu	-EAE	-
Genre & espèce	-	<i>Sarcoscypha coccinea</i>

Les principaux représentants sont les **Basidiomycètes** (spores générées par des basides) et les **Ascomycètes** (spores générées par des asques) ; cela représente à ce jour +/- 152.000 espèces.



Un Basidiomycète : *Russula ochroleuca*

Un Ascomycète : *Morchella conica*

Autrefois, les champignons s.s. (sensu largo - au sens large) comprenaient également les **Myxomycètes** (+/- 1.100 espèces) qui sont rangés aujourd'hui dans les **Protozoa**, du fait qu'ils ne correspondent pas complètement aux sept critères définis ci-dessus (en effet, ils possèdent un stade « plasmode », qui correspond à une seule cellule non fragmentée, contenant de nombreux noyaux, qui se déplace, et des zoospores munies d'un cil vibratile).

Anciennement, on y rangeait également des organismes présentant des cellules avec deux flagelles, qui sont des parasites microscopiques se manifestant notamment par des taches sur les végétaux, comme les **Mildious** par exemple ; ils sont actuellement rangés dans l'embranchement des **Oomycota**, du Règne **Chromista**.

Seul un petit groupe d'espèces aquatiques, possédant des cellules uniflagellées, subsiste dans les Fungi : ce sont les **Chytridiomycota** (+/- 1.100 espèces).

Chapitre 3 : des approches diverses

L'étude des champignons s'appelle la mycologie ! Un mycophage les mange... un mycophile les aime... un mycologue les étudie !

Des approches diverses de la MYCOLOGIE

+++ Aspect **SCIENTIFIQUE** → aller vers une connaissance réelle des espèces.

+++ Aspect **ÉCOLOGIQUE** → les champignons participent au recyclage des déchets organiques, qu'ils soient d'origine animale ou végétale ; des études en cours sont très prometteuses quant à la dégradation de certains plastiques et la revalorisation de sols pollués par des produits pétroliers.

+++ Aspect **PRATIQUE** → ils sont utilisés pour la fabrication du pain, de la bière, du fromage, et sont indispensables dans notre quotidien.

+++ Aspect **ÉSOTÉRIQUE** → source de mystérieux et de légendes diverses ; penser aux sorcières de Salem dont l'histoire est liée à l'ergot du seigle ; nombre de sorciers et de chamanes utilisent les vertus psychotropes des champignons pour générer leurs visions.

+++ Aspect **MÉDICAL** → ils servent à la fabrication de nouvelles molécules de synthèse (médicaments, antibiotiques) ; voir la découverte de la pénicilline.

+++ Aspect **ÉCONOMIQUE** → production de certaines espèces en très grande quantité pour la consommation et la bio-remédiation ; la culture de certaines espèces est parfaitement maîtrisée ; le shitaké (*Lentinula edodes*) qu'on rencontre sur tous les marchés, fait l'objet d'une production de près de 200.000 tonnes de par le monde.

+++ Aspect **GASTRONOMIQUE** → en France, la cueillette des champignons des bois est ancestrale, et connaît, suite à un effet de mode, un regain très important depuis 30 ans. Il y a beaucoup à dire sur ce sujet car cela a provoqué nombre d'intoxications et plusieurs décès suite à une méconnaissance des critères de reconnaissance des espèces dangereuses. N'oublions pas ce précepte : « Tous les champignons sont comestibles, mais certains, une seule fois ! ».

On me pose souvent la question de savoir pourquoi je ne mange pas de champignons. L'explication est toute simple si vous consultez le document ci-dessous.

Champignons vendus sur les marchés suisses						
Xxx = normes tolérées dans l'alimentation						
Xxx = valeurs relevées dans un laboratoire agréé et spécialisé						
		Cadmium	Plomb	Mercure	Arsenic	radiocésium
Es. cultivées	Ch. de Paris	0,5 mg/kg	1	0,5	...	600 Bq/kg
		0,30 – 0,43	0,08 – 0,7	0,05 – 0,19	0,05 – 1,5	< 10
	Pleurote	5	1	0,5		600
		0,23 – 2,44	0,1 – 0,3	0,06 – 0,13	< 0,10	< 10 - 30
	Shitake	5	1	0,5		600
	0,19 – 1,6	<0,1–0,25	< 0,06	0,05 – 0,40	< 10 - 30	
Es. sauvages	Normes	0,5 mg/kg	1	0,5	...	600 Bq/kg
	Cèpes	1,65 – 2,20	1,8 – 3,50	1,55 – 3,32	0,40 – 0,62	45 -60
	Chanterelle	0,5 – 1,25	0,18 –0,35	0,05 - 0,15	0,08 – 0,36	110
	Pied de mouton	0,10 – 0,65	1,7	1,65	0,45	95
	Agaric des prés	0,68 – 3,2	0,5 – 2,70	3,8 – 14,6	1,82 – 2,3	< 10
	Agaric des bois	18 – 54	2,10 – 5	6,7	2,35	20
	Tr. St Georges	1,7 – 2,58	1,1 – 3,25	6,3 – 28	0,54 – 2,51	35

Cadmium : très toxique et cumulatif dans l'organisme (reins) → effet doublé par le tabac

Plomb : très toxique à petites doses sur une longue période ; cumulatif dans l'organisme (os et dents) → vecteurs : les carburants → ne pas cueillir des champignons en bordure de route, comme le Coprin chevelu p.ex.

Mercure : neurotoxique très puissant ; certains Gastéromycètes (Vesse de loup) le transforment en méthyle mercure, encore trois fois plus dangereux. Dose hebdomadaire tolérable de Hg : 0,005 g/kg, soit 0,3 g (femme de 60 kgs) ou 0,4 g (homme de 80 kgs).

Méthyle mercure → dose hebdomadaire tolérable de Hg : 0,0016 g/kg, soit 0,096 g (femme de 60 kgs) ou 0,128 g (homme de 80 kgs).

Arsenic : cancérigène, même à très petite dose ; dose létale = 0,763 g/kg, soit 45 g (femme de 60 kgs) ou 61 g (homme de 80 kgs) ; norme autorisée dans l'eau potable : 0,001 g/litre.

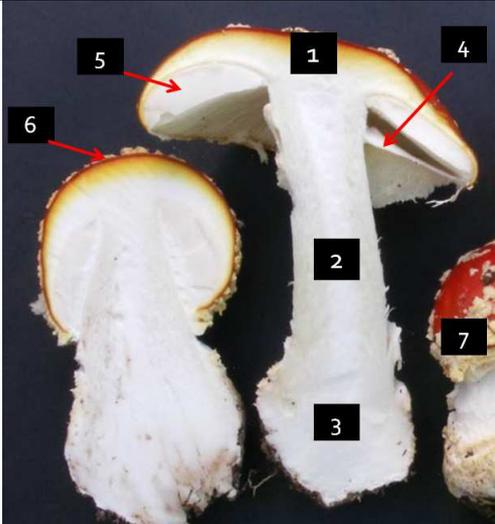
Césium 134 et 137 : isotopes radioactifs résultant des essais militaires et de Tchernobyl (1986) ; en 1988, *Laccaria amethystina* (le Laccaire améthyste), *Cantharellus tubaeformis* (la Chanterelle en tube), *Xerocomus badius* (le Bolet bai) dépassaient très largement 600 Bq/kg → se méfier de tous les champignons venant de l'Est. La durée de vie des isotopes du Césium 137 est de 30 ans.

Chapitre 4 : les champignons et le microscope

Il faut savoir que maintenant, le microscope est devenu un outil indispensable pour la détermination des différentes espèces, car l'observation macroscopique atteint très vite ses limites et peut générer nombre de confusions. Quand nous avons tout observé (taille, couleur, odeur, saveur, biotope), il faut alors se tourner vers le microscope.

Nous allons d'abord nous intéresser aux champignons les plus classiques, qui nous sont les plus familiers, c'est-à-dire ceux qui sont munis d'un pied central et d'un chapeau sous lequel on trouve des lames. Je vous propose un petit tour d'horizon des différents examens à réaliser.

Prenons comme exemple une des espèces les plus communes qui fait l'émerveillement des observateurs qui le rencontrent, et des enfants, qui l'assimilent aux aventures des Schtroumfs.

 <p style="text-align: right;">Photo M. Lecomte</p>	
<p>Nom scientifique : <i>Amanita muscaria</i> (L. : Fr.) Lamm., 1783. Nom vernaculaire : Amanite tue-mouches.</p> <p>Le nom latin est toujours constitué d'un binôme : le genre qui prend une majuscule et l'espèce (jamais de majuscule). Les abréviations qui suivent désignent les personnes qui l'ont nommé (L. pour Linné), puis l'ont revu et amélioré sa connaissance. 1783 est la date de publication de sa description scientifique, qu'on appelle une diagnose.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chapeau 2. Pied 3. Volve (bout épaissi du pied) 4. Anneau 5. Lames 6. Cuticule (c'est la peau du chapeau) 7. Flocons du voile

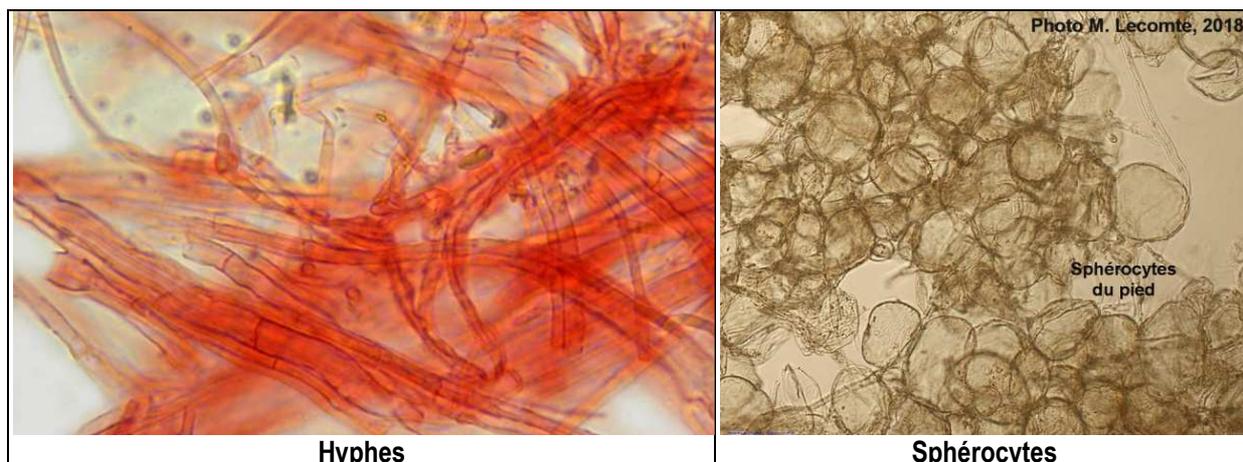
↓ Le mycélium

 <p style="text-align: right;">Photo M. Lecomte ©</p>	 <p style="text-align: right;">Photo M. Lecomte ©</p>
<p style="text-align: center;">Mycélium d'<i>Agrocybe rivulosa</i></p>	<p style="text-align: center;">Rhizomorphes d'<i>Armillaria tabescens</i></p>

C'est la partie peu visible ou invisible du champignon. Il est caché dans le sol ou sous l'écorce (pour les espèces lignicoles). Il est constitué de filaments blanchâtres : les **hyphes**, dites génératrices, cloisonnées, où chaque cellule contient un noyau et du cytoplasme. Parfois ces hyphes se regroupent pour former des cordons beaucoup plus épais et bien visibles sous l'écorce des arbres atteints (certains Armillaires sont des parasites virulents des feuillus et des conifères). Lorsqu'il se trouve en situation de stress suite à une longue période de sécheresse p. ex., il va réagir au premier apport d'humidité conséquente et de chaleur en générant des fructifications appelées sporophores (ce que nous appelons

« champignons »). Ceux-ci vont développer une partie fertile appelée hyménium, constituée de lames pendantes, qui à maturité, donneront naissance des spores qui assureront la reproduction sexuée.

↓ La chair du champignon (pied, chapeau, lames)



Elle est généralement constituée d'**hyphes** qui sont des sortes de tubes cloisonnés, à croissance apicale, accolés les uns aux autres jusqu'à former les divers éléments constituant le sporophore. Il faut savoir que quasi toutes les parties du champignon sont hyalines ou semi-transparentes, et difficilement observables par manque de contraste. Aussi, on va utiliser des colorants divers afin d'accentuer le contraste (ici, le rouge Congo SDS).

Mais parfois la chair est constituée d'éléments +/- globuleux, appelés sphérocytes, qui lui confèrent une consistance cassante, comme un bout de craie, surtout au niveau du pied. Cela fait penser à la nature granuleuse de la frigolite (polystyrène expansé). C'est le cas des Russules, des Lactaires et en moindre partie, des Amanites.

↓ Le pied



Il est très souvent central et peut porter divers éléments très utiles pour la détermination, comme un **anneau** (qui peut avoir une nature microscopique très particulière). Il peut aussi se terminer par une excroissance qu'on appelle une **volve**, soit +/- bulbeuse, soit membraneuse et longuement engainante.

L'anneau et les flocons vélaire des amanites contiennent des cellules particulières, qui leur sont typiques, et de formes diverses, subglobuleuses, globuleuses ou allongées, appelées **acrophysalides**. → Ici, coloration à la phloxine B alcoolique.



↓ L'hyménium



Lames d'un Agaric



Lames d'un Lactaire

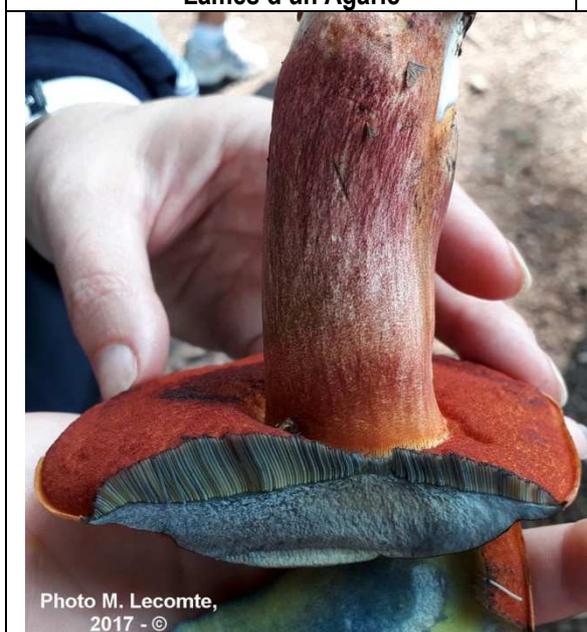


Photo M. Lecomte,
2017 - ©

Tubes et pores chez un Bolet



Photo F. Draye - ©

Plis anastomosés chez une Chanterelle



Photo M. Lecomte - ©

→ les aiguillons chez le Pied-de-mouton

L'hyménium est sans doute la partie la plus importante du sporophore, car c'est là que va s'effectuer le processus de reproduction avec la formation de basides, qui vont générer des spores, qui seront de polarité négative ou positive ; ces dernières, lorsqu'elles seront placées dans des conditions propices à la germination, donneront naissance à des mycéliums primaires.

Chez les Basidiomycètes, l'hyménium va se présenter sous 4 formes :

+++ Les **lames**, qui sont souvent séparées par des

lamelles et des lamellules. Elles sont de différentes couleurs, ce qui permet de caractériser différents Genres : les Agarics ont des lames roses, les Coprins ont des lames noires, les Amanites ont des lames blanches (une exception à lames orange).

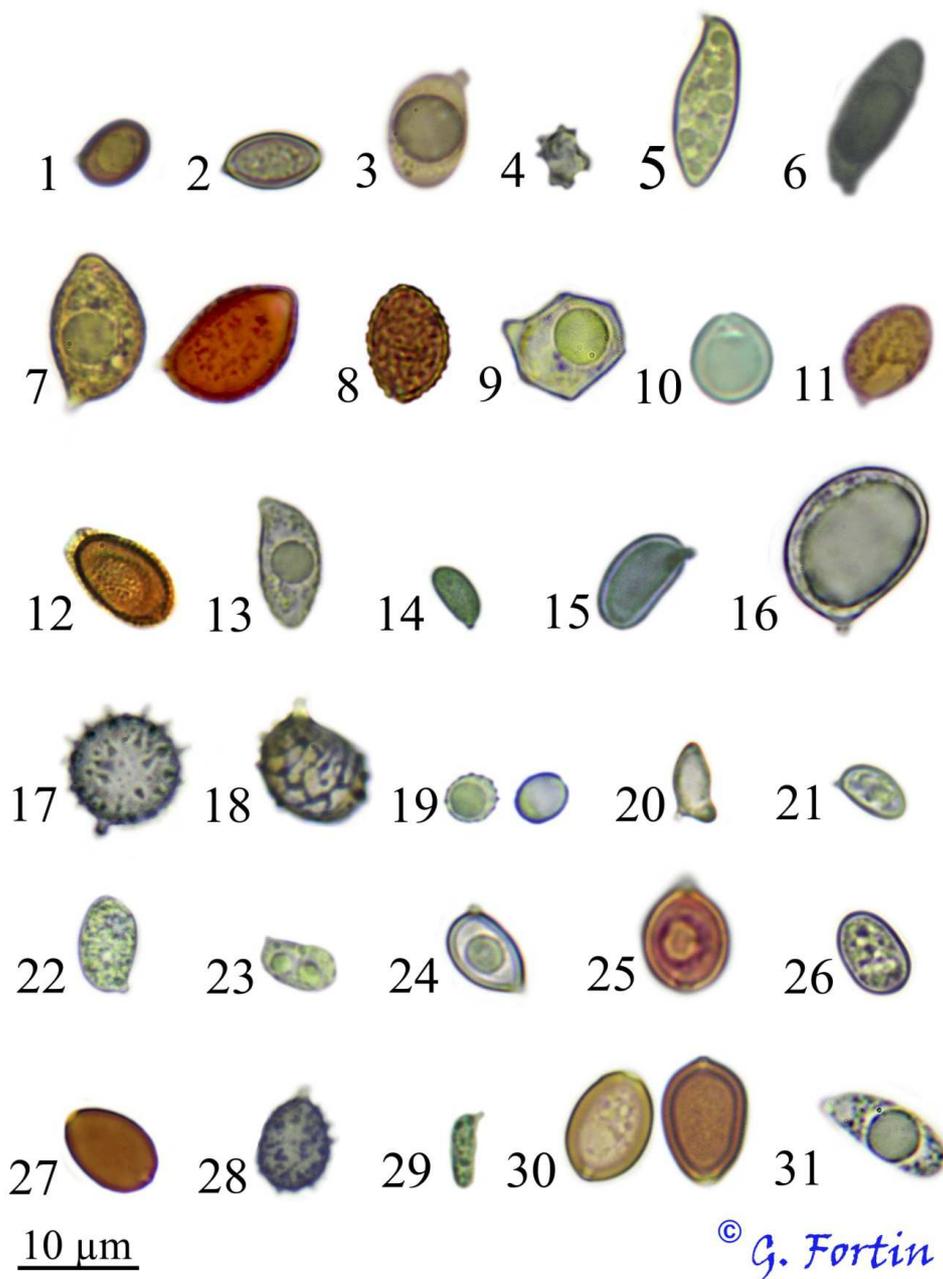
+++ Les **tubes** sont l'apanage des Bolets au sens large, et des Aphylophorales (dont les Polypores). Ce sont des structures tubulaires creuses, terminées par un pore, qui contiennent les basides.

+++ Les **aiguillons** se rencontrent notamment chez les Pieds-de-mouton.

+++ Les **plis** des Chanterelles sont des sortes de lames, céréuses, épaisses, qui ne plient pas sous le doigt, et sont souvent anastomosées (fourchues et reliées entre-elles).

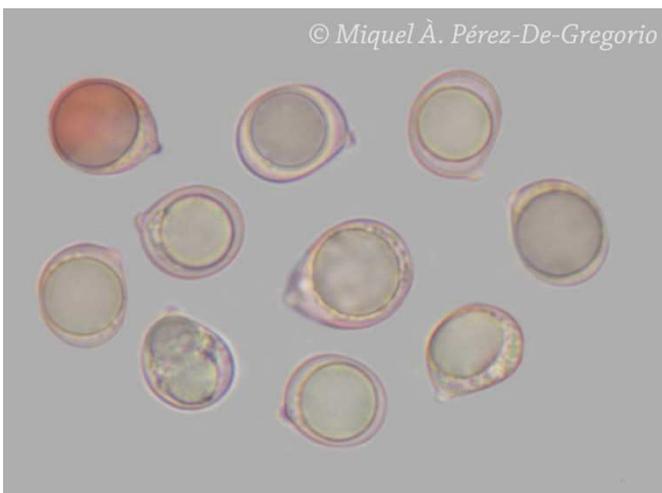
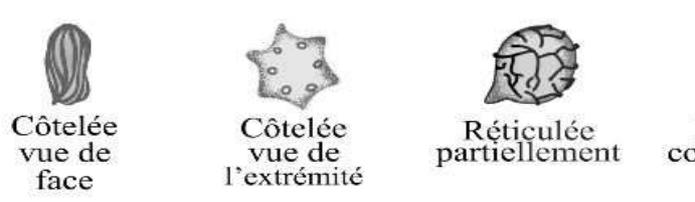
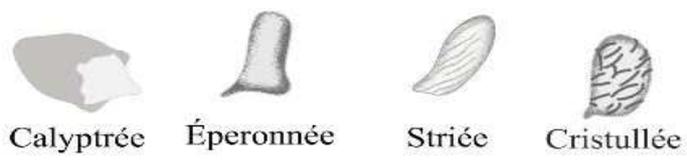
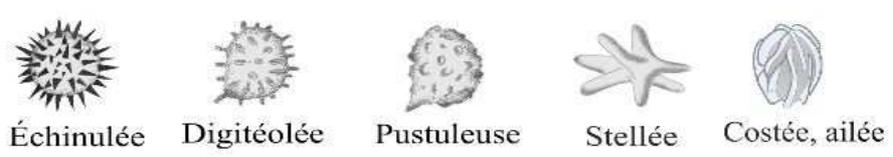
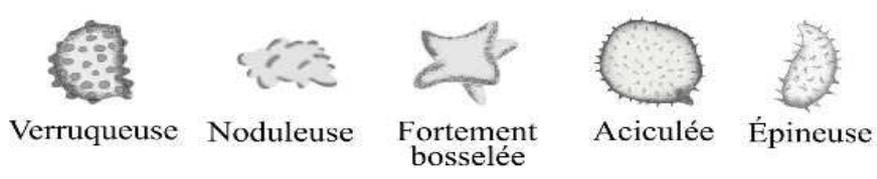
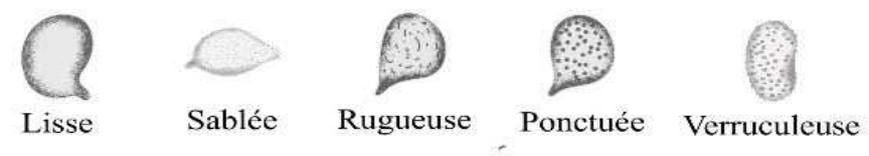
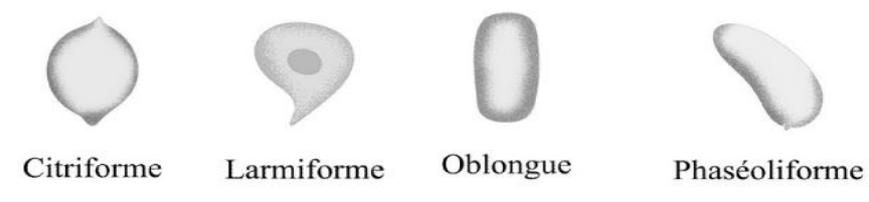
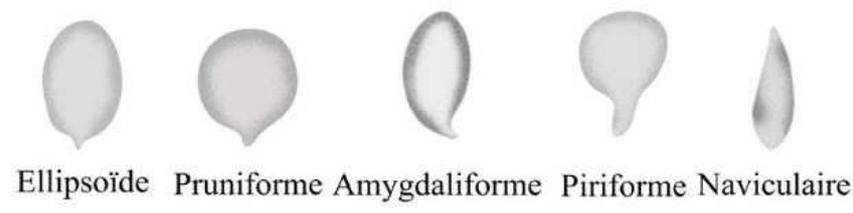
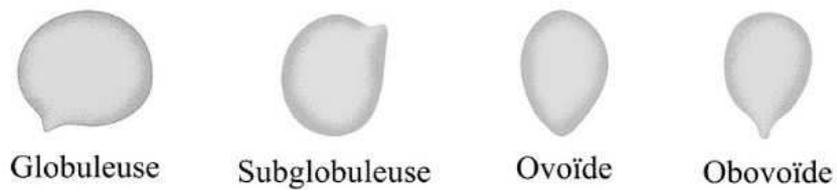
↓ Les spores

Modèles de référence pour la forme de quelques spores parmi les Genres les plus communs.



La dimension des spores est à l'échelle.

1- *Agaricus bisporus*. 2- *Agrocybe praecox*. 3- *Amanita* sp - section *Vaginatae*. 4- *Boletopsis grisea*. 5- *Boletus* sp. 6- *Cerioporus squamosus*. 7- *Cortinarius caperatus* (à gauche ammoniacque, à droite, melzer). 8- *Cortinarius uliginosus*. 9- *Entoloma rhodopolium*. 10- *Fomitiporia* sp. 11- *Galerina marginata*. 12- *Ganoderma resinaceum*. 13- *Gomphus clavatus*. 14- *Gymnopus* sp. 15- *Gyroporus cyanescens*. 16- *Hymenopellis furfuracea*. 17- *Laccaria* sp. 18- *Lactarius deterrimus*. 19- *Lentinellus* sp. 20- *Lepiota cristata*. 21- *Lepiota* sp. 22- *Lepista irina*. 23- *Lepista nuda*. 24- *Leucoagaricus leucothites*. 25- *Leucocoprinus bimbaumii*. 26- *Pluteus cervinus*. 27- *Psathyrella* sp. 28- *Russula* sp. 29- *Schizophyllum commune*. 30- *Stropharia rugosoannulata* (à gauche ammoniacque, à droite, melzer). 31- *Tricholoma* sp.



← Spores d'Amanite avec une grande guttule

Les **spores** affichent une multitude de formes et d'ornementations. Tout cela va bien évidemment servir à l'identification des champignons et à leur classification.

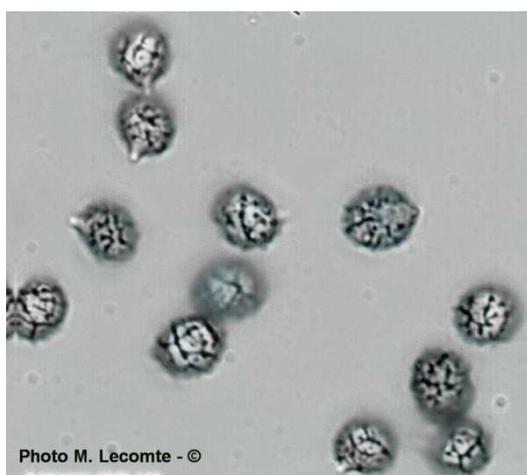
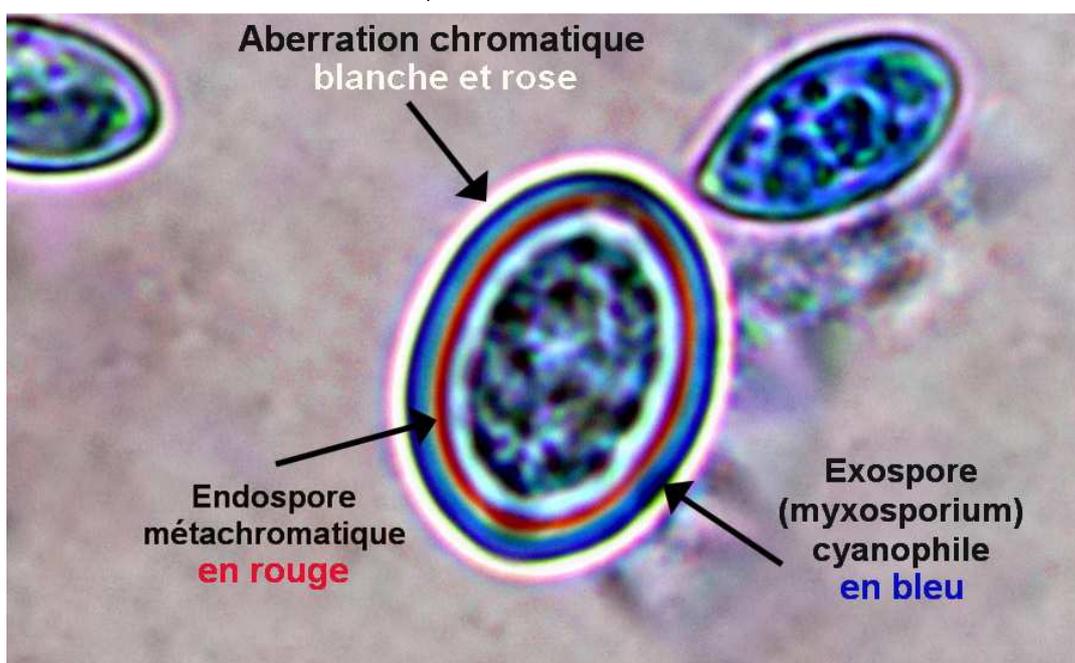
Leur taille moyenne varie généralement entre 6 à 15 microns de long et 4 à 8 microns de large ; leur observation nécessite donc l'utilisation d'un grossissement x1000 (combinaison d'un oculaire 10x et d'un objectif 100x).

Trois éléments vont être primordiaux et vont retenir toute notre attention !

+++ **Le cytoplasme** de la spore : il peut contenir des vacuoles (éléments de stockage des déchets), des gouttelettes huileuses, des guttules, des corps réfringents.

+++ **La paroi** elle-même. Elle est constituée en général de 3 couches : l'exospore, la périspore et l'endospore. Sous l'action du bleu coton lactique, l'exospore de certaines spores va se colorer en bleu profond ; alors, elles seront qualifiées de cyanophiles. Si c'est le cytoplasme qui se colore en bleu très marqué, on parlera d'ultra-cyanophilie.

Pour d'autres, et sous l'action du bleu de crésyl appliqué à chaud, l'endospore va se colorer en rouge ; on parlera alors d'une coloration métachromatique. (si du bleu colore en rouge → métachromasie ; si du bleu colore en bleu → orthochromasie).

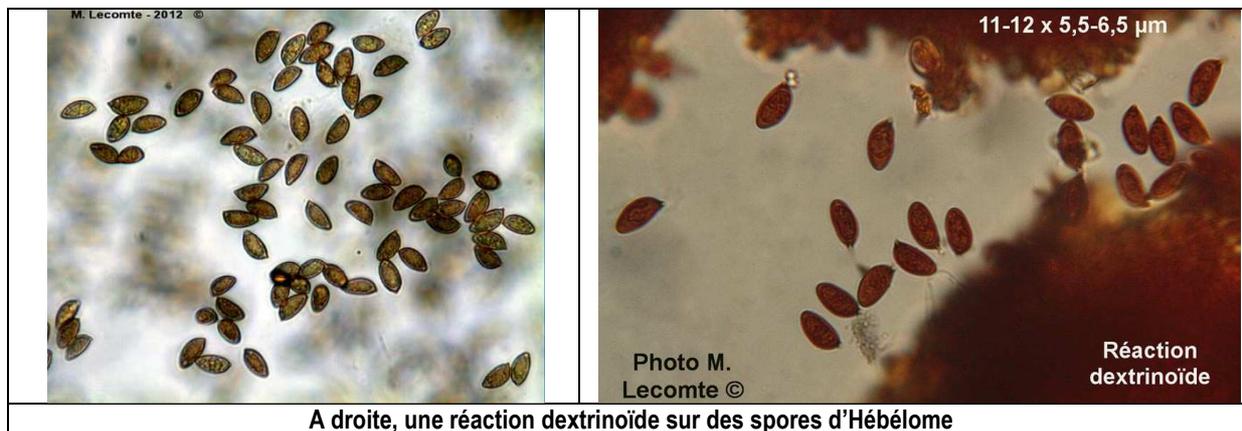


+++ **L'ornementation de la paroi externe.**

Elle se présente sous forme de verrues, d'épines, de crêtes, d'ailes. L'utilisation de colorants précis ou de réactifs iodés permettra de s'orienter vers différents genres.

Dans l'Ordre des Russulales (Russules & Lactaires), on va utiliser le réactif de Melzer qui va faire réagir les épines ou les verrues sporales en bleu noirâtre. On dit alors qu'elles amyloïdes. C'est l'iode contenu dans le réactif qui réagit vivement avec l'ornementation qui a une composition chimique à base de sucres complexes. Si on les observe dans l'eau, cette ornementation est quasi invisible.

Chez d'autres espèces, les Hébélomes notamment, le melzer va provoquer une réaction dextrinoïde. Cela signifie que le cytoplasme des spores va se colorer en rouge brique ou en brun-orange.



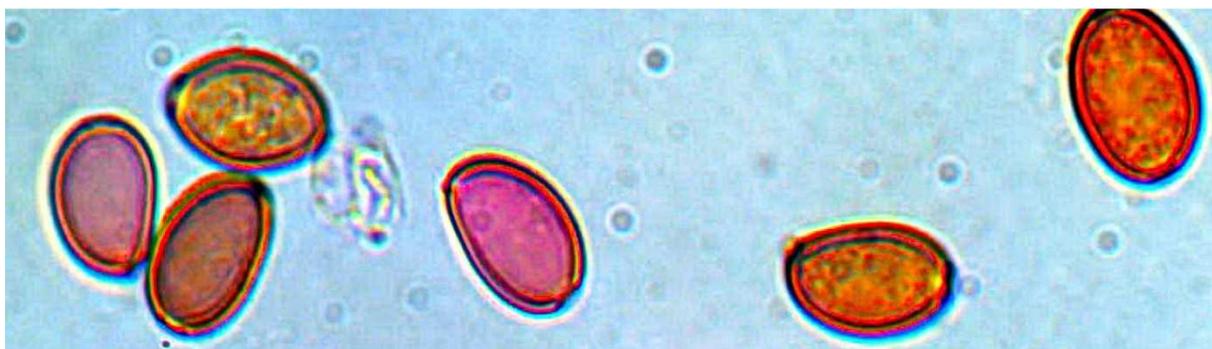
A droite, une réaction dextrinoïde sur des spores d'Hébélome

↓ La sporée



Pour l'obtenir, il suffit simplement de poser un chapeau frais sur une lame porte-objet dans un milieu humide (une boîte de Pétri fermée) et d'attendre quelques heures.

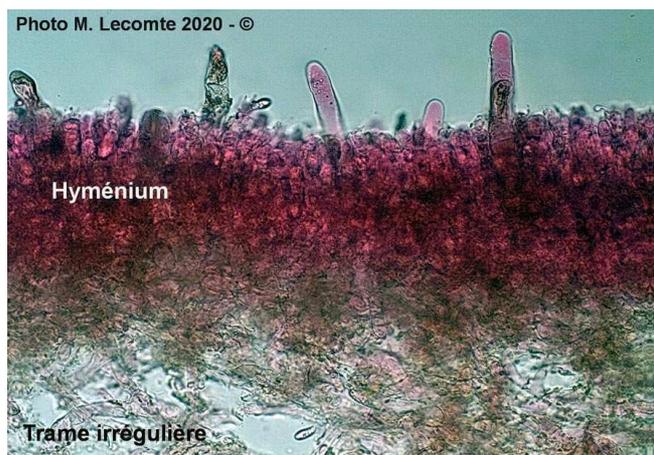
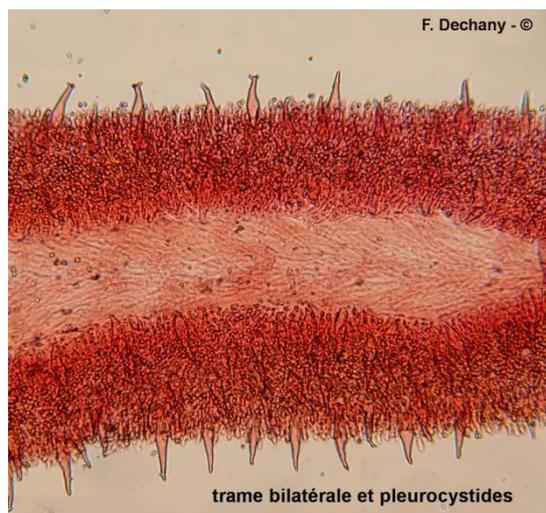
Cette opération est capitale pour pouvoir apprécier exactement la couleur de la sporée de masse. Exemple : une spore examinée individuellement peut paraître blanche ou hyaline, alors que la sporée sera jaune ou rose.



Si on soumet des spores à l'action de la phloxine B alcoolique (colorant cytoplasmique), on va pouvoir trier de suite les spores matures et les non-mûres. La paroi d'une spore en formation reste perméable et laisse passer le colorant. La paroi d'une spore mûre devient imperméable et elle garde sa couleur naturelle (brun clair dans le cas présent) ; on parle alors de spore de résistance, capable de passer l'hiver au sol, dans le froid et l'humidité. Ce sont ces dernières qui vont servir à relever des mesures, qu'on donne au $\frac{1}{2}$ micron prêt, voire même au $\frac{1}{10}$ ^{ème}, si on utilise un logiciel de mesure.

↓ La trame hyméniale

La mise en évidence de cette structure est essentielle, car elle constitue un élément de détermination dans nombre de clés dichotomiques. Elle nécessite l'utilisation du microtome de Ranvier et d'un dispositif spécial permettant de réaliser des coupes satisfaisantes, de l'ordre de 10—15 microns d'épaisseur.



◀ ▲ voici deux coupes transversales dans une lame. Elles comportent 3 éléments essentiels :

- + La **trame** centrale qui peut présenter diverses formes. . A gauche, elle est dite « en arêtes de poisson », et « irrégulière » à droite.
- + La **couche hyméniale**, qui est constituée d'hyphes dont les extrémités vont générer des éléments de natures diverses.
- + Ici, on peut observer des éléments de remplissage appelés « **cystides** » ; comme elles sont de grande taille et qu'elles dépassent largement la surface de l'hyménium, on les appelle des **macrocystides**.



◀ A la surface de l'hyménium, on va trouver, parmi les cystides, des éléments appelés « **basides** ». Elles sont couronnées par des aspérités nommées stérigmates, qui sont généralement au nombre de 4. Mais comme on les observe au grossissement x1000, le manque de profondeur de champ fait qu'on n'en voit généralement que deux à la fois.

Chaque stérigmate est en contact direct avec le cytoplasme de la baside, et au bout de chaque élément, une spore va se former jusqu'à maturité. Ensuite, elle se détachera pour entreprendre sa tâche de reproduction.

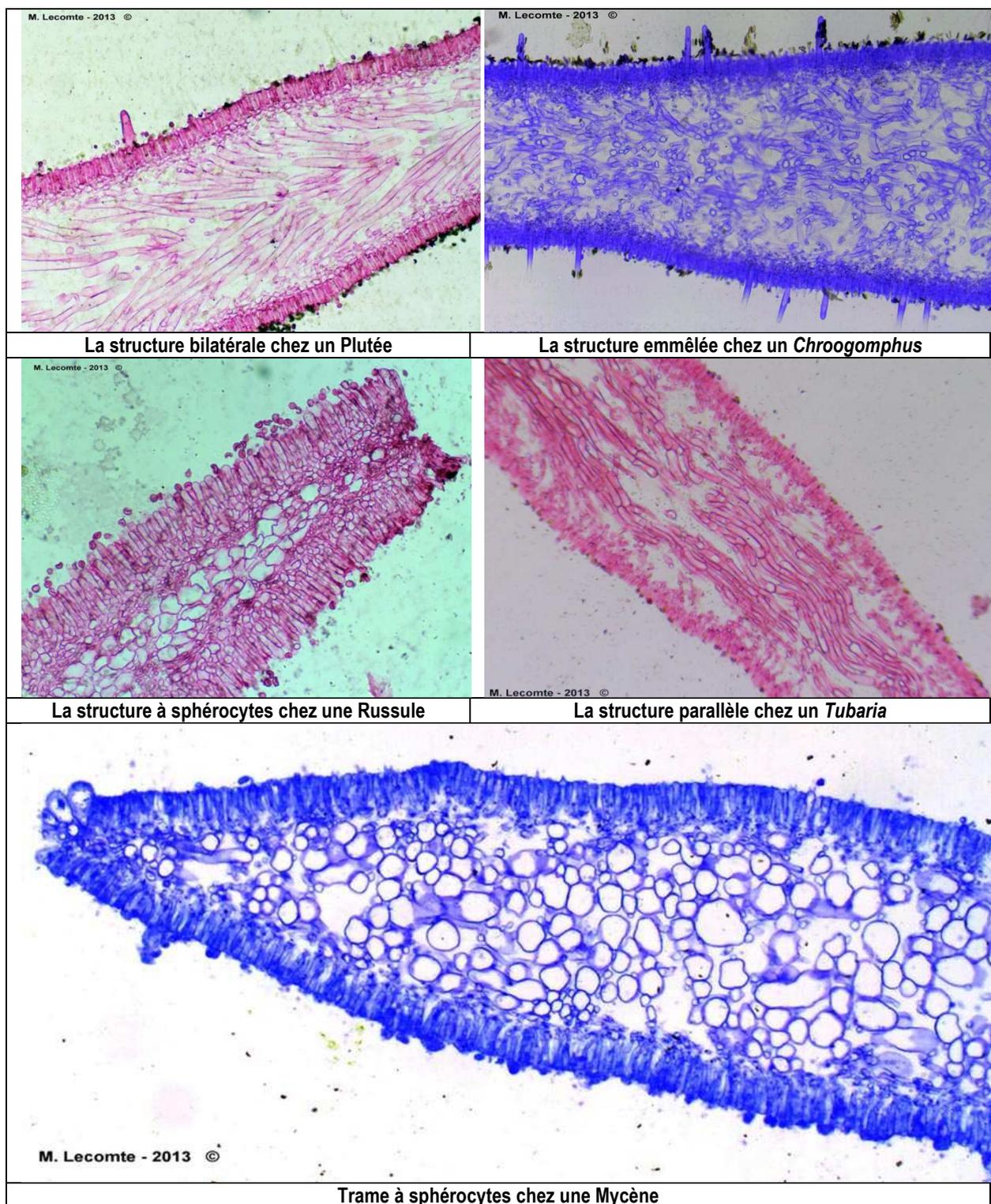
► Ici, des basides tétrasporiques. Parfois, elles ne portent que 2 spores, et sont dites bisporiques.



◀ une **structure emmêlée** chez une Psathyrelle.

Le microtome de Ranvier possède ses limites, et nous nous sentions le besoin de réaliser des coupes plus fines, de l'ordre de 5 µm. il fallait donc alors passer à du matériel plus performant, à savoir le microtome de Minod. La réalisation de ces coupes nous a posé un problème majeur, car l'inclusion classique dans la paraffine s'est montrée décevante au possible à cause de la nécessité impérieuse

de déshydrater. Nous nous sommes donc tournés vers l'inclusion dans la résine, selon un procédé complexe, très chronophage, nécessitant l'utilisation d'une étuve à 70°C, mais qui donne ces résultats époustouflants et inégalés.



Nous espérons qu'à travers de ce premier texte et des diverses photos (réalisées pour votre information avec une caméra Deltapix Infinity, montée sur un microscope trinoculaire Zeiss Axioscope A1), nous avons réussi à vous intéresser quelque peu à la mycologie, malgré l'attrait incontestable des Diatomées.

Nous remercions vivement les membres de l'AMFB, pour le prêt de certaines de leurs photos illustrant ce modeste travail.