



Les cahiers de
la biodiversité

PACES (UE 7, UE spécifique Pharmacie)

Pharmacie

Biologie

Capes-Agrégation

Biodiversité et évolution du monde fongique

David Garon, Jean-Christophe Guéguen



Préface de
Jean-Philippe Rioult

Illustrations de
Jean-Christophe Guéguen

Les cahiers
de la biodiversité

Biodiversité et évolution du monde fongique

David Garon
Jean-Christophe Guéguen



Préface de Jean-Philippe Rioult

Illustrations : Jean-Christophe Guéguen

Dans la même collection :

Biodiversité et évolution du monde vivant, D. Garon, J.-C. Guéguen et J.-P. Rioult
2013, ISBN : 978-2-7598-0838-0

Biodiversité et évolution du monde végétal, D. Garon et J.-C. Guéguen
2014, ISBN : 978-2-7598-1093-2

Cet ouvrage n'est pas un guide de détermination des champignons et ne peut en aucun cas permettre leur identification.

Les comestibilités mentionnées sont indicatives et dans tous les cas, avant de consommer des champignons, il est indispensable de faire vérifier vos récoltes par un mycologue confirmé.

Ni les auteurs, ni l'éditeur ne sauraient être tenus responsables d'intoxications survenues suite à une consommation de champignons ne respectant pas ces consignes de vigilance.

Illustration de couverture : *Boletus satanas* et portrait de Fleming, dessin de J.-C. Guéguen.

Figure quatrième de couverture : Grenouille sur macromycète, dessin de J.-C. Guéguen.

Photographies : D. Garon (exceptés lichen sur rocher : J. Boustie ; *Aspergillus carbonarius* : L. Sage ; *Cordyceps militaris* et *Elaphocordyceps capitata* : J-Ph. Rioult ; *Cordyceps tuberculata* : Dave Shorten)

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-1761-0

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Les auteurs

David Garon est docteur en pharmacie diplômé de la Faculté de Pharmacie de Grenoble et Professeur de botanique, mycologie et biotechnologies à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques de l'Université de Caen. Il enseigne la biodiversité, les sciences végétales et fongiques. Ses travaux de recherche en santé-environnement ont d'abord porté sur la biodépollution de sols contaminés puis il s'est orienté vers l'étude de l'écologie, des moisissures, de leur diversité et de la toxicité de leurs métabolites secondaires.

Jean-Christophe Guéguen est docteur en pharmacie, diplômé de la Faculté de Pharmacie Paris V René Descartes et pharmacien industriel. Il a travaillé sur la recherche de substances naturelles (microbiennes, végétales et animales) d'intérêt pharmacologique. Il est conférencier dans plusieurs universités où il enseigne la chimie des substances naturelles et la biodiversité. Il est auteur, co-auteur et illustrateur de plusieurs ouvrages sur la botanique, les plantes médicinales et les plantes à parfum.



À droite : Jean-Christophe Guéguen.
À gauche : David Garon.

Cet ouvrage est respectueusement dédié à la mémoire de Françoise Seigle-Murandi, Professeure de botanique et mycologie à l'UFR de Pharmacie de Grenoble. Passionnée par le monde fongique, elle fut à l'origine de nombreux travaux sur les micromycètes.

David Garon

À ma grand-mère Adrienne qui a partagé avec moi ses coins à champignons dans les bois du Chavanon, en Haute-Corrèze. En souvenir de ces soirées passées devant le cantou et des histoires qu'elle me racontait à la veillée.

Jean-Christophe Guéguen



Sommaire

Préface	XI
Avant-propos	XIII
Le mot des auteurs.....	XIII
Peut-on imaginer un monde sans champignon ?.....	XIV
Les cahiers de la biodiversité	XV
Introduction générale	1
L'Homme face au monde fongique	2
L'ergot de seigle : « du mal des ardents au LSD »	2
La mérule : « la lèpre des maisons »	4
La truffe : à la quête du Graal du terroir.....	6
La levure de boulanger : du pain aux biomédicaments	9
Le monde fascinant des champignons	13
Expliquez-moi les champignons	14
Le portrait robot d'un champignon	15
« Dessine-moi un champignon »	17
Presque champignons : les pseudomycètes	18
Les myxomycètes : attention au « blob »	19
Histoire de champignons	20
La chair des dieux	22
Les champignons dans l'Antiquité.....	25
Magie et sorcellerie du Moyen Âge à la Renaissance	27
Naissance d'une nouvelle discipline : la mycologie	29
Des champignons bien encombrants	33
La fin de la génération spontanée.....	33
Le long chemin vers les antibiotiques.....	34

Les oubliés de l'ère des antibiotiques	34
Fleming et la pénicilline	35
Les champignons et l'imaginaire	39
Il était une fois dans un lointain pays... des champignons.....	40
La mycologie en case.....	44
En résumé.....	45
Éléments de bibliographie	46
Importance et particularités du monde fongique	47
La cellule fongique.....	48
Une organisation anatomique originale	48
Des hétérotrophes	49
Vivre heureux, vivre caché.....	49
Une paroi innovante.....	52
Cycles de développement des champignons	53
Des nuages de spores	54
La vie privée d'un champignon	58
Cycle de vie d'un macromycète.....	59
Cycle de vie d'un micromycète	60
Les « ronds de sorcières » : la danse du mycélium	62
Modes de vie des champignons	64
Les mycorhizes : le « web souterrain » de la nature	65
Une histoire d'amour bien cachée	65
Les endophytes.....	70
Le secret du « coin à champignons » enfin dévoilé.....	71
Le langage chimique des champignons	72
Les lichens ou quand l'union fait la force	75
Les survivants de l'extrême	75
De précieux indicateurs écologiques	78
De nombreuses applications	79
La truffière : un écosystème complexe	82
Une réussite évolutive	82
Un parfum envoûtant	83
Un « champignon cougar ».....	84
En résumé.....	85
Éléments de bibliographie	86

Évolution du monde fongique	87
Introduction.....	88
L'origine des champignons	90
Les « oubliés » de l'évolution	90
Où sont apparus les premiers champignons ?.....	90
Les premières traces de champignons	92
Les champignons à la rescousse du monde végétal.....	93
Les lichens prennent possession des continents.....	93
Comment les algues résistent à la dessiccation ?	94
Les champignons au secours des premières plantes vasculaires	94
De l'énigme des Prototaxites aux micromycètes nématophages ..	96
Mystérieux Prototaxites.....	96
Les champignons du charbon	98
Un champignon mangeur de bois	99
Les premières mycorhizes de plantes à graines au Trias	100
Des champignons carnivores vieux de 100 millions d'années	101
Les premiers macromycètes.....	102
Le plus vieux cas de champignon parasite	102
Diversification des mondes végétal et fongique.....	102
Du tertiaire au quaternaire, quand l'union fait la force !.....	103
En résumé.....	104
Éléments de bibliographie	105
Des champignons pour le meilleur....	107
Des champignons au service de l'Homme	108
Micromycètes et macromycètes.....	108
Champignons aliments	109
De la récolte à la culture.....	109
Un marché juteux	111
Une histoire de culture	112
Un champignon royal qui fait carrière à Paris	114
N'oublions pas le pleurote	116
Ceux qui font de la résistance.....	117
Des moisissures et levures au service de notre alimentation.....	118
La France sur un plateau de fromages !.....	118
Des salaisons... à la sauce de soja	120
Les levures alimentaires.....	121
Le sang de la vigne	121

La fermentation de la bière	124
Le cidre et les autres.....	124
Café, thé ou chocolat ?	125
Champignons médicaments.....	126
Métabolisme fongique	126
Des macromycètes aux multiples vertus thérapeutiques	128
Des micromycètes acteurs de la fermentation.....	133
Des potentiels insoupçonnés.....	144
Dégrader nos déchets... et fabriquer le carburant de demain	144
Des enzymes fongiques dans notre vie quotidienne	146
Améliorer et protéger les récoltes	147
En résumé.....	148
Éléments de bibliographie	150
... et des champignons pour le pire	151
Histoires d'intoxications	152
Le calice de la mort	152
Les syndromes d'intoxication aux macromycètes	152
Les derniers « maux »...	153
Les syndromes d'apparition rapide : délai inférieur à six heures .	155
Le syndrome coprinien	155
Les syndromes gastro-intestinaux	156
Le syndrome hémolytique	157
Le syndrome narcotinique ou psilocybin	158
Le syndrome panthérinien.....	159
Le syndrome paxillien	161
Le syndrome sudorien ou muscarinique	161
Les syndromes survenant après un délai supérieur à six heures ..	162
Le syndrome acromégalgic	163
Le syndrome cérébelleux	164
L'encéphalopathie	164
Le syndrome gyromitrien	165
Le syndrome orellanien	166
Le syndrome phalloïdien	168
Le syndrome proximien	173
La rhabdomyolyse	174
Traitement des intoxications.....	175
Prise en charge de l'intoxication phalloïdienne.....	176

L'arsenal toxique des micromycètes	177
Mycoses et allergies.....	178
De nombreux opportunistes.....	180
Des nuages de spores	181
Des syndromes d'origine fongique.....	184
Des agents de biodétérioration.....	186
Lascaux, victime de son succès... et des champignons	186
À l'assaut du végétal... ..	187
Les mycotoxines.....	190
Des armes biologiques dans l'assiette.....	190
Du « mal des ardents » aux aflatoxines	193
Les aflatoxines	194
Champignons « de combat ».....	197
Ruée vers « l'or fongique »	198
Rodéos fongiques.....	199
Menaces sur la biodiversité	199
En résumé.....	201
Éléments de bibliographie	202
Index	203

Les auteurs remercient Monsieur Cyrille Guéguen pour son travail photo-informatique, Monsieur Philippe Eldin de Pécoulas et Monsieur Daniel Reisdorf pour leurs précieux conseils.

Préface

Partout sur notre planète, dans tous les milieux, dans les bois et les forêts, les dunes, les prairies, les parcs, dans vos jardins, jusque dans vos pots de fleurs et parfois entre vos orteils, dans les maisons humides, sur les vieilles confitures... les champignons sont là !

Sur France Culture, dans les années 1990, Jean-Louis Ezine*, déclarait à propos des « *fondus du fongique* » dans une de ses réjouissantes chroniques matinales : « *Au vrai, que sait-on des champignons ? Rien, répondent les mycologues. C'est même ce rien grossi un certain nombre de fois, qui les fascine tant. Car il débouche sur la métaphysique, sur la poésie. Sur la chimère absolue. Si l'éléphant est irréfutable, le champignon est aléatoire. Ubiquiste et sibyllin, à peine végétal, donc surnaturel.* » Il peut paraître étrange, énigmatique voire saugrenu de comparer le champignon à l'éléphant, mais il faut bien avouer que, dans l'étude de la biodiversité, si tout le monde est capable de reconnaître au premier coup d'œil un éléphant, il n'en va pas de même pour les champignons.

En général, si le public connaît parfaitement et apprécie le cèpe, la girolle ou la morille, certains méconnaissent, à leurs dépens, le cortinaire couleur de rocou, l'amanite vireuse ou l'amanite phalloïde, tous mortels. Beaucoup ignorent le rôle complexe des champignons, visibles ou invisibles à l'œil nu, dans la nature. Souvent bénéfiques, avec les associations symbiotiques ou le recyclage de la matière organique morte, ces interactions peuvent être dommageables pour la biodiversité quand les champignons s'attaquent aux arbres et aux plantes, aux insectes, aux batraciens ou aux chauves-souris. Ami de l'Homme, quand il intervient dans la fabrication de nouveaux médicaments, dans les processus de fermentation pour la fabrication d'aliments et de boissons, le champignon devient son ennemi lorsqu'il provoque teignes, candidoses, aspergillooses ou qu'il détruit les récoltes, les habitations.

* Jean-Louis EZINE a publié en 1994 ses chroniques aux éditions du Seuil, dans un recueil : *Du train où vont les jours*.

S'il est aléatoire et ubiquiste, le champignon est aussi discret, complexe, étrange, dangereux, mystérieux... et ce nouveau *Cahier de la Biodiversité*, qui n'est ni un guide ni une clé de détermination, va vous ouvrir les portes du monde fascinant de ces êtres vivants si particuliers.

Considérés depuis plusieurs siècles comme des « végétaux » non chlorophylliens, puis classés dans les années 1980 dans un règne à part, les champignons sont maintenant reconnus comme « cousins » des animaux grâce aux travaux récents de la systématique, de la biologie moléculaire et des avancées en paléomycologie.

Les auteurs de cet ouvrage sont tous deux pharmaciens : David Garon est Professeur de Mycologie à la faculté de Pharmacie de Caen, c'est un spécialiste des micromycètes et Jean-Christophe Guéguen est un chimiste des substances naturelles, passionné d'ethnomycologie et illustrateur naturaliste de talent. Alliant la plume et le pinceau, dans un style clair et précis, mais non sans humour, avec des textes scientifiques et des illustrations très pédagogiques, ce *Cahier*, dévolu à la biodiversité du monde fongique et à son évolution, permet une lecture à plusieurs niveaux avec des encadrés synthétiques et une riche bibliographie.

En vous proposant un voyage passionnant à la découverte des multiples facettes du monde fongique, sans oublier la transdisciplinarité avec les sciences humaines, comme en témoignent la part active du champignon dans la domestication du feu ou dans les rites chamaniques anciens, sa présence dans l'inconscient collectif au travers des légendes, des illustrations ou de sa représentation symbolique, David Garon et Jean-Christophe Guéguen réussissent, chapitre après chapitre, page après page, à répondre à tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les champignons sans jamais oser le demander.

Dr Jean-Philippe RIOULT
Enseignant-chercheur en Mycologie
Faculté de Pharmacie de Caen
Université de Caen Normandie
Membre de la Société Mycologique de France,
de la FAMO et de la British Mycological Society

Avant-propos



« Les champignons poussent dans les endroits humides.
C'est pourquoi ils ont la forme d'un parapluie. »

Alphonse Allais (1854-1905),
écrivain, journaliste et humoriste.

Le mot des auteurs

L'univers des champignons est tout aussi fascinant que méconnu. Bon nombre d'idées reçues circulent au sujet de ces créatures éphémères qui font le bonheur des amateurs et qui inspirent aussi parfois la crainte. C'est par son approche pluridisciplinaire et, en lien avec les sciences humaines, que ce livre se veut différent et se situe dans un registre autre que celui du guide pratique d'identification ou de l'ouvrage classique de mycologie. Les champignons restent indissociables de notre quotidien et nous avons, depuis des millénaires, noué avec eux des relations particulières que cet ouvrage a pour but d'explorer.

Les principaux thèmes développés dans ce cahier concernent la biologie des champignons, la biodiversité et l'écologie fongique, l'impact positif et négatif des champignons dans l'alimentation, la santé, l'agriculture... L'Histoire reste aussi un fil conducteur, en référence à la phrase du philosophe Auguste Comte (1798-1857) : « *on ne connaît pas complètement une science tant qu'on n'en sait pas l'Histoire* ». Le lecteur y retrouvera aussi bien des champignons microscopiques comme les levures ou les moisissures, que des espèces plus imposantes, comme les bolets ou les morilles qu'il peut rencontrer au cours de ses promenades.

Nous espérons que vous prendrez plaisir à découvrir le monde fongique que nous vous livrons à travers ces pages très illustrées.

Peut-on imaginer un monde sans champignon ?

Dans le film **Avatar** (2009), le cinéaste James Cameron nous fait découvrir la faune et la flore de la planète Pandora dont tout l'écosystème est connecté par un réseau de champignons souterrains. Ce « web souterrain » permet aux arbres géants de communiquer entre eux. Mais revenons un peu plus dans le passé : arrivés sur la terre ferme il y a 450 millions d'années, les champignons ont façonné le monde vivant. La grande majorité des végétaux terrestres vit en étroite collaboration avec des champignons mycorhiziens qui jouent un rôle primordial. Sans cette idylle secrète, plus de bolets, de morilles et autres chanterelles, les plantes seraient carencées, les rendements des récoltes seraient catastrophiques. Les champignons seraient donc les nourrices de l'humanité. Les symbioses mycorhiziennes profitent à la croissance et à la protection des plantes cultivées ou des forêts contre les innombrables stress environnementaux (attaques de parasites, d'insectes phytophages, sécheresse...). Même dans le simple pot de fleur où pousse votre géranium (*Pelargonium*), la longueur des filaments de champignon se mesure en mètres. Alors imaginez la biodiversité fongique d'une forêt tropicale ou d'une prairie ! Dans nos forêts, ces travailleurs infatigables transforment, chaque automne, les feuilles en humus pour éviter que les arbres ne s'étouffent sous des tonnes de litière. Gardons en mémoire que le plus grand être vivant de la planète n'est ni un séquoia, ni une baleine bleue, mais bel et bien un champignon, un armillaire dont le réseau souterrain s'étend sur dix kilomètres carrés sous une forêt de l'Oregon (États-Unis) où il a dépassé l'âge des 2 000 ans !

Mais les champignons ne se limitent pas aux écosystèmes terrestres, on les retrouve aussi en milieu aquatique, dans l'air et même sur notre peau... **Bref, toute la planète leur appartient, alors imaginer un monde sans champignons relève d'un scénario très improbable.**

Aussi innombrables qu'invisibles, les champignons sont partout. Leurs différents modes de vie et leur résistance ont permis à ces organismes vivants de s'adapter à tous les milieux, pour coloniser la quasi-totalité de la planète, aussi bien les continents que le plus profond des abysses. Les champignons ne

se limitent pas seulement à ces chapeaux parfois colorés que nous cueillons dans les bois ou les prés au fil des saisons, ils vivent souvent cachés mais sont d'une incroyable efficacité. Sans eux, plus de pain, de bière, de vin, de fromages ou de chocolat, certains d'entre eux sont ainsi des agents de biotransformation au service de notre alimentation. Et que dire de la truffe, ce « diamant noir », dont le prix au kilogramme s'envole sur les marchés ?

Et que ferions-nous sans ces champignons qui nous fournissent de précieux antibiotiques pour lutter contre les infections, des statines pour réguler le cholestérol, des immunosuppresseurs pour les greffes d'organes ? Ils se sont même invités dans les techniques moléculaires les plus récentes pour permettre la production de vaccins ou d'anticorps monoclonaux.

Mais n'y aurait-il pas une face cachée, un côté obscur du monde fongique ? Les champignons sont ubiquistes, indispensables pour l'environnement et l'Homme, mais peuvent aussi représenter un véritable danger. Certains sont pathogènes pour les plantes ou les animaux dont nous faisons partie. Chaque année, les champignons phytopathogènes dévastent nos cultures, produisent des mycotoxines aux effets sanitaires redoutables, attaquent d'autres espèces vivantes comme les grenouilles et les chauves-souris, menaçant au passage la biodiversité. Certains s'en prennent également à nos habitations, nos meubles, nos livres, en les dégradant grâce à leurs enzymes d'une incroyable efficacité. D'autres s'attaquent à notre peau, nos ongles ou nos cheveux, et vont même parfois pénétrer jusque dans nos poumons, profitant d'une défaillance d'immunité.

Les champignons nous sont tellement familiers qu'ils font partie de notre vocabulaire, ne dit-on pas : « pousser comme un champignon », « appuyer sur le champignon » ? Par sa forme, le champignon peut aussi devenir « un buzzer » dans les jeux télévisés. Il prend parfois un tout autre sens quand on lui ajoute le terme atomique, il nous rappelle alors le triste souvenir d'Hiroshima.

Les champignons font partie de notre imaginaire. Ils peuplent les contes de notre enfance, les bandes dessinées, les chansons ou les jeux vidéo.

Pour conclure nous pouvons dire que sans champignon il n'y aurait probablement pas d'humains pour vous raconter cette histoire du monde fongique. Le destin de l'humanité est lié à celui des champignons ; s'ils sont indispensables pour notre survie, l'inverse n'est pas vrai, les champignons survivraient très certainement à la disparition de l'Homme ! Une meilleure connaissance de leurs modes vie et de leur diversité pourrait nous permettre de résoudre de nombreux problèmes actuels (pollutions, ressources énergétiques, alimentation, médicaments...), alors laissez-vous emporter dans cet univers fascinant !

Les cahiers de la biodiversité

Cette nouvelle collection éditée par EDP Sciences a vu le jour en 2013 avec **Biodiversité et évolution du monde vivant**. Elle a été enrichie en

2014 par l'ouvrage **Biodiversité et évolution du monde végétal**. Ces deux premiers cahiers s'adressent aux étudiants de première année commune des études de santé (PACES UE7, UE spécifiques) ainsi qu'à tous ceux qui suivent un cursus médical, pharmaceutique, biologique, ou d'ingénieur. Les professionnels de santé, les vétérinaires, les candidats au CAPES et à l'agrégation, les professeurs du second degré, pourront également trouver dans ces ouvrages des informations précises sur les diverses ressources du monde vivant et leurs applications dans des domaines variés (environnement, écologie, agro-alimentaire, biotechnologies, santé humaine, innovations technologiques...). Cette collection est aussi destinée aux ingénieurs, chercheurs et techniciens.

Enfin, **Les cahiers de la biodiversité** ont aussi été écrits pour un public plus large, moins spécialisé, mais tout aussi attentif à la diversité du vivant et à ses implications dans notre vie quotidienne et future.

Le sujet traité étant très vaste, nous proposons au lecteur une collection constituée par un ensemble de cahiers indépendants, mais complémentaires. Nous avons essayé de dresser un **panorama global de l'extraordinaire richesse du monde vivant, tout en privilégiant une approche pluri et transdisciplinaire**. Il restait enfin à donner à cette collection la dimension qu'elle méritait, celle des **sciences humaines**.

Les cahiers de la biodiversité sont une invitation à découvrir, mieux comprendre, et préserver le monde vivant qui nous entoure.

Les ouvrages de la collection **Les cahiers de la biodiversité** portent sur les thèmes suivants :

Biodiversité et évolution du monde vivant (2013)

L'objectif de ce premier volet est de présenter un panorama général des êtres vivants qui constituent la biodiversité. Notre connaissance du monde vivant est récente, elle s'est forgée il y a 150 ans avec la découverte que les espèces se sont transformées au cours des temps géologiques. Outre les notions de base sur les origines de la vie, la notion de vivant et la répartition du monde vivant, la place de l'Homme, une espèce comme les autres dans le processus de l'évolution, y est redéfinie à travers les découvertes les plus récentes. Un chapitre entier est consacré à l'étude de la biodiversité et les enjeux stratégiques que représente la préservation des espèces pour l'avenir de l'humanité et de notre planète.

Biodiversité et évolution du monde végétal (2014)

Le deuxième volet est consacré au monde végétal et à ses implications, au quotidien, pour l'espèce humaine. C'est grâce à la photosynthèse que les

végétaux captent le dioxyde de carbone de l'air et produisent des composés organiques. Un chapitre entier est consacré à l'évolution des végétaux. Depuis la nuit des temps, l'Homme utilise les plantes pour se nourrir, s'abriter, se chauffer, se soigner ou se vêtir. Confrontées à l'éternel impératif d'une quête alimentaire, les populations ont appris, et souvent à leurs dépens, à différencier les plantes dangereuses, des plantes utiles et comestibles. Dans ce livre le lecteur retrouvera des notions de bases du monde végétal, comme l'autotrophie. Nous avons également tenu à souligner l'importance du métabolisme chez les plantes. Les plantes sources de médicaments majeurs et les plantes sources d'intoxications ou d'allergies sont également largement développées dans ce cahier.

Biodiversité et évolution du monde fongique (2015)

Qu'ils soient macroscopiques ou microscopiques, les champignons constituent un monde encore mal connu. La diversité fongique est un élément incontournable, tant pour la biosphère que dans notre vie quotidienne. Les champignons sont indispensables aux processus d'humification en décomposant de la matière organique du sol. Leurs associations symbiotiques avec les racines des plantes (mycorhizes) sont au cœur du fonctionnement de nombreux écosystèmes. Certaines espèces seront redoutées pour leur pouvoir pathogène ou leur capacité de parasitisme. Dans cet ouvrage, le lecteur trouvera des notions de base sur les particularités du monde fongique. Un chapitre est consacré aux nombreuses applications des champignons, dans notre alimentation (fromages, vin, bière...) et en santé avec la production de médicaments majeurs pour l'industrie pharmaceutique (antibiotiques, antifongiques, hypocholestérolémiants, immunosuppresseurs...). Un chapitre porte sur les risques liés à certains champignons en présentant les principales intoxications fongiques (toxidromes causés par les macromycètes, moisissures productrices de mycotoxines).

Biodiversité et évolution du monde animal

Ce quatrième volet aborde la diversité animale, son évolution et son rôle dans la biosphère. L'évolution du monde animal a connu une « explosion de diversité » il y a 540 millions d'années pendant le Cambrien où presque tous les embranchements modernes ont fait leur apparition. Cinq épisodes d'extinctions massives ont remodelé le monde animal au cours des temps géologiques. Un chapitre est consacré aux médicaments et réactifs que l'on peut extraire d'organismes animaux (analgésiques, antiviraux, anticancéreux, hémolymphe de limule pour la détection des endotoxines...). Un autre chapitre traite également des venins et toxines sécrétés par des animaux (amphibiens, serpents, arthropodes) et de leurs applications pharmacologiques.

Biodiversité et évolution du monde microbien

Le monde microbien, inconnu il y a 150 ans, va connaître son essor grâce aux progrès de la microscopie et aux travaux de Louis Pasteur qui met fin au dogme

de la génération spontanée. Une nouvelle science voit le jour, la microbiologie. Les microorganismes sont des éléments clés de la biodiversité et comportent à la fois des procaryotes et des eucaryotes. On les retrouve dans tous les milieux, même les plus hostiles. Ils sont à la base de nombreux processus écologiques et à l'origine de la majorité des maladies infectant l'Homme, les animaux et les plantes. Ils font aussi partie de notre organisme en formant ce que l'on appelle le microbiote. Cet ouvrage dresse le panorama de ce réservoir énorme de diversité qui est encore mal connu. Il présente aussi les microorganismes utilisés comme producteurs de médicaments (antibiotiques, antifongiques, anticancéreux...).

Espèces invasives, bio-indicatrices et bioremédiatrices

Ce cahier aborde trois sujets où la biodiversité est directement liée aux activités humaines.







Chaque année, en France métropolitaine et dans les DROM-COM (anciennement appelés DOM-TOM), on assiste à l'installation d'espèces invasives animales (crépide, frelon asiatique, ragondin...) ou végétales (ambrosie, renouée, caulerpe...). Ces dernières, une fois installées dans une niche écologique, tirent leur épingle du jeu et augmentent leur pression sur les écosystèmes.

Les espèces bio-indicatrices sont souvent considérées comme des alliées de l'Homme dans la surveillance et la préservation de la biodiversité. La présence, la diversité et la fluctuation de ces espèces sont un indicateur des conditions environnementales locales et de l'état sanitaire de l'écosystème.

Les espèces bioremédiatrices mobilisent différents acteurs du monde vivant tels que des microorganismes (bactéries, moisissures) ou des plantes pour décontaminer des milieux pollués (eaux usées, sols ou sédiments contaminés par des déchets industriels, agricoles ou pétroliers).

Nous avons choisi une présentation enrichie de citations et abondamment illustrée pour faciliter la compréhension des différents thèmes développés dans ces cahiers. Certaines illustrations ont été volontairement simplifiées pour aider à la compréhension du texte. Plusieurs niveaux de lecture sont proposés avec :

- les notions essentielles à connaître ;
- des encadrés présentant les définitions majeures. Six types de pictogrammes accompagnent les définitions ;
- un résumé de chaque chapitre.

	Définition généraliste
	Définition dans le domaine de la mycologie
	Définition dans le domaine de la microbiologie
	Définition dans le domaine de la biologie végétale
	Définition dans le domaine de la taxonomie
	Définition dans le domaine de la chimie

Le but de ces cahiers est aussi d'apporter aux étudiants destinés à observer et manipuler du vivant tout au long de leurs études, puis de leur vie professionnelle, des notions de base indispensables, tout en suscitant leur curiosité et leur esprit critique. **Le monde vivant qui nous entoure ne doit pas être considéré comme une simple préoccupation réservée à des cercles restreints, il est l'affaire de tous et notre passeport pour le futur !**

Ruée vers « l'or fongique »

De nombreux **Cordyceps** sont à même de s'attaquer à des insectes (Figure 6-31). Ces « *serial killers* fongiques » vont se développer à l'intérieur de l'insecte, avant de le tuer et de donner naissance à d'étranges structures sur leur corps. Il s'agit de sporophores capables de disséminer de nombreuses spores.

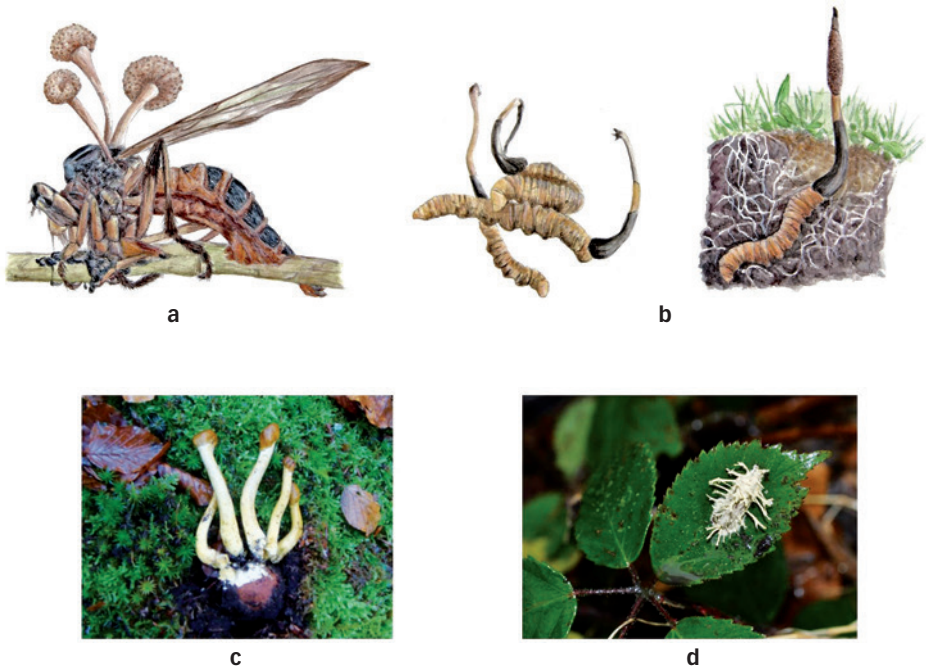


Figure 6-31 : Champignon du genre *Cordyceps* sp s'étant développé sur un insecte (a), *Ophiocordyceps sinensis* se développant à partir de chenilles (b), *Elaphocordyceps capitata* parasitant la truffe des cerfs (*Elaphomyces granulatus*) (c), *Cordyceps tuberculata* sur papillon de nuit (d).

Certains cordyceps vont être capables de s'attaquer à des fourmis. Le champignon, après s'être déposé sur la surface de la fourmi, va se développer dans son corps puis migrer jusqu'à son cerveau. Grâce à des « armes chimiques » (métabolites), il va modifier le comportement de sa victime qui va grimper au sommet d'une plante. Le champignon va alors dévorer le cerveau de la fourmi et pouvoir, à partir de sa tête, former des structures visibles (sporophores) libérant de nombreuses spores qui iront parasiter d'autres fourmis... D'autres cordyceps vont parasiter des larves d'insectes ; c'est le cas du « champignon chenille » ***Ophiocordyceps sinensis*** qui se développe sur des larves de Lépidoptères. Après avoir momifié la larve, il va sortir du sol et produire un stroma (masse d'hyphes) à partir duquel se forme un appareil de fructification (sporophore) capable de produire des spores. Ce champignon, appelé *Yarsagumbu*, que l'on

trouve sur les hauts plateaux tibétains (entre 3 500 et 5 000 mètres d'altitude) est utilisé en médecine traditionnelle chinoise et tibétaine ; il possède de nombreuses vertus (tonique, stimulant immunitaire, action bénéfique sur les fonctions hépatiques, rénales, respiratoires, sexuelles...) et contribue au revenu annuel de nombreuses familles locales. En raison de son prix très élevé (environ 18 000 euros le kilo), il fait l'objet de multiples convoitises et de nombreux agriculteurs et éleveurs tibétains sont devenus tributaires de ce champignon pour leur survie, ce qui a profondément modifié l'économie de ces régions. Par ailleurs, une ruée vers « l'or fongique » s'est produite, au détriment de l'environnement et des populations locales qui délaissent leurs activités traditionnelles.

Enfin, certains cordyceps sont même capables de s'attaquer à leurs congénères, c'est le cas d'*Elaphocordyceps capitata* qui parasite *Elaphomyces granulatus*, un champignon qui ressemble aux truffes.

Rodéos fongiques

Concernant les **nématodes**, *Arthrobotrys oligospora* est à même de capturer sa proie au moyen de « lassos mycéliens » qui étouffent leur victime ; *Hirsutella rhossiliensis* est une autre espèce nématophage qui adhère à proximité de la bouche du nématode, germe et pénètre à travers sa cuticule. On parle alors d'endoparasitisme.

L'observation de ces phénomènes de parasitisme de nématodes ou d'insectes a permis le développement de mycoinsecticides. *Beauveria bassiana* et *B. brongniartii* sont par exemple utilisés pour lutter contre le ver blanc de la canne à sucre. Il existe aussi des applications dans le domaine pharmaceutique avec par exemple la myriocine, une molécule qui permet de diminuer la réponse auto-immune dans des maladies telles que la sclérose en plaques (voir chapitre 5). Le champignon producteur de cette molécule originale se nomme *Isaria sinclairii* (*Cordyceps sinclairii*), une espèce entomopathogène parasitant des larves d'Hyménoptères ou de Lépidoptères. Cette espèce est par ailleurs utilisée comme tonique en médecine traditionnelle chinoise et tibétaine depuis très longtemps.

Menaces sur la biodiversité

Des **grenouilles** peuvent aussi subir l'attaque des champignons. C'est le cas par exemple de certains Chytridiomycètes tels que ***Batrachochytrium dendrobatidis*** qui parasite les amphibiens. Ce champignon, découvert en 1998, produit des zoospores qui sont en mesure de détecter la peau des batraciens, pénétrer à travers la kératine et s'y développer. Le plus souvent la grenouille meurt quelques jours après l'infection (Figure 6-32). Cette maladie fongique que l'on nomme chytridiomycose menace au niveau mondial la survie de nombreux amphibiens.