



**HAL**  
open science

## **Bolétales du Dauphiné : répartition géographique, intérêts pharmaceutiques et thérapeutiques**

Antonin Barnoud

► **To cite this version:**

Antonin Barnoud. Bolétales du Dauphiné : répartition géographique, intérêts pharmaceutiques et thérapeutiques. Sciences pharmaceutiques. 2019. dumas-02143785

**HAL Id: dumas-02143785**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02143785>**

Submitted on 29 May 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble :  
[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES  
UFR DE PHARMACIE DE GRENOBLE

Année : 2019

**BOLÉTALES DU DAUPHINÉ : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE, INTÉRÊTS  
PHARMACEUTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES**

THÈSE

PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN PHARMACIE  
DIPLOME D'ÉTAT

**Antonin BARNOUD**

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE GRENOBLE

Le 13/05/2019

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

Dr Serge KRIVOBOK, Docteur en Pharmacie, Maître de Conférences en Botanique et Biologie végétale, Université Grenoble Alpes (Directeur de thèse)

Membres :

Dr Stéphanie RENET, Docteur en Pharmacie

Dr Bello MOUHAMADOU, PhD, Maître de Conférences en Mycologie, Université Grenoble Alpes

*L'UFR de Pharmacie de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

Doyen de la Faculté : M. le Pr. Michel SEVE

Vice-doyen et Directrice des Etudes : Mme Christine DEMEILLIERS

Année 2017-2018

**ENSEIGNANTS -CHERCHEURS**

STATUT	NOM	PRENOM	LABORATOIRE
MCF	ALDEBERT	DELPHINE	LAPM-UMR CNRS 5163
PU-PH	ALLENET	BENOIT	THEMAS TIMC-IMAG UMR CNRS 5525
PU	BAKRI	ABDELAZIZ	TIMC-IMAG CNRS UMR 5525
MAST	BARDET	JEAN-DIDIER	-
MCF	BATANDIER	CECILE	LBFA – INSERM U1055
PU-PH	BEDOUCHE	PIERRICK	THEMAS TIMC-IMAG – UMR CNRS 5525
MCF	BELAIDI-CORSAT	ELISE	HP2 – INSERM U1042
MAST	BELLET	BEATRICE	-
MCF	BOUCHERLE	BENJAMIN	DPM
DCE	BOULADE	MARINE	SyMMES
PU	BOUMENDJEL	AHCENE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	BOURGOIN	SANDRINE	IAB – CRI INSERM U823
DCE	BOUVET	RAPHAEL	HP2
MCF	BRETON	JEAN	LCIB – UMR E3 CEA
MCF	BRIANCON-MARJOLLET	ANNE	HP2 – INSERM U1042
PU	BURMEISTER	WILHEM	UVHCI- UMI 3265 EMBL CNRS
MCU-PH	BUSSER	BENOIT	IAB – CRI INSERM U823
MCF	CAVAILLES	PIERRE	LAPM – UMR 5163 CNRS
AHU	CHANOINE	SEBASTIEN	THEMAS TIMC-IMAG UMR CNRS 5525
MCF	CHOISNARD	LUC	DPM – UMR 5063 CNRS
AHU	CHOVELON	BENOIT	DPM – UMR 5063 CNRS
PU-PH	CORNET	MURIEL	THEREX TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS
DCE	COUCHET	MORGANE	LBFA
Professeur Emérite	DANEL	VINCENT	-
PU	DECOUT	JEAN-LUC	DPM UMR 5063 CNRS
MCF	DEMEILLERS	CHRISTINE	TIMC-IMAG INSERM U1055
PU-PH	DROUET	CHRISTIAN	GREPI
PU	DROUET	EMMANUEL	UVHCI UMI 3265 EMBL CNRS
MCF	DURMORT	CLAIRE	IBS – UMR 5075 CEA CNRS
PU-PH	FAURE	PATRICE	HP2 – INSERM U1042
MCF	FAURE-JOYEUX	MARIE	HP2- INSERM U1042
PRCE	FITE	ANDREE	-

STATUT	NOM	PRENOM	LABORATOIRE
AHU	GARNAUD	CECILE	THEREX TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS
PRAG	GAUCHARD	PIERRE-ALEXIS	-
MCU-PH	GERMI	RAPHAELE	IBP-IBS UMI 3265 EMBL-CNRS
MCF	GEZE	ANNABELLE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	GILLY	CATHERINE	DPM – UMR 5063 CNRS
PU	GODIN-RIBUOT	DIANE	HP2 INSERM U1042
Professeure Emérite	GRILLOT	Renée	-
MCF	GROSSET	CATHERINE	DPM UMR 5063 CNRS
MCF	GUIEU	VALERIE	DPM UMR 5063 CNRS
AHU	HENNEBIQUE	AURELIE	TIMC-IMAG
MCF	HININGER-FAVIER	ISABELLE	LBFA
MCF	KHALEF	NAWEL	TIMC-IMAG CNRS UMR 5525
MCF	KRIVOBOC	SERGE	LCBM IRTSV CEA
DCE	LE	CONG ANH KHANH	CERMA V
PU	LENORMAND	JEAN-LUC	THEREX TIMC-IMAG
PU	MARTIN	DONALD	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS
PRCE	MATTHYS	LAURENCE	-
AHU	MAZET	ROSELINE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	MELO DI LIMA	CHRISTELLE	LECA – UMR CNRS 5553
AHU	MINOVES	MELANIE	
PU	MOINARD	CHRISTOPHE	BFA INSERM U1055
DCE	MONTEMAGNO	CHRISTOPHE R	LRB
DCE	MOULIN	SOPHIE	HP2
PU-PH	MOSSUZ	PASCAL	
MCF	MOUHAMADOU	BELLO	LECA – UMR CNRS 5553
MCF	NICOLLE	EDWIGE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	OUKACINE	FARID	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	PERES	BASILE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	PEUCHMAUR	MARINE	DPM – UMR 5063 CNRS
PU	PEYRIN	ERIC	DPM – UMR 5063 CNRS
AHU	PLUCHART	HELENE	
MCF	RACHIDI	WALID	LCIB – UMR E3 CEA
MCF	RAVELET	CORINNE	DPM – UMR 5063 CNRS
PU	RIBUOT	CHRISTOPHE	HP2 – INSERM U1042
PAST	RIEU	ISABELLE	-
Professeure Emérite	ROUSSEL	ANNE-MARIE	-
PU-PH	SEVE	MICHEL	IAB-CR INSERM – U823 IAB
MCF	SOUARD	FLORENCE	DPM – UMR 5063 CNRS
MCF	SPANO	MONIQUE	IBS – UMR 5075 CEA CNRS
DCE	TAHER	RALEB	IBS

Mise à jour le 09/01/2018

STATUT	NOM	PRENOM	LABORATOIRE
MCF	TARBOURIECH	NICOLAS	UVHCI – UMR 3265 EMBL CNRS
MCF	VANHAVERBEKE	CECILE	DPM – UMR 5063 CNRS
DCE	VERNET	CELINE	CRI-IAB
DCE	VRAGNIAU	CHARLES	UVHCI
PU	WOUESSIDJEWE	DENIS	DPM – UMR 5063 CNRS

-----

AHU : Assistant Hospitalo-Universitaire  
 ATER : Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherches  
 BCI : Biologie du Cancer et de l'Infection  
 CHU : Centre Hospitalier Universitaire  
 CIB : Centre d'Innovation en Biologie  
 CRI : Centre de Recherche INSERM  
 CNRS : Centre National de Recherche Scientifique  
 DCE : Doctorants Contractuels Enseignement  
 DPM : Département de Pharmacochimie Moléculaire et de Cognition et Ontogenèse »  
 HP2 : Hypoxie Physiopathologie Respiratoire et Cardiovasculaire  
 IAB : Institut Albert Bonniot,  
 IBS : Institut de Biologie Structurale  
 LAPM : Laboratoire Adaptation et Pathogenèse des Microorganismes  
 LBFA : Laboratoire Bioénergétique Fondamentale et Appliquée  
 LCBM : Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux  
 LCIB : Laboratoire de Chimie Inorganique et Biologie  
 LECA : Laboratoire d'Ecologie Alpine  
 LR : Laboratoire des Radio pharmaceutiques  
 MAST : Maître de Conférences Associé à Temps Partiel  
 MCF : Maître de Conférences des Universités  
 MCU-PH : Maître de Conférences des Universités et Praticiens Hospitaliers  
 PAST : Professeur Associé à Temps Partiel  
 PRAG : Professeur Agrégé  
 PRCE : Professeur certifié affecté dans l'enseignement  
 PU : Professeur des Universités  
 PU-PH : Professeur des Universités et Praticiens Hospitaliers  
 SyMMES : Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Energie et la Santé  
 TIMC-IMAG : Laboratoire Technique de l'Imagerie, de la Modélisation  
 UMR : Unité Mixte de Recherche  
 UVHCI : Unit of Virus Host Cell Interactions

Mise à jour le 09/01/2018

## **REMERCIEMENTS**

### **Au Docteur Serge KRIVOBOK**

Merci à vous d'avoir accepté de soutenir ce travail et pour votre encadrement. Merci aussi pour la qualité de vos enseignements. Je vous souhaite l'avenir le plus formidable qu'il soit. Vous serez toujours le bienvenu dans mon officine.

### **Au Docteur Bello MOUHAMADOU**

Merci à vous d'avoir accepté de faire partie de ce jury et d'avoir pris une partie de votre temps à lire ce travail. Merci également pour la qualité de vos enseignements de mycologie. Je vous souhaite le meilleur tant sur le plan personnel que professionnel. Vous serez toujours le bienvenu dans mon officine.

### **Au Docteur Stéphanie RENET**

Merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury et d'avoir pris une partie de votre temps libre pour lire ce travail. Merci également de m'avoir laissé l'opportunité de découvrir et d'aimer mon métier au sein de votre officine. Je vous en serai toujours reconnaissant. Je vous souhaite le meilleur pour les années à venir tant au niveau professionnel que personnel. Ma porte vous sera toujours grande ouverte.

### **À mes parents Pierre et Valérie et à mes sœurs Estelle et Ambre**

Merci à vous pour votre soutien depuis toutes ces années, dans les moments difficiles quels qu'ils soient. Vous étiez toujours là et m'avez donné la force nécessaire pour arriver au bout de ce projet. J'ai de la chance de vous avoir auprès de moi. Ce travail c'est aussi un peu le vôtre.

### **À mes grands-parents**

Je sais que ce projet compte pour vous, vous m'avez supporté pendant tant d'années. Depuis là-haut papi je sais que me vois tu m'as tellement appris je ne t'oublie pas et parce que je sais que tu aurais aimé être là, ce travail est pour toi aussi.

### **À mes amis d'enfance Jonathan, Rémi, Thomas, Quentin, Edouard**

Parce que vous avez réussi à me supporter pendant toutes ces années ! Je vous informe que je ne changerai pas et que vous devrez me supporter pendant encore longtemps ! Malgré la distance et le temps qui passe notre amitié reste aussi forte. Je sais qu'elle durera encore longtemps. Une attention particulière à toi John, je me souviens de notre première rencontre et quand je vois où elle nous a mené je me dis que le hasard fait bien les choses, je te souhaite le meilleur pour la suite de carrière et puis allez les « jaunes et bleus ».

### **À mes amies de la fac Aurélie, Célia, Justine, Myriam**

Les filles, pendant 6 ans vous avez été mes confidentes vous êtes au courant de tous mes secrets. Parce que nous avons passé tant de bons moments sur et hors de la fac ensemble. Parce que j'ai conscience de ne pas avoir toujours été très agréable avec vous sans forcément que cela soit justifié, vous me l'avais fait savoir et je vous en remercie. Votre présence au quotidien me manque. Chères consœurs je vous souhaite toute la réussite que vous souhaitez autant sur le plan personnel que professionnel.

### **À l'ensemble du GES**

Parce que vous savez que le ski est ma passion et mon amour. Parce que sans vous probablement que je n'aurai jamais pu en profiter autant. Parce que vous m'avez tous bien fait rire avec mon surnom et vos questions pourries pour essayer de me piéger parfois avec réussite ! Parce que vous connaissez tous mon club de cœur et son histoire, vos petites « piques » sur lui vont me manquer. Géotrouve-tout est toujours là ! Pour tout cela vous méritiez mes remerciements. Merci à Michou, Didier aux Gillou, Doume et à toute la famille du GES pour les cours et vos conseils sur et en dehors des pistes.

### **À mes anciens employeurs**

Merci pour la confiance que vous m'avez accordée, de m'avoir laissé ma chance et donné certains conseils qui me serviront pour toutes ma carrière, je vous en serai éternellement reconnaissant. Je sais que l'on sera amené à se revoir. Vous garderez toujours une place à part chez moi.

### **À tous ceux que j'ai pu oublier**

Je m'excuse d'avance auprès de tous ceux que j'ai pu oublier juste au-dessus ma mémoire me fait déjà défaut ! Merci à vous de m'avoir soutenu que ce soit de près ou de loin. Merci d'être là aujourd'hui pour moi.

### **Un merci tout particulier**

À toutes les personnes qui m'ont autorisé à utiliser leurs travaux pour me permettre de réaliser le mien. Parmi eux, j'aimerais citer Maurice GIDON et son site « Géo-Alp.com » qui m'a permis d'obtenir l'ensemble des données géologique dont j'avais besoin, la Société Tarnaise de Sciences Naturelles pour leurs fiches descriptives complètes, Jean-Marc MOINGEON et son site pharmanatur.com pour m'avoir permis d'utiliser ces photos pour illustrer mon travail.

À tous ceux qui liront ce travail, merci de prendre ce temps car je l'ai réalisé dans le but d'apporter de nouvelles connaissances et vous aider dans l'identification de champignons.

## TABLES DES MATIÈRES

<b>Table des illustrations</b>	<b>1-2</b>
<b>Listes des abréviations</b>	<b>3</b>
<b>Glossaire</b>	<b>4-5</b>
<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Partie I les Basidiomycètes</b>	
I.1-Le règne fongique	8
I.2-Composition d'une cellule fongique	9-10
I.3-Anatomie des champignons	10-11
I.4-Mode de vie des champignons	11-14
I.5-Apparition des premiers champignons	14-15
I.6-Comment reconnaître un champignon ?	15-16
I.7-Conditions favorables au développement des Basidiomycètes	17
<b>Partie II Les Bolétales</b>	
<b>II.1-Classification des Bolétales</b>	
II.1.1-Caractéristiques générales	19-20
II.1.2-Bolétales à tubes	20-25
II.1.3-Bolétales à lames	25-27
<b>II.2-Classification phylogénétique</b>	
II.2.1-1ère étude sur la classification des bolétales basées sur l'analyse des ADN nucléaires et mitochondriales	28
II.2.2-2ème étude sur la classification	28-29
<b>II.3-Liste des Bolétales du Dauphiné</b>	<b>29-49</b>
<b>II.4-Répartition par secteurs géographiques en Isère</b>	<b>49-50</b>
II.4.1-Fôret des Chambarans	51
II.4.2-Avant pays Lyonnais	51
II.4.3-Vallée du Grésivaudan	51-52
II.4.4-Massif de la Chartreuse	52-53
II.4.5-Massif de l'Oisans	53-54
II.4.6-Massif du Vercors	54

II.4.7-Plaine de la Bièvre	54-55
II.4.8-Le Trièves	55
II.4.9-Le plateau de Matheysine	55-56
II.4.10-Chaine de Belledonne	56
<b>II.5-Toxicité des Bolétales</b>	
II.5.1-Syndrome paxillien	56-57
II.5.2-Syndrome résinoïdien	58-60
II.5.3-Syndrome hémolytique	60
II.5.4-Toxicités extrinsèques	
II.5.4.1- mercure	60
II.5.4.2- cadmium et thallium	60-61
II.5.4.3- plomb	61-62
<b>Partie III Molécules issues des Bolétales à intérêt pharmacologique</b>	
III.1-Illudine	64-65
III.2-Irofulvène	65-67
III.3-bolésatine	67-68
<b>Conclusion</b>	<b>69-70</b>
<b>Annexe</b>	<b>71-86</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>87-92</b>
<b>Serment de Galien</b>	<b>93</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

- Figure 1** : Les différents règnes du monde vivant
- Figure 2** : Schéma d'une cellule fongique
- Figure 3** : Schéma de la croissance d'une cellule fongique
- Figure 4** : Photo de croissance dit en « rond de sorcière »
- Figure 5** : Schéma de l'anatomie d'un champignon
- Figure 6** : Mode d'attachement des lames au pied du champignon
- Figure 7** : Les différents modes de vie des champignons
- Figure 8** : Schéma explicatif de la reproduction des champignons
- Figure 9** : De l'apparition des champignons à aujourd'hui
- Figure 10** : Clé de détermination des Basidiomycètes
- Figure 11** : Clé de détermination des Bolétales.
- Figure 12** : photo d'un *Boletus* : *Boletus aereus*
- Figure 13** : Photo d'un *Boletinus*
- Figure 14** : Photo d'un *Gyroporus* : *Gyroporus castaneus*, le plus représentatif du genre
- Figure 15** : Photo de *Tylophilus felleus*, unique représentant européen
- Figure 16** : Photo d'un *Chalciporus* : *Chalciporus piperatus*, le plus fréquent du genre
- Figure 17** : Photo d'un *Leccinum* : *Leccinum duriusculum*
- Figure 18** : Photo d'un *Xerocomus* : *Xerocomus badius*, très commun
- Figure 19** : Photo d'un *Suillus* caractéristique : *Suillus luteus*
- Figure 20** : Photo de la seule espèce du genre : *Strombilomyces strobilaceus*
- Figure 21** : Photo d'un *Gomphidius* : *Gomphidius glutinosus*, le plus représentatif
- Figure 22** : Photo d'*Omphallotus illudens*, représentant mortel du genre
- Figure 23** : Photo d'*Hygrophoropsis aurantiaca*, espèce la plus caractéristiques du genre
- Figure 24** : Photo de *Paxillus involutus*, espèce caractéristique du genre
- Figure 25** : Photo de *Boletus edulis*, le roi de la forêt
- Figure 26** : Photo de *Boletus aestivalis*, plus rare mais tout aussi recherché
- Figure 27** : Photo de *Boletus aereus*, tout aussi réputé que les deux autres
- Figure 28** : Photo de *Boletus luridus*, un bolet aux nombreuses confusions
- Figure 29** : Photo de *Boletus erythropus*, toxique cru
- Figure 30** : Photo de *Boletus pinophilus*, aussi réputé que *Boletus edulis*

**Figure 31** : Photo de *Boletus torosus* à la comestibilité suspecte

**Figure 32** : Photo de *Boletus satanas*, le plus toxique des *Boletus*

**Figure 33** : Photo de *Boletus appendiculatus*, un comestible modeste

**Figure 34** : Photo de *Chalciporus piperatus*, un champignon au gout poivré

**Figure 35** : Photo de *Gomphidius glutinosus*, un champignon très visqueux

**Figure 36** : Photo de *Leccinum aurantiacum*, le meilleur des *Leccinum*

**Figure 37** : Photo d'un *Leccinum* très commun mais sans intérêt : *Leccinum scabrum*

**Figure 38** : Photo de *Leccinum versipelle*, peu répandu mais recherché

**Figure 39** : Photo d'*Omphalotus illudens*, champignon mortel présentant un intérêt pharmaceutique

**Figure 40** : Photo d'*Hygrophoropsis aurantiaca*, très commun et confondu avec la girolle

**Figure 41** : Photo de *Cantharellus cibarius*, champignon emblématique de nos forêts et très recherché

**Figure 42** : Photo de *Paxillus filamentosus*, un champignon à la comestibilité suspecte

**Figure 43** : Photo de *Paxillus involutus*, mortel

**Figure 44** : Photo de *Suillus colinitus*, peu commun

**Figure 45** : Photo de *Suillus granulatus*, caractéristiques identiques à *Suillus colinitus*

**Figure 46** : Photo de *Suillus luteus* : très visqueux avec un voile

**Figure 47** : Photo de *Suillus variegatus*, très répandu

**Figure 48** : Photo de *Xerocomus badius*, très répandu et réputé pour son gout

**Figure 49** : Photo de *Xerocomus chrysantheron*, très reconnaissable

**Figure 50** : Photo de *Xerocomus subtomentosus*, très répandu

**Figure 51** : Clé de détermination des principaux *Boletus*

**Figure 52** : Clé de détermination des principaux *Leccinum*

**Figure 53** : Clé de détermination principaux des *Suillus* et *Xerocomus*

**Figure 54** : Carte du relief du département de l'Isère

**Figure 55** : Caractéristiques du syndrome paxillien

**Figure 56** : Caractéristiques du syndrome résinoïdien

**Figure 57** : Photo de l'entolome livide, très toxique

**Figure 58** : Photo du tricholome tigré, également très toxique

**Figure 59** : Schéma des effets du cadmium sur la cellule

## LISTES DES ABRÉVIATIONS

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique

**ARN** : Acide Ribonucléique, acide nucléique essentiel dans le transport du message génétique et la synthèse des protéines. Il est la copie d'un brin d'ADN.

**DFG** : débit de filtration glomérulaire. Il permet de connaître la capacité de filtre des reins. Il s'exprime en ml/min.

**DMSA** : acide dimercaptosuccinique. Composé soufré utilisé pour la chélation de métaux lourds comme le mercure.

**ECG** : Electrocardiogramme, enregistrement électrique de l'activité cardiaque, représentée sur un graphique.

**ET743** : Ecteinascidin-743, agent alkylant aux propriétés anticancéreuses issu d'une éponge, *Ecteinascidia turbinata* Herdman, présente dans les mangroves.

**G/L** : Giga par litre

**HER II** : *Human Epidermal Growth factor receptor 2* : récepteur présent à la surface des cellules permettant sa croissance.

**Ma** : Millions d'années

**NADPH** : Nicotinamide Adénine Dinucléotide PHosphate : Cofacteur d'oxydoréduction utilisé par les cellules dans les mécanismes de croissance et de protection vis-à-vis du stress oxydant.

**NFS** : Numération Formule Sanguine, elle permet de compter l'ensemble des cellules sanguines. Leucocytes (globules blancs), hématies (globules rouges) et thrombocytes (plaquettes).

**ng** : nanogramme

**UV** : Ultra-violet

**µm** : micromètre

**µM** : micromole

## GLOSSAIRE

**Adné** : se dit de lames qui s'attachent perpendiculairement au pied et sans descendre sur ce pied.

**Agent alkylant** : substance capable de se fixer sur les molécules d'ADN empêchant la réplication et la division cellulaire.

**Angiogenèse** : processus de croissance de nouveaux vaisseaux sanguins. C'est un mécanisme normal qui peut devenir pathologique dans le cas des cancers notamment.

**Anurie** : absence d'urine dans la vessie.

**Dicaryon** : cellule où persistent deux noyaux.

**Diploïde** : se dit d'une cellule qui contient chaque chromosome en deux exemplaires.

**Echancré** : En forme de V.

**Effet cytostatique** : Se dit d'une substance ou procédé pouvant freiner voire stopper la croissance cellulaire.

**Electrophorèse** : Migration de particules chargées électriquement sous l'effet d'un champ électrique.

**Haploïde** : se dit d'une cellule qui contient chaque chromosome en un seul exemplaire.

**Hyménium** : il s'agit de la partie fertile du champignon. Il se présente sous forme de lames, tubes, aiguilles ou plis.

**Liaison osidique** : liaison chimique covalente entre une fonction alcool et une fonction acide de sucres appelés oses.

**Méiose** : processus de division cellulaire qui permet la formation des gamètes.

**Moraine** : débris de roche entraînés par un glacier en formant un grand tas.

**Oligurie** : quantité d'urine émise insuffisante.

**Phylogénie** : étude des relations de parentés entre différents êtres vivants en vue de comprendre leur évolution.

**Pulviné** : se dit d'un pied en forme de coussin ou qui en évoque la forme.

**Radicant** : en forme de racine.

**Réplication** : Processus au cours duquel l'ADN est synthétisé.

**Réticulé** : recouvert d'un réseau en filet.

**Roches métamorphiques** : roches issues de la transformation à l'état solide des roches sédimentaires ou magmatiques dues à des modifications physico-chimiques notamment la pression et la température. Cette modification se traduit par une modification de l'assemblage minéralogique.

**Roches sédimentaires** : elles proviennent de l'accumulation de sédiments d'origines diverses, ils forment des couches superposées, appelées strates.

**Sporophore** : également appelé carpophore qui correspond à la totalité de la partie visible du champignon.

**Stipe** : le pied du champignon.

**Thalle** : corps végétatif des organismes non-mobile, l'ensemble forme le mycélium.

**Transcription** : Mécanisme permettant la création d'un brin d'ARN à partir de l'ADN. C'est la première étape de la synthèse protéique.

## INTRODUCTION

Il y a encore quelques années la mycologie était un enseignement important dans les études de Pharmacie, et les pharmaciens avaient des bases suffisamment solides pour permettre une identification des principales familles de champignons.

Aujourd'hui, la mycologie est toujours enseignée en faculté de Pharmacie. Cependant, la réduction du nombre d'heures d'enseignements et le peu d'attrait envers la mycologie ont conduit à avoir moins de pharmaciens officinaux capables d'identifier des champignons. Rappelons que la reconnaissance mycologique est une des obligations du pharmacien. Les ramasseurs de champignons peuvent être également orientés vers les sociétés mycologiques (celles présentes en région Auvergne-Rhône-Alpes sont listées en Annexe 8). Il convient de leur conseiller de ne ramasser et consommer uniquement les espèces qu'ils connaissent. C'est dans ce contexte qu'est né le sujet de cette thèse de mycologie afin d'aider mes confrères pharmaciens et le grand public à bien identifier les champignons, en ciblant les Bolétales. Lors de mes recherches bibliographiques, j'ai découvert diverses publications sur des molécules fongiques ayant un possible intérêt thérapeutique.

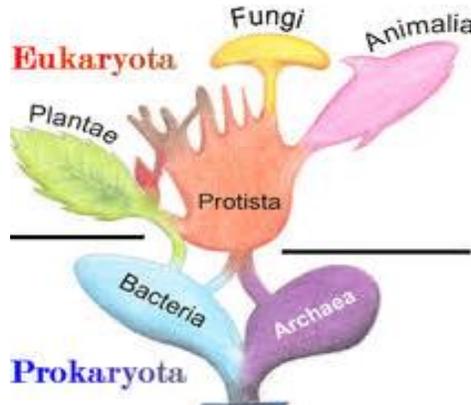
Dans ce mémoire, un rappel sur les caractéristiques des Basidiomycètes est présenté, puis l'ordre des Bolétales est détaillé avec les différentes familles et genres le composant. La répartition départementale (Isère) est étudiée avec l'analyse des éléments indispensables au développement fongique. En dernier lieu, nous aborderons les molécules issues des Bolétales, actuellement étudiées en vue d'un possible intérêt pharmaceutique.

# **PARTIE I**

## **LES BASIDIOMYCÈTES**

## I.1. Le règne fongique

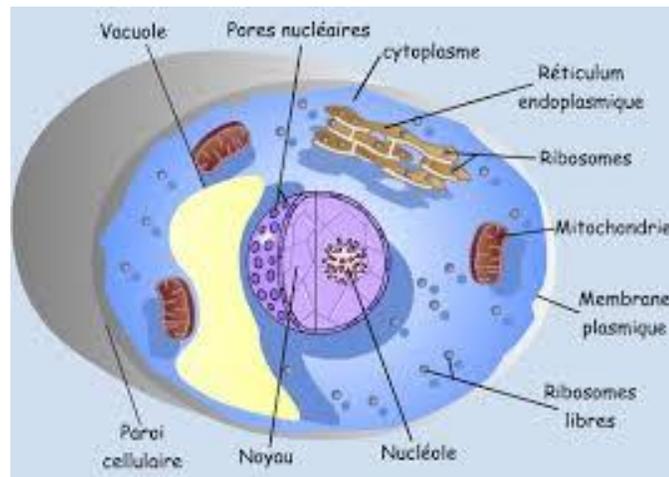
Le règne fongique fait partie de l'un des six règnes du monde vivant (Figure 1). Certains champignons microscopiques, formant les Micromycètes, ne seront pas abordés dans ce travail.



**Figure 1** : Les différents règnes du monde vivant (1)

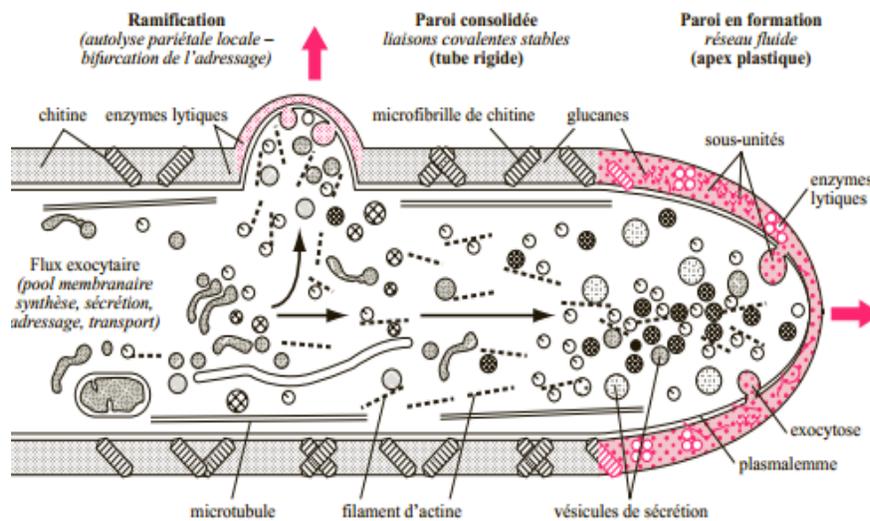
Parmi ces Micromycètes, certains sont très utiles comme les levures (champignons unicellulaires), d'autres sont nuisibles aux cultures (mildiou) ou provoquent des maladies chez l'Homme ou les animaux ; les gros champignons forment les Macromycètes. Tous ces champignons quel que soit leur taille produisent des spores et sont incapables de se déplacer, ils doivent trouver leur nourriture dans le sol à partir de matière organique vivante ou morte. On recense dans le monde plus de deux millions d'espèces de champignons, parmi eux plus de 50.000 Macromycètes et rien qu'en France on en dénombre un peu plus de 300 espèces (2) (3). Parmi ces 300 espèces, on trouve deux grandes divisions : les Ascomycètes et les Basidiomycètes. Dans ce mémoire, seuls les Basidiomycètes seront étudiés. Notons juste que parmi les Ascomycètes, on trouve certaines espèces très connues comme la morille (*Morchella esculenta*, L. Pers.) ou la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum*, Vittad.). Les Basidiomycètes sont des champignons que tout le monde connaît, ce sont les « champignons à chapeau ».

## I.2. Composition d'une cellule fongique



**Figure 2** : schéma d'une cellule fongique (4)

À la différence des bactéries constituées d'une cellule procaryote, la cellule fongique est dite eucaryote (comme les végétaux et les animaux). Elle est constituée d'une paroi de glucane et de chitine (Figure 2) (5), (les autres éléments constituant cette cellule sont nommés sur la Figure 2), l'ensemble des cellules forment un filament appelé thalle. L'ensemble des thalles constitue le mycélium du champignon, appareil végétatif de ce dernier. Pour les Macromycètes, les parois de chaque cellule persistent formant un thalle dit cloisonné.



**Figure 3** : Schéma de la croissance d'une cellule fongique (5)

Le mycélium se développe à l'extrémité du thalle par la présence d'un flux éxocyttaire transportant les vésicules qui contiennent les précurseurs de la paroi. Ces vésicules permettent la croissance en longueur du thalle, en revanche il n'y a pas de croissance en largeur.

Pour se nourrir le champignon doit absorber les nutriments présents dans le sol, malheureusement ces nutriments, trop volumineux ne peuvent franchir la paroi. Le champignon produit alors des enzymes qui dégradent les substrats permettant l'absorption des molécules organiques (Figure 3) (5).

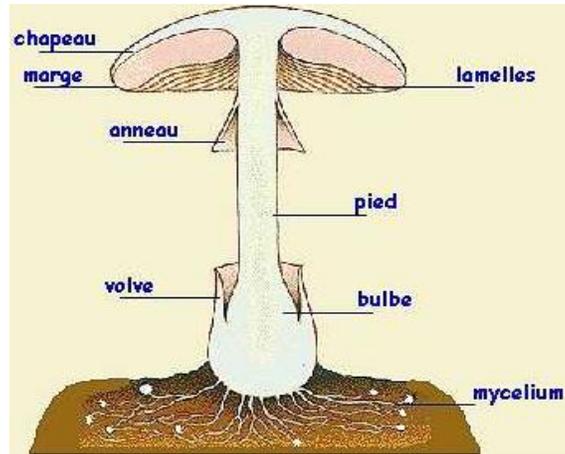


**Figure 4** : Photo de croissance dit en « rond de sorcière » (6)

Le mycélium d'un champignon absorbe la nourriture du sol. Au fur et à mesure qu'il se développe, ce mycélium consomme ces nutriments, et de ce fait, la matière organique non absorbée se trouve toujours d'un même côté, provoquant le développement du mycélium en un cercle appelé « rond de sorcière » (Figure 4).

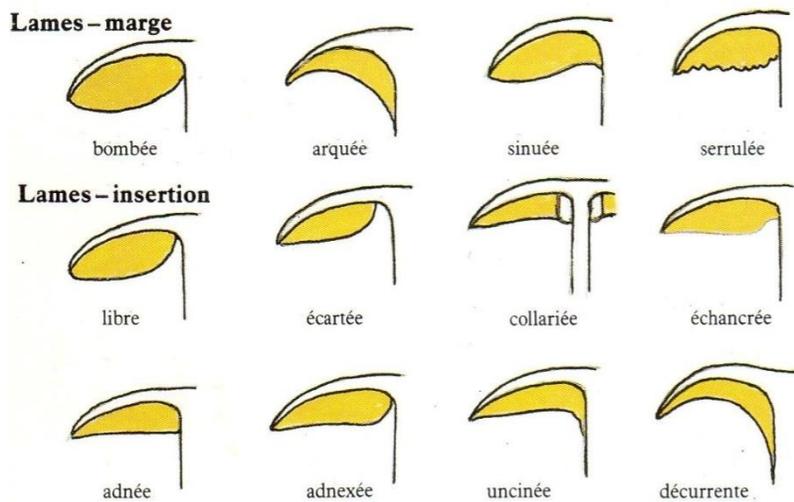
### **I.3. Anatomie des champignons**

La majorité de l'appareil végétatif du champignon, situé sous terre est formé par le mycélium. La partie visible appelée sporophore (l'organe reproducteur du champignon) est constituée du chapeau, du stipe (ou pied) ainsi que des tubes ou des lames (voir aiguillons ou plis) : l'hyménium qui contient les spores (sous le chapeau) (Figure 5) (7).



**Figure 5** : Schéma de l'anatomie d'un champignon (8)

La Figure 6 montre les différentes façons dont les lames peuvent s'insérer au stipe, sous le chapeau.

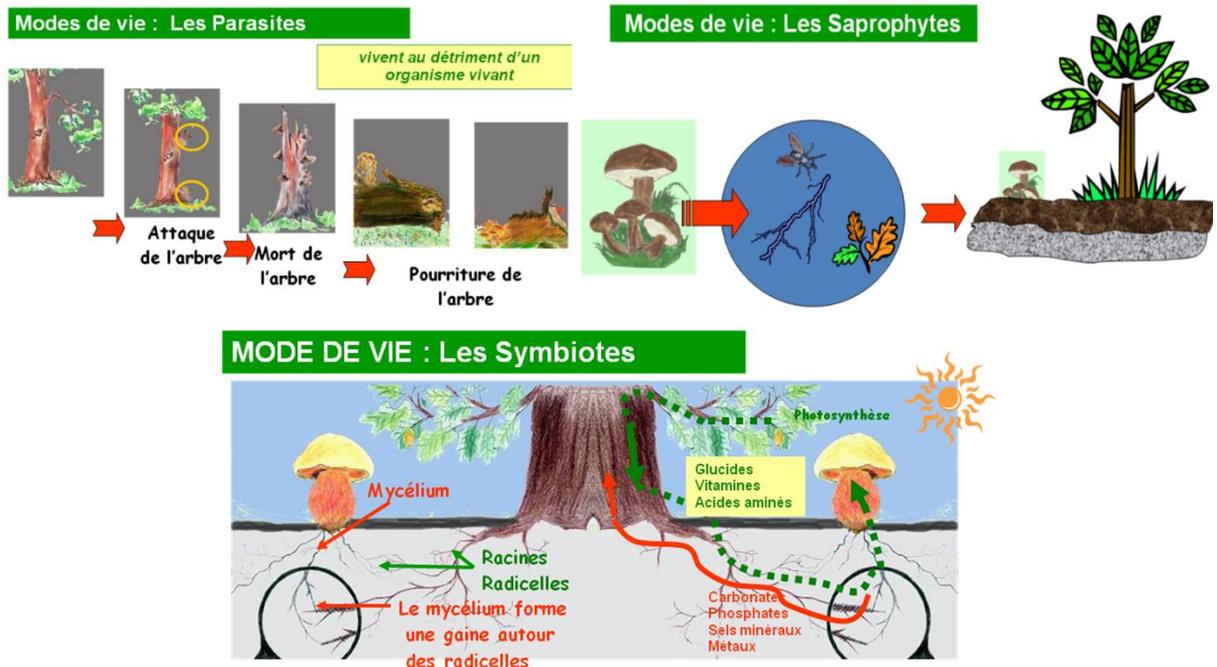


**Figure 6** : Mode d'attachement des lames au pied du champignon (9)

Certains champignons présentent une volve à la base du pied et/ou un anneau au milieu du stipe (Figure 5) (3).

#### **I.4. Mode de vie des champignons**

Les champignons se développent selon trois modes de vie. Certains se nourrissent de bois en décomposition, permettant la production d'humus : ils sont dits saprophytes. D'autres vivent aux dépend d'un hôte qu'ils parasitent. Ils y trouvent nourriture et abri lui permettant de se reproduire (malheureusement à terme l'hôte fini par en mourir).



**Figure 7** : Les différents modes de vie des champignons (10)

Cependant, la plupart des champignons vivent en association avec un végétal (on parle de symbiotisme), cette relation s'établit entre les racines de l'arbre et le mycélium du champignon, formant un mycorhize. Dans cette association, chacun apporte des éléments vitaux à l'autre : le champignon apporte eau et sels minéraux à l'arbre qui en échange lui fournit de la matière organique. Le champignon apporte également une hormone, l'auxine indispensable à la croissance de l'arbre (7).

Les champignons protègent l'arbre contre des agents pathogènes en produisant des antibiotiques et en stockant certains métaux qui à forte concentration sont nocifs pour l'arbre. Ils les protègent également contre le gel *via* la production de sucres rendant les racines plus résistantes (Figure 7).

Les champignons mycorrhiziens sont un indice de l'état de santé d'une forêt :

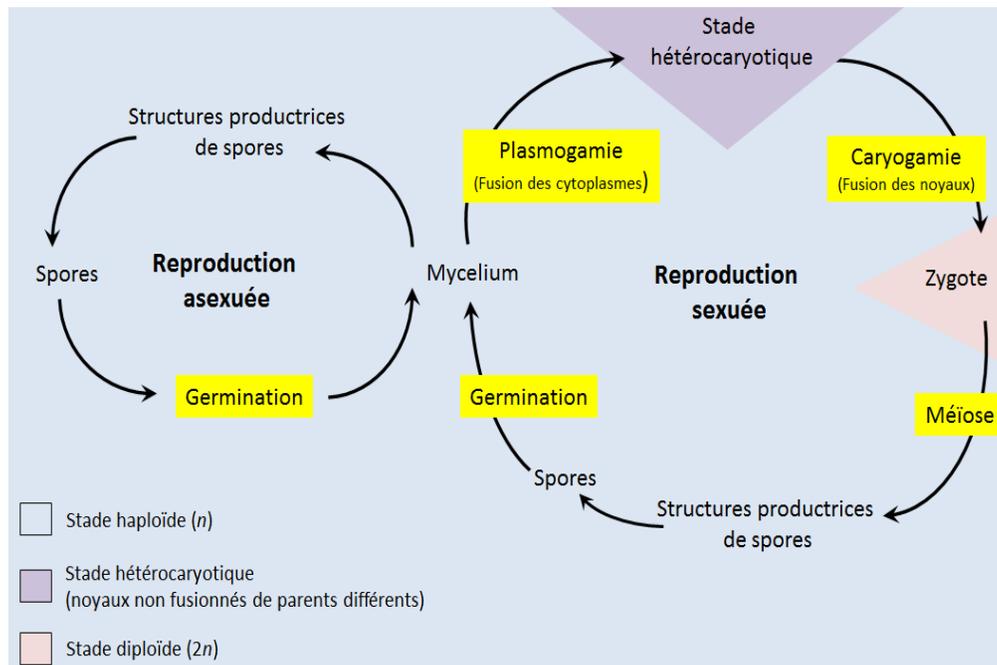
- un écosystème en bonne santé présente entre 45 et 50% de mycorhizes,
- une forêt polluée n'en comporte que 10%, et certains de ces mycorhizes sont aujourd'hui en déclin, voir menacés d'extinction pour 18% d'entre eux (10).

Les principales causes invoquées sont la pollution de l'air et les changements climatiques qui auraient plusieurs conséquences :

- d'abord un retard dans la pousse des champignons d'automne dû à un allongement de la période de végétation,

- puis une précocité dans la croissance des champignons de printemps dû à des hivers raccourcis.

Longtemps suspectée, la récolte des champignons par arrachage ou coupe du pied a été mise hors de cause. En revanche, le piétinement lié à la récolte réduit le nombre de carpophores de 70%. Cette production pourrait néanmoins retrouver sa quantité initiale si le piétinement cesse (11) (10).

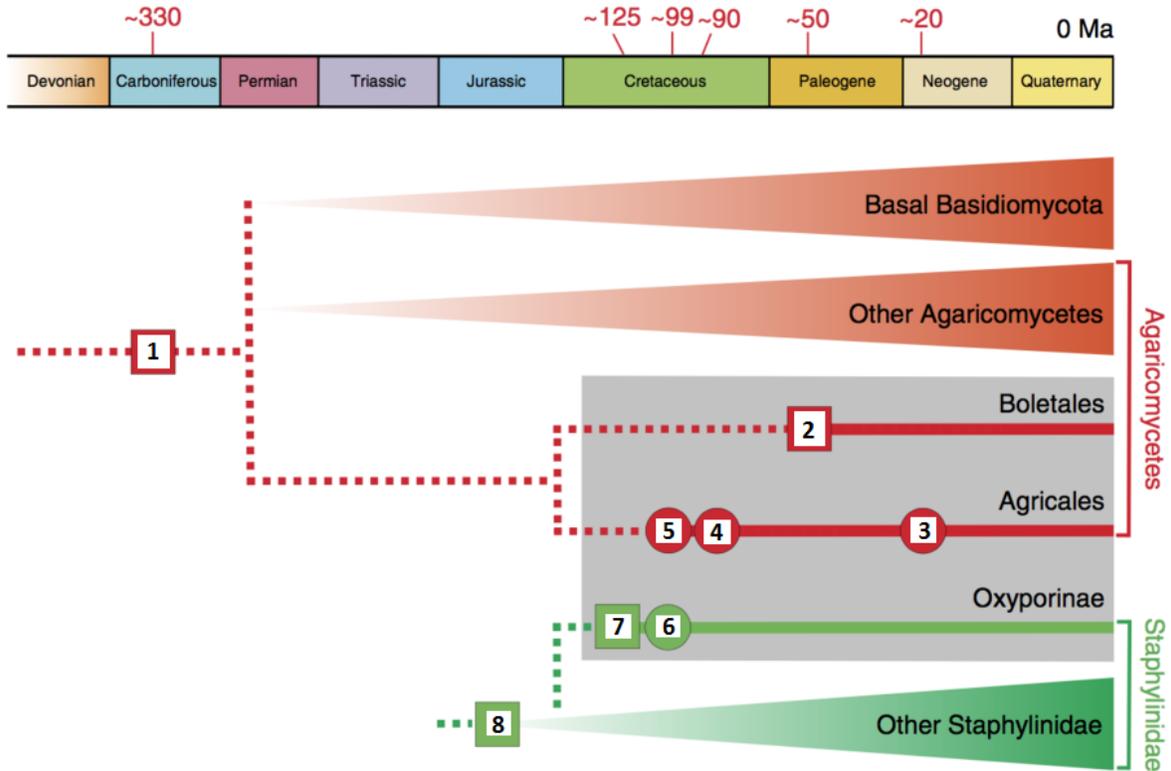


**Figure 8** : Schéma explicatif de la reproduction des champignons (12)

Les Basidiomycètes ont une reproduction sexuée conduisant à la formation du carpophore (ou sporophore), organe reproducteur du champignon. Dans l'hyménium, se trouve des millions de spores libérées à maturité. Contrairement aux végétaux et animaux où il existe des cellules sexuelles mâles et femelles, chez les champignons, on parle de spores positives et négatives. Lorsque des spores de polarité opposée se rencontrent – transportées par le vent –, leurs cytoplasmes fusionnent mais pas leur noyau ; on obtient alors une cellule nommée dicaryon. C'est sous cette forme que le champignon va vivre une grande partie de sa vie. C'est en phase de stress (changement de température, manque de nourriture...) que les deux noyaux du dicaryon fusionnent formant une cellule diploïde. C'est à partir de cette cellule diploïde que se forme le carpophore, où a lieu une méiose créant 4 spores haploïdes (2 positives et 2 négatives), ces spores très légères sont transportées pour former un nouveau mycélium (Figure 8). Dans ce mode de reproduction, il y a brassage génétique entre les deux spores d'origine-

Les Basidiomycètes se reproduisent également d’une manière asexuée, processus ne faisant pas intervenir les spores. Cette reproduction donne naissance à des clones où il n’y a pas eu de brassage génétique.

### I.5-Apparition des premiers champignons



**Figure 9** : De l’apparition des champignons à aujourd’hui (13)

Sans entrer dans les détails en paléontologie, la Figure 9 montre l’origine des champignons et leur évolution. Pour des raisons de clarté, j’ai décidé de ne développer que l’ensemble des embranchements indiqués en rouge dans cette figure.

Les champignons sont des organismes qui se fossilisent mal (absence de graine ou de noyau). Néanmoins, les plus anciens spécimens retrouvés remontent à la période du Silurien située vers la fin de l’ère primaire (environ 400 Ma). À l’époque, ils s’agissaient d’organismes unicellulaires vivant dans l’eau. Un peu plus tard, au Carbonifère (vers 330 Ma), les champignons sont sortis de l’eau pour s’aventurer sur terre grâce à des conditions plus favorables (n° 1 sur la Figure 9). C’est également au cours de cette période que le pétrole et le charbon se forment (d’où le nom donné par les géologues). Plus tard, au début de l’ère secondaire (celle des dinosaures), au cours du Trias,

le champignon ancêtre des champignons actuels donnent naissance aux premiers embranchements. L'un d'entre eux – il y a 150 Ma (Jurassique) – est à l'origine des Agaricomycètes (ou Basidiomycètes). Il y a 99 Ma, une nouvelle évolution se produit conduisant à un embranchement qui donnera les *Agaricales* (n° 3, 4 et 5 sur la Figure 9). L'embranchement à l'origine des *Bolétales* apparaît au cours de l'ère tertiaire, il y a 50 Ma (n° 2 sur la Figure 9). Pour résumer, les premiers champignons apparus il y a 400 Ma ont progressivement évolué au cours des ères secondaires et tertiaires pour finalement donner la diversité actuelle (13).

### **I.6-Comment identifier un champignon ?**

L'identification d'un champignon n'est pas toujours facile à réaliser. Dans ce paragraphe, nous donnons les clés nécessaires à l'identification des principales familles fongiques (Figure 10). Une clé de détermination plus complète est donnée en Annexe 9.

Pour commencer, regardons la présence de lames ou de tubes sous le chapeau :

- s'il y a des tubes, nous sommes en présence de *Boletaceae*,
- si ce sont des lames, il faut aller plus loin.

Regardons la nature du pied :

- s'il est cassant avec production d'un latex à la cassure, nous avons un lactaire,
- s'il n'y a pas de latex, nous avons une russule (Figure 10).

Lorsque le pied est fibreux, regardons si le stipe et le chapeau sont séparables :

- si c'est le cas, en présence d'une volve et d'un anneau, c'est une *Amanitaceae*, à sporée blanche (Figure 10),
- lorsqu'il n'y a ni anneau ni volve, nous avons une *Pluteaceae*, à sporée rose,
- et enfin, lorsque la sporée est rose (à l'état jeune) puis virant sur le brun pourpre, c'est un *Agaricaceae*.

Lorsque le pied n'est pas séparable du chapeau, la couleur de la sporée va nous aider à l'identification (Figure 10) ; si elle est :

- rose, nous avons des *Entolomataceae*,
- blanche, ce sont des *Tricholomataceae*,
- noire, il s'agit de *Cortinariaceae*.

On n'oublie pas les *Bolétales* à lames dont les caractéristiques seront décrites dans la partie II de ce mémoire.

1	Le champignon a une volve et ...		... un anneau :	AMANITE			
			... pas d'anneau :	VOLVAIRE			
2	il a un anneau	le pied et le chapeau ne se séparent pas facilement:		les lamelles descendent nettement le long du pied : ARMILLAIRE			
				les lamelles ne descendent pas le long du pied : PHOLIOTE			
2		le pied et le chapeau se séparent facilement :		les lamelles blanches restent blanches chez le champignon âgé : CYSTODERME LEPIOTE			
				les lamelles deviennent roses puis brunes : PSALIOTTE			
				les lamelles deviennent noires et liquides : COPRIN			
3	le pied n'est pas attaché au centre du chapeau ( parfois pas de pied )				PLEUROTE		
4	La chair est ferme ; le pied se casse net , comme un morceau de craie .			La chair contient du lait : LACTAIRE			
				La chair ne contient pas de lait : RUSSULE			
5	Sur le jeune champignon , on observe des filaments fins (la cortine) entre le bord du chapeau et le pied .			Le champignon pousse sur du bois mort : HYPHOLOME			
				Le champignon pousse sur le sol	Les lamelles ne descendent pas le long du pied	brunes	HEBELOME
						variées	CORTINAIRE
		Les lamelles descendent :		GOMPHIDE			
6	Les lamelles descendent le long du pied .	Les lamelles sont épaisses	Les lamelles forment de gros plis , chapeau en entonnoir : CHANTERELLE				
			Les lamelles sont espacées , le chapeau est visqueux	chapeau blanc ou assez vif : HYGROPHORE			
		chapeau brun , roux et violet : GOMPHIDE					
		Les lamelles sont minces	Les lamelles ne se séparent pas facilement du pied : CLITOCYBE				
Les lamelles se séparent facilement de la chair : CLITOPILE ou PAXILE							
7	Les lamelles sont plus ou moins échanquées	Les lamelles sont de couleur rose saumon : ENTOLOME					
		Les lamelles sont de couleur brun sale : HEBELOME					
		Les lamelles sont de couleur variée	chapeau à fibres rayonnantes et bord fendu :		INOCYBE		
	Chapeau lisse ou à quelques stries :		TRICHOLOME				
	Les lamelles ne sont pas échanquées	Les lamelles blanches deviennent noires puis liquides :			COPRIN		
		Les lamelles sont espacées , même couleur que le pied et le chapeau :			LACTAIRE		
Les lamelles sont de couleur variée		Le pied n'est pas fin :			COLLYBIE		
		Le pied est en général très fin	Les lamelles sont blanches :		MYCENE		
Les lamelles sont de couleur variée et il se dessèche sans pourrir			MARASME				

Figure 10: Clé de détermination des Basidiomycètes (14)

### **I.7-Conditions favorables au développement des Basidiomycètes**

Pour permettre à un champignon de se développer, des conditions hydriques favorables et des températures clémentes sont indispensables. Lorsque le sol est trop sec, sa température trop élevée (ou négative), aucune pousse fongique n'est possible. En revanche, après une bonne pluie apportant au moins 30 mm d'eau et si la température du sol est proche de 15°C, la pousse sera importante. Néanmoins pour certains Basidiomycètes, un seul critère peut suffire à déclencher une pousse. Par exemple pour le cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*, Bull. : Fr.), un choc thermique c'est-à-dire une baisse brutale de la température du sol peut déclencher une pousse, les premiers cèpes sortiront alors de terre 10 jours après. Pour le cèpe d'été (*Boletus aestivalis*, Schaeff.), c'est un choc hydrique qui provoquera la poussée, expliquant sa forte présence après un bel orage l'été. D'autres facteurs sont également à prendre en compte comme la nature du sol, le relief ou la flore présente (15).

## **PARTIE II**

### **LES BOLÉTALES**

## II.1-Classification des Bolétales

### II.1.1-Caractéristiques générales

Avant de commencer cette classification, je voudrais souligner que certains Bolétales ont la particularité de devenir bleu très facilement dès qu'ils subissent un choc ou une blessure. Attention : ce n'est pas un signe de toxicité bien au contraire puisque certains d'entre eux sont de très bons comestibles. Pour devenir bleu, le bolet doit contenir un chromogène (substance potentiellement colorable) : l'acide variégatique. En contact avec de l'oxygène et de l'eau, cet acide est transformé en bolétoquinone, une substance naturellement bleue.

Il est à noter que quatre bolets à chair blanche (*Boletus edulis*, le cèpe bronzé (*Boletus aereus*, Bull. : Fr.), *Boletus aestivalis* et le cèpe des pins (*Boletus pinophilus*, Pilát & Dermek)) ne possèdent pas d'acide variégatique : leur chair reste blanche d'où leur nom de cèpes (16) (17).

Attention à certaines espèces à chapeaux blancs souvent toxiques, amères ou indigestes (18). Les Bolétales à pores roses indiquent souvent une amertume insupportable et il est préférable de les rejeter. Enfin, les Bolétales visqueux ont des propriétés laxatives : il convient donc de les rejeter ou de retirer la cuticule (19).

Pied Caverneux ou creux	
Tubes blancs, pores fins, pas d'anneau	<i>Gyroporus</i>
Tubes jaunes puis verts, pores larges, anneau fugace	<i>Boletinus</i>
Pied plein, épais, réticulé ou ponctué, renflé voir obèse	<i>Boletus</i>
Pied plein, cylindrique, plutôt fin	
Pied pelucheux ou écailleux	
Pied fortement pelucheux, chapeau couvert, mèches brunes	<i>Strombilomyces</i>
Pied dur, moucheté de flocons écailleux, chapeau lisse	<i>Leccinum</i>
Pied lisse, réticulé ou velouté	
Pied central, séparable du chapeau	
Tubes roses, pied réticulé ponctué de sombre	<i>Tylophilus</i>
Tubes et chair toujours mêlés de jaune	
Chapeau sec, parfois visqueux	<i>Xerocomus</i>
Chapeau visqueux, pelable, pied granuleux	<i>Suillus, Chaliciporus</i>

**Figure 11** : Clé de détermination des Bolétales.

D'après la classification, les Bolétales font partie de l'embranchement des Basidiomycètes. Ils sont constitués d'un hyménium mou, à tubes ou à lames, détachable de la chair ; d'où la classification Bolétales à tubes et Bolétales à lames. Leur stipe (pied) est pulviné, parfois obèse, élancé et

recouvert d'un réseau ou de méchules, leur chapeau est souvent recouvert d'un petit duvet. La chair généralement blanche-beige peut virer au bleu-vert (Figure 11) (20). On compte environ 140 espèces et sont regroupés en une douzaine de genres différents que nous allons maintenant détailler. Pour des raisons de simplification ne seront abordés dans ce travail que les genres des familles de Bolétales suivantes : *Boletaceae*, *Paxillaceae*, *Suillaceae*, *Gomphidiaceae* et les *Hygrophoropsisdaceae*. L'ensemble des familles de Bolétales se trouve en Annexe 11.

### **II.1.2-Bolétales à tubes**

#### **Le genre *Boletus***

Genres de Bolétales très connus, caractérisés par un pied ventru à obèse, en forme de massue avec un réseau de maille. Le chapeau peut être lubrifié ou sec, convexe et épais. Les tubes sont colorés du rouge au marron en passant par le verdâtre et peuvent bleuir au toucher (la chair également) (Figures 11 et 12) (21). On dénombre une cinquantaine d'espèces dont certains sont d'excellents comestibles comme *Boletus edulis*.



**Figure 12** : Photo d'un *Boletus* : *B. aereus* (21)

#### **Le genre *Boletinus***

Beaucoup moins courants, les champignons du genre *Boletinus* sont caractérisés par un pied



**Figure 13** : Photo d'un *Boletinus* : *B. cavipes* (22)

creux d'une dizaine de centimètres de longueur. Ce stipe peut avoir un voile qui disparaît avec l'âge laissant la place à un anneau fugace. Le chapeau souvent brun (environ 5-10 cm de diamètre) est arrondi avec un mamelon central, portant des tubes allant du jaune-olive au brun (Figures 11 et 13). Ils sont généralement retrouvés sous les mélèzes (*Larix decidua*, Mill.). Parmi les espèces connues citons le bolet à pied creux (*Boletinus cavipes*, Opat.) qui ne présente aucun intérêt gustatif.

#### **Le genre *gyroporus***

Ils sont caractérisés par un stipe brun-velouté, creux et cassant comme de la craie. Leur chapeau de 5 à 10 centimètres de diamètre est généralement plan. De couleur blanche, les tubes sont décollés du pied par la présence d'un sillon central. On les retrouve sous tous types de sols, aussi bien sous les résineux que les feuillus voir en lisière de forêt (Figures 11 et 14) (30). On ne compte que deux espèces en Europe : le bolet châtain (*Gyroporus castaneus*, Bull. : Fr.) et le bolet bleuisant (*G. cyanescens*, Bull. : Fr.).



**Figure 14** : Photo d'un *Gyroporus* : *G. castaneus*, le plus représentatif du genre (23)

### **Le genre *Tylopilus***

On ne trouve qu'un seul représentant en Europe : le bolet amer (*Tylopillus felleus*, Bull. : Fr.)

Le pied (longueur : 10 à 15 cm, diamètre : 2 à 5 cm) est cylindrique et présente un réseau brun. Son chapeau brun-faune de 6 à 15 cm de diamètre est hémisphérique et glabre. Sa chair est rose et très amère le rendant immangeable. Les tubes sont fins et longs, les pores blancs deviennent d'un rose caractéristique en vieillissant. Les spores mesurent 12\*4 µm.

On retrouve le bolet amer sur sol siliceux, sous les conifères et les feuillus de juin à novembre (Figures 11 et 15) (29) (30).



**Figure 15** : Photo de *Tylopilus felleus*, unique représentant européen (29)

### **Le genre *Chalciporus***

Leur stipe est cylindrique, court, plein et prumineux. Leur chapeau brun-marron, de 1 à 6 cm de diamètre est convexe et sec au toucher. Les tubes sont foncés et radicants, les pores de couleurs cuivre virent légèrement au rose au toucher. Enfin la sporée est brun-rouille (Figures 11 et 16) (24) (30).

On ne compte que 4 espèces en France dont le plus connu est le bolet poivré (*Chalciporus piperatus*, Bull. : Fr.).



**Figure 16** : Photo d'un *Chalciporus* : *C. piperatus*, le plus fréquent du genre (24)

### **Le genre *Leccinum***

Le pied est plein, dur, cylindrique avec de nombreux flocons écailleux noirs à sa surface. Leur chapeau est lisse voir velouté. La chair est blanche mais peut devenir noire au toucher ou à l'air libre. Les pores sont blancs puis deviennent jaunes (Figures 11 et 17) (31). On compte qu'une quarantaine d'espèces en Europe, certains sont de bons comestibles comme le bolet orangé (*Leccinum aurantiacum*, Bull. : Fr.).



**Figure 17** : Photo d'un *Leccinum* : *L. duriusculum* (34)

### **Le genre *Xerocomus***

Leur stipe est plein, cylindrique, mince et long. Leur chapeau est sec, parfois craquelé. De couleur jaune les tubes sont séparables du chapeau, leurs pores de la même couleur peuvent bleuir au toucher (Figures 11 et 18) (19). On compte une quarantaine d'espèces, certains sont de bons comestibles comme le bolet bai (*Xerocomus badius*, Fr.).



**Figure 18** : Photo d'un *Xerocomus* : *X. badius*, très commun (25)

### **Le genre *Suillus***

Le pied est plein, cylindrique, ponctué et peut avoir une cortine ou un anneau. Leur chapeau est visqueux, convexe avec une cuticule. Les pores sont jaune-vert. On les retrouve sous les conifères (Figures 11 et 19) (32). Il existe une vingtaine d'espèces comme la nonette voilée (*Suillus luteus*, L.), comestible à condition de retirer la cuticule du chapeau, laxative. Il convient malgré tout de les rejeter.



**Figure 19** : Photo d'un *Suillus* caractéristique : *S. luteus* (57)

### **Le genre *Strobilomyces***

On ne trouve qu'un seul représentant de ce genre : le bolet pomme de pin (*Strobilomyces strobilaceus*, Scop.). Son stipe gris-noir est fibrilleux, cylindrique (longueur : 8 à 15 cm, diamètre : 1 à 3 cm) et recouvert de nombreuses peluches. Son chapeau gris-noir, de 5 à 10 cm de diamètre est hémisphérique avec lui aussi de très nombreuses peluches à sa surface. Sa chair blanche vire au rouge en cas de blessures, sauf le pied qui lui devient noir. Les tubes grisâtres sont longs,

échancrés, mous et séparables du chapeau, les spores sont brunes, larges et réticulées (10-13\*8-10  $\mu\text{m}$ ) (Figures 11 et 20) (35).

Le bolet pomme de pin ne présentant aucun intérêt gustatif est retrouvé sous feuillus.



**Figure 20** : Photo de la seule espèce du genre : *S. strobilaceus* (36)

### **II.1.3-Bolétales à lames**

#### **Le genre *Gomphidius***

Leur pied est visqueux avec en plus la présence d'une zone annulaire sur la partie supérieure. Leur chapeau est mamelonné et (très) visqueux. Les lames sont épaisses, descendantes sur le haut du stipe et séparables du chapeau. Leurs spores sont noire-olive (Figures 10 et 21) (27). Il existe quelques comestibles médiocres, qu'il convient de rejeter comme le gomphide glutineux (*Gomphidius glutinosus*, Schaeff. & Fr.).



**Figure 21** : Photo d'un *Gomphidius* : *G. glutinosus*, le plus représentatif (26)

#### **Le genre *Omphalotus***

Il s'agit de champignon possédant un chapeau plat puis creux d'une dizaine de centimètres de diamètre, le stipe est fin et fibreux. Les lames sont serrées et décurrentes sur le haut du pied (Figure

22) (27) (28). L'ensemble du champignon est orange vif, luminescent qu'il est possible de confondre avec la girolle. Il n'existe que quelques espèces comme le clitocybe illusoire (*Omphalotus illudens*, Schwein.), mortel.



**Figure 22** : Photo d'*Omphalotus olearius*, représentant mortel du genre (50)

### **Le genre *Hygrophoropsis***

Leur pied est généralement grêle, plein et excentré, de couleur jaune-orangé. Leur chapeau de la même couleur que le stipe est convexe puis étalé ; il présente une marge mince et légèrement enroulée (Figure 23). Les lames sont serrées, décurrentes et de la même couleur que le chapeau. Citons parmi les espèces caractéristiques la fausse girolle (*Hygrophoropsis aurantiaca*, Wulfen.), sans intérêt gustatif et régulièrement confondue avec la girolle (*Cantharellus cibarius*, Fr.).



**Figure 23** : Photo d'*Hygrophoropsis aurantiaca*, espèce la plus caractéristiques du genre (51)

### **Le genre *Paxillus***

Leur pied peut être central ou latéral et leur chapeau en forme d'entonnoir caractéristique possède une marge plus ou moins enroulée. Les lames sont minces, réunies en alvéoles et très facilement séparables du chapeau (Figure 24) (33). Citons parmi les espèces connues le paxille enroulé

(*Paxillus involutus*, Batch.), longtemps considéré comme comestible mais qui depuis est classé comme mortel à cause de nombreux accidents.



**Figure 24** : Photo de *Paxillus involutus*, espèce caractéristique du genre (54)

Comment différencier les genres *Boletus* et *Suillus* ?

Le Tableau 1 résume les différences entre les genres *Boletus* et *Suillus* au sein des Bolétacées :

<i>Boletus</i>	<i>Suillus</i>
Tubes arrondis de taille homogène	Tubes angulaires de taille variable
Spores assez allongées et de grande taille	Spores allongées mais de petite taille
Gros pied voire obèse sans voile	Pied petit, cylindrique avec un voile
Pied jamais visqueux	Parfois visqueux (surtout <i>Gomphidius</i> )
Champignon de taille modéré à grande	Champignon de petite à taille modéré
Pousse sous des forêts mixtes	Pousse sous les forêts de conifères

**Tableau 1** : Différences entre les genres *Boletus* et *Suillus*.

Comment identifier une espèce de la famille des *Boletaceae* ?

Pour commencer, regardons la couleur de la chair et surtout voir si elle change lorsqu'on la touche. Ensuite regardons la forme et l'aspect du pied (réticulé, avec plaques, lisse...). Pour continuer, regardons s'il y a présence de cuticule, voile ou anneau, puis la forme et la couleur de la sporée. Enfin, un point important à regarder, souvent négligé, concerne le milieu (biotope) où pousse le champignon.

## **II.2-Classification phylogénétique des champignons**

### **II.2.1- Première étude sur la classification des *Bolétales* basées sur l'analyse des ADN nucléaire et mitochondrial**

Comme pour tout organisme vivant, les scientifiques ont voulu réaliser une classification des champignons dont les Bolétales. Une première classification de la famille des Boletaceae – encore utilisée – séparent les bolets à tubes de ceux à lames. C'est cette classification que nous utilisons dans ce mémoire.

À la suite des séquençages des ADN nucléaire et mitochondrial, une classification récente a été proposé en 2008 à partir de 46 séquences d'ADN nucléaire et 27 d'ADN mitochondrial issus de 24 espèces étudiées en Caroline du Nord et en Virginie (37). Sur les 854 séquences d'ADN nucléaire, 510 sont communes à l'ensemble des espèces, ainsi qu'avec 278 des 466 séquences d'ADN mitochondrial. L'analyse génétique plus détaillée montre une différence de 98 bases (sur 466) pour les ADN mitochondriaux entre les genres *Boletus* et *Xerocomus*, et plus de 130 entre les genres *Paxillus*, *Chalciporus* et les autres Bolétales.

Cette analyse est plus complexe concernant les ADN nucléaires puisqu'au sein d'un même genre, les variations de bases (sur 854 séquences) sont importantes :

- 86 pour le genre *Xerocomus*,
- plus de 100 pour les genres *Leccinum* et *Suillus* (37).

En résumé, si nous devions classer génétiquement les genres (des plus proches aux plus éloignés) au sein des Bolétales, par rapport au genre *Boletus*, nous aurions : *Boletus*, *Xerocomus*, *Leccinum*, *Suillus* et enfin les Bolétales à lames.

### **II.2.2- Deuxième étude sur la classification fongique**

Une deuxième étude sur la classification fongique (38) a été menée dans le but de remonter vers un éventuel ancêtre commun à tous les Bolétales. Pour cela, 134 séquences d'ADN nucléaire provenant de 60 espèces des Bolétales ont été étudié. Ces travaux montrent que *Boletus edulis* possède 130 bases de différence (sur 600) avec le bolet à chair jaune (*Xerocomus chrysanteron*, Bull. : Fr.), et plus de 250 avec le bolet Satan (*Boletus satanas*, Lenz.). Cela souligne que le genre *Boletus* ne présente pas une classe homogène sur le plan génétique, alors qu'elle l'est plus sur le plan morphologique.

Les auteurs soulignent que s'il existe un ancêtre commun à *Boletus satanas* et *B. edulis*, celui-ci est plus ancien que celui entre *B. edulis* et *Xerocomus chrysantheron*.

Dans cette étude phylogénétique, les espèces des genres *Suillus* et *Gomphidius* sont au sein des Bolétales les champignons qui varient le plus (avec 115 bases d'ADN différentes). Cela montre que dans la classification, leur séparation des autres Bolétales à tubes est plus ancienne.

Nous pouvons conclure, d'après cette étude, la possible existence d'un ancêtre commun à tous les Bolétales qui aurait par la suite évolué pour donner d'une part, les *Suillus* et *Gomphidius*, et d'autre part, les autres Bolétales à tubes (38).

S'il a existé, l'ancêtre commun à tous les Bolétales, a donné deux embranchements : les Bolétales à lames et les Bolétales à tubes. Ce dernier s'est séparé à son tour donnant les *Suillus* (et *Gomphidius*) et les autres Bolétales à tubes.

### II.3-Listes des Bolétales du Dauphiné

Nous dressons dans ce chapitre la liste des principaux Bolétales, genre par genre, présents en Isère. Seront développés leurs caractéristiques morphologiques, les conditions de croissance et les confusions possibles.

#### **Cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*), comestible réputé et recherché**

Le stipe du cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*) est blanc, épais, charnu voir obèse (longueur : 12 à 18 cm, diamètre : 3 à 6 cm) avec de nombreux réseaux blancs. Le chapeau de couleur noisette, de 8 à 30 cm de diamètre, est massif et charnu devenant de plus en plus plat avec l'âge. La chair est blanche immuable, ferme et a une faible odeur de noisette. Les tubes sont longs, fins et facilement détachables du chapeau. Au départ blanc, ils deviennent verts au fil du temps (spores 13-18\*4-6 µm).



**Figure 25** : Photo du cèpe de Bordeaux, *Boletus edulis*, le roi de la forêt (39)

Le cèpe de Bordeaux est retrouvé sous les chênes pédonculés (*Quercus robur*, L.) et les châtaigniers (*Castanea sativa*, Mill.) mais également dans des endroits dégagés et aérés comme les bords de chemin, il préfère les sols siliceux. On le trouve de juin à novembre jusqu'à 2.000 m d'altitude. Il est considéré comme le meilleur des Boléales (Figures 25 et 51) (39). Il peut être confondu avec *Boletus aereus*, *B. aestivalis* ou *B. pinophilus*, sans conséquence puisqu'ils sont tous d'excellents comestibles.

### **Cèpe d'été (*Boletus aestivalis*), comestible réputés**

Le pied du cèpe d'été (*Boletus aestivalis*) est brun-pâle, obèse (longueur : 10-15 cm, diamètre : 2-4 cm) et présente à sa surface un réseau brun. Son chapeau brun-pale, de 5 à 10 cm de diamètre est convexe et légèrement craquelé. La chair est blanche immuable et ferme. Les tubes sont blancs, pouvant devenir vert avec l'âge, les spores sont identiques à celles de *Boletus edulis*.



**Figure 26** : Photo de *Boletus aestivalis*, plus rare mais tout aussi recherché (40)

Le cèpe d'été est retrouvé sous les châtaigniers et les charmes (*Carpinus caroliniana*, L.) mais également en lisière de forêt jusqu'à 1.000 m d'altitude, poussant généralement après un orage (Figures 51 et 26) (40). Comme le cèpe de Bordeaux il est très apprécié des gourmets.

### **Cèpe bronzé (*Boletus aereus*), comestible réputé**

Le stipe du cèpe bronzé (*Boletus aereus*) est brun clair est trapu voir obèse (longueur : 6 à 12 cm, diamètre : 5 à 8 cm) avec un vaste réseau brun à sa surface. Le chapeau brun-noir mesure une quinzaine de centimètres de diamètre, il est convexe et charnu. Sa chair est blanche immuable et ferme. Les tubes sont blancs, les spores mesurent 12-15\*4-5 µm.



**Figure 27** : Photo de *Boletus aereus*, tout aussi réputé que les deux autres (21)

On trouve le cèpe bronzé sous les chênes, principalement en plaine de fin juillet à début octobre dans les régions sèches et ensoleillées (Figures 27 et 51) (21). C'est un comestible très réputé.

### **Bolet blafard (*Boletus luridus*), toxique**

Le stipe du bolet blafard (*Boletus luridus*, Schaeff.) est évasé, jaune ocre plus violacé à la base et contient un vaste réseau rouge (longueur : 2 à 7 cm, diamètre : 8 à 15 cm). Le chapeau de couleur chamois mesure une dizaine de centimètres de diamètre, il est convexe et se tache en noir au toucher. La chair est dure, de couleur rouge devenant bleue à la coupe. Les tubes sont jaunes sauf à leurs extrémités où ils sont rouges, ils deviennent bleus au toucher ou à l'air libre, les spores sont brunes olive (12-16\*5-7 µm).



**Figure 28** : Photo de *Boletus luridus*, un bolet aux nombreuses confusions (41)

Le bolet blafard est trouvé dans tout type de forêt sur sol calcaire jusqu'à 1.500 m d'août à octobre. Toxique, il convient de le rejeter (Figures 28 et 51) (41). Il peut être confondu avec le bolet Satan, très toxique ou le bolet à pied rouge (*Boletus erythropus*, Rostk.), comestible cuit.

### **Bolet à pied rouge (*Boletus erythropus*), comestible cuit**

Le stipe du bolet à pied rouge (*Boletus erythropus*) est jaune-orange, dur, ventru (longueur : 12 à 18 cm, diamètre : 3 à 5 cm) et recouvert de points jaunes-rouges sur son ensemble. Son chapeau brun-foncé avec des nuances olivacées mesure de 5 à 20 cm de diamètre, il est massif, charnu et velouté. Sa chair jaune devient bleu vif au toucher, comme l'ensemble du champignon. Les tubes sont rouge vif, longs et séparables du chapeau, les spores mesurent 16-20\*6-7 µm.



**Figure 29** : Photo de *Boletus erythropus*, toxique cru (42)

Le bolet à pied rouge se trouve sous les chênes ou les conifères dans un sol siliceux de préférence, jusqu'à 1.300 m d'altitude de mai à octobre. Toxique à l'état cru, il peut être confondu avec le bolet à beau pied (*Boletus calopus*, Pers.), le bolet des loups (*Boletus lupinus*, Costanzo, Gelardi, Simonini & Vizzini), le bolet blafard ou le bolet Satan, champignons sans intérêt gustatif voir toxique (Figures 29 et 51) (42).

### **Cèpes des pins ou Cèpe Acajou (*Boletus pinophilus*), comestible réputé**

Le pied du cèpe des pins (*Boletus pinophilus*) est brun-jaune, trapu, parfois obèse (longueur : 3 à 8 cm, diamètre : 5 à 20 cm) et recouvert d'un réseau brun. Son chapeau de couleur acajou, de 4 à 25 centimètres de diamètre est convexe, charnu, sec au toucher et recouvert d'une cuticule pruveuse blanche. Sa chair ferme est blanche immuable. Les tubes sont blancs, adnés, marginés puis verdissent légèrement avec l'âge, les spores sont olive (5-20\*5-7 µm).



**Figure 30** : Photo de *Boletus pinophilus* aussi réputé que *B. edulis* (43)

On trouve le cèpe des pins sous les résineux, le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*, L.) en particulier, sur sols non calcaires de septembre à novembre jusqu'à 2.000 m d'altitude (Figures 30 et 51) (43). C'est un comestible très recherché.

### **Bolet de plomb (*Boletus torosus*), toxique**

Le stipe du bolet de plomb (*Boletus torosus*, Fr. & Hök) est de couleur jaune, obèse et recouvert d'un réseau concolore. Le chapeau d'une vingtaine de centimètre de diamètre est convexe, large et recouvert d'une marge irrégulière de couleur jaune devenant rapidement jaune sale. La chair est jaune, épaisse et dense. L'ensemble du champignon vire au bleu au moindre toucher (Figure 31). Les tubes sont jaunes puis verts et les spores font 13-15\*5-7 µm.



**Figure 31** : Photo de *Boletus torosus* à la comestibilité suspecte (44)

Le bolet de plomb est retrouvé sous les feuillus (surtout chênes) et les conifères de juillet à octobre en plaine, jusqu'à 1.000 m d'altitude. Sa comestibilité est suspecte, il convient donc de le rejeter.

### **Bolet Satan (*Boletus satanas*), toxique**

Le stipe du bolet Satan (*Boletus satanas*) est rouge devenant orange au sommet, trapu, court, très ventru (longueur : 6 à 10 cm, diamètre : 10 à 15 cm) et recouvert d'un réseau fin rouge. Son chapeau blanc sale pouvant devenir vert est volumineux (de 5 à 30 cm), convexe, légèrement velouté et plus ou moins bosselé. On y trouve une marge lisse et très épaisse. La chair blanche pouvant légèrement bleuir est ferme puis spongieuse à forte odeur nauséuse. Les tubes sont longs, jaunes devenant légèrement vert et les spores mesurent 11-15\*5-6 µm.



**Figure 32** : Photo de *Boletus satanas*, le plus toxique des *Boletus* (45)

On retrouve le bolet Satan sur sols calcaires, sous les chênes, les châtaigniers et les hêtres (*Fagus sylvatica*, L.) de juin à septembre voire novembre au sud de Valence. En revanche on ne le trouve qu'en plaine et de préférence dans les régions chaudes et sèches surtout après un gros orage (Figures 32 et 51) (45). Toxique, il provoque de violentes diarrhées. La molécule responsable de cette toxicité semble être la bolésatine. Des confusions avec *Boletus calopus*, *B. erythropus* ou *B. luridus* sont possibles.

### **Bolet appendiculé (*Boletus appendiculatus*), comestible correct**

Le stipe du bolet appendiculé (*Boletus appendiculatus*, Schaeff.) est jaune citron, volumineux, peu ventru (longueur : 2 à 5 cm, diamètre : 5 à 15 cm) et recouvert d'un réseau jaune dont la base est ponctuée de rouge. Le chapeau jaune-fauve mesurant une quinzaine de centimètres est étalé, ridé, cabossé et recouvert d'une cuticule rouge craquelée. La chair jaune pâle peut légèrement bleuir, elle a une odeur de noix caractéristique. Les tubes jaunes sont longs, adnés et séparables de la chair, les spores mesurent 10 µm de diamètre.



**Figure 33** : Photo de *Boletus appendiculatus*, un comestible modeste (46)

Le bolet appendiculé est retrouvé sous les feuillus, sols acides et calcaires, il peut être confondu avec le bolet royal (*Boletus regius*, Krombh.) (Figures 33 et 51) (46). Il s'agit d'un comestible correct.

#### **Bolet poivré (*Chalciporus piperatus*), consommable en condiment**

Le pied du bolet poivré est jaune cuivre, très fin, cylindrique, fibrilleux et courbé (longueur : 5 cm, diamètre : 1 cm). Le chapeau jaune cuivre, de 5 cm de diamètre est convexe, épais et charnu. On note la présence d'une cuticule très collante difficile à séparer. La chair jaune légèrement rosâtre est molle et spongieuse, elle a un gout poivré caractéristique. Les tubes sont brun-rouille immuable au toucher, ils descendent légèrement sur le pied. Les spores (8-12\*4-5  $\mu\text{m}$ ) sont orange, allongées et larges.



**Figure 34** : Photo de *Chalciporus piperatus*, un champignon au gout poivré (24)

On retrouve le bolet poivré sous les conifères et les bouleaux (*Betula pendula*, L.) de septembre à octobre jusqu'à 1.800 m d'altitude (Figures 34 et 53) (24).

Son gout très poivré le rend consommable en tant que condiment.

### **Gomphide glutineux (*Gomphidius glutinosus*), comestible après retrait du voile visqueux**

Le stipe du gomphide glutineux (*Gomphidius glutinosus*) est jaune à la base, blanc au sommet, fin, court (longueur : 5 à 10 cm, diamètre : 1 à 2 cm) et spongieux, il noircit avec l'âge et possède une zone annulaire. Le chapeau brun-clair, plus foncé au centre d'une dizaine de centimètres de diamètre est convexe, étalé avec un mamelon central. On peut noter la présence d'une marge enroulée, reliée au pied par un voile visqueux. La chair est blanche, un peu plus jaune vers la base du pied. Les lames d'abord blanches puis noires sont espacées, épaisses et séparables du chapeau, les spores noires font 17-20\*7 µm.



**Figure 35** : Photo de *Gomphidius glutinosus*, un champignon très visqueux (26)

On trouve le gomphide glutineux sous les épicéas (*Picea abies*, L.), en plaine et jusqu'à 1.500 m de juillet à octobre (Figure 35) (26). C'est un comestible très médiocre, une fois le voile visqueux retiré qu'il convient de rejeter.

### **Bolet orangé (*Leccinum aurantiacum*), bon comestible**

Le pied du bolet orangé (*Leccinum aurantiacum*) est blanc, ferme, cylindrique, trapu (longueur : 15 à 20 cm, diamètre : 3 à 5 cm) et recouvert de squames blancs devenant brun-roux. Sa base est souvent vert-bleu le devenant encore plus à la pression. Le chapeau orange abricot, de 8 à 25 cm de diamètre est charnu, sphérique, globuleux puis convexe, il contient une cuticule séparable du chapeau et une marge repliée. La chair blanche puis noire est ferme mais se ramollit avec l'âge. Les tubes sont grisâtres, longs, fins et adnés, les spores mesurent 16-20\*4-5 µm.



**Figure 36** : Photo de *Leccinum aurantiacum*, le meilleur des *Leccinum* (47)

Le bolet orangé est retrouvé sous les bouleaux lorsque le sol est argileux de septembre à octobre (Figures 36 et 52) (47).

Bon comestible, on peut le confondre avec le bolet roux (*Leccinum versipelle*, Fr. & Hök). Pour l'identifier on peut utiliser du fer, en effet en contact de ce dernier il devient vert-olive ou du formol qui le colore en rose.

#### **Bolet rude (*Leccinum scabrum*), sans intérêt culinaire**

Le pied du bolet rude (*Leccinum scabrum*, Bull. : Fr.) est blanc, cylindrique (longueur 8 à 20 cm, diamètre 1 à 3 cm), renflé à la base, fibreux et possède de nombreuses squames noirâtres. Le chapeau brun-tabac de 5 à 20 cm de diamètre est convexe, soyeux et se craquèle avec le temps, sa marge est légèrement débordante. La chair blanche immuable est ferme puis molle. Les tubes sont blancs puis gris, longs, adnés et marginés, les spores mesurent 16-20\*5-6 µm.



**Figure 37** : Photo d'un *Leccinum* très commun mais sans intérêt : *Leccinum scabrum* (48)

Le bolet rude se trouve sous les pins et les bouleaux de juin à octobre jusqu'à 2.000 m d'altitude.

Il ne présente aucun intérêt culinaire (Figures 37 et 52) (48). En présence de sulfate de fer il devient gris-bleu ce qui permet son identification.

### **Bolet roux (*Leccinum versipelle*), comestible très modeste**

Le pied du bolet roux (*Leccinum versipelle*) est verdâtre, renflé au niveau de sa base (longueur : 10 à 20 cm, diamètre : 2 à 4 cm) et recouvert de petits squames noirs sur son ensemble. Son chapeau jaune-orange est convexe, visqueux avec une marge légèrement débordante. Sa chair blanche immuable est molle. Les tubes sont fins, gris puis crème et les spores font de 16-20\*5-7  $\mu\text{m}$ .



**Figure 38** : Photo de *Leccinum versipelle*, peu répandu mais recherché (49)

On retrouve le bolet roux sous les bouleaux et sols acides. C'est un comestible très modeste, (Figures 38 et 52) (49).

### **Clitocybe trompeur (*Omphalotus illudens*), mortel**

Le stipe du clitocybe trompeur (*Omphalotus illudens*) est orange, long, cylindrique (longueur : 5 à 15 cm, diamètre : 1 à 2 cm), fibreux et recouvert d'un petit duvet blanc lorsqu'il est jeune. Son chapeau orange vif, de 10 à 15 cm est convexe puis plat avec un petit mamelon central, la marge est enroulée. L'ensemble du champignon est luminescent ce qui en fait un moyen d'identification. Les lames sont décurrentes, très serrées et non séparables du chapeau. Les spores sont blanches et arrondies (7\*6  $\mu\text{m}$ ).



**Figure 39** : Photo d'*Omphalotus illudens*, champignon mortel présentant un intérêt pharmaceutique (28)

Le clitocybe illusoire est retrouvé sur les souches de châtaigniers et de chênes (Figure 39) (28). Champignon mortel, il peut être confondu avec la fausse girolle (*Hygrophoropsis aurantiaca*) et la girolle (*Cantharellus cibarius*). La toxine impliquée est l'illudine.

**Fausse girolle (*Hygrophoropsis aurantiaca*), aucun intérêt**

Le pied de la fausse girolle (*Hygrophoropsis aurantiaca*) est orange vif, central, mince (longueur : 3 à 5 cm, diamètre : 0,5 cm) et fibreux. Son chapeau orange vif, plus prononcé au centre, de 3 à 10 cm de diamètre est convexe ou plat, velouté, peu charnu avec une légère marge enroulée un peu plus clair. Sa chair jaune-orangée est molle mais n'est pas lumineuse. Les lames sont très serrées, fourchues, descendantes sur le pied et séparables du chapeau, les spores mesurent 5-8\*3-5 µm.



**Figure 40** : Photo d'*Hygrophoropsis aurantiaca*, très commun et confondu avec la girolle (51)

La fausse girolle se trouve sur les souches de feuillus ou de pin, elle pousse en troupe et résiste aux premières gelées, elle ne présente aucun intérêt gustatif (Figure 40) (51).

### **Girolle ou chanterelle (*Cantharellus cibarius*), excellent réputé**

Le pied de la girolle (*Cantharellus cibarius*) est jaune œuf, court (longueur : 2 à 4 cm, diamètre : 1 cm), plein et charnu. Son chapeau d'une dizaine de centimètres de diamètre, de même couleur que le stipe, en forme de coupe est peu profond et charnu. La chair est très charnue, blanche légèrement jaune et non fluorescente. Elle ne possède pas de tubes ni de lames mais des plis jaunes, profonds et épais qui descendent sur le pied, les spores sont jaunes et elliptiques (10\*6 µm).



**Figure 41** : Photo de *Cantharellus cibarius* champignon emblématique de nos forêts et recherché (52)

La girolle est retrouvée sous feuillus mais également dans les clairières. Contrairement au clitocybe qui pousse en touffe sur des souches, la chanterelle forme de vaste tapis au sol. Il s'agit d'un des champignons les plus courant de France, c'est aussi un comestible très réputé (Figure 41) (52).

### **Paxille des aulnes (*Paxillus filamentosus*), pas d'intérêt, peut être mortel**

Le stipe du paxille des aulnes (*Paxillus filamentosus*, Scop.) est jaune pâle, cylindrique, légèrement rétréci à la base et se tache en brun au toucher. Le chapeau brun-jaune, de 6 à 12 centimètres de diamètre est convexe avec un léger mamelon central, il a une forme d'entonnoir et une marge non enroulée. Sa surface est lisse et brillante avec des stries foncées et cannelées. La chair est roussâtre. Les lames brun-jaunes virant au rouge au toucher sont serrées, étroites, décourbées et séparables du chapeau, les spores sont identiques à celle de *Paxillus involutus* (Figure 42) (53).



**Figure 42** : Photo de *Paxillus filamentosus*, un champignon à la comestibilité suspecte (53)

Le paxille des aulnes est retrouvé en bord de rivière ou des lacs de montagnes principalement sous les aulnes (*Alnus serrulata*, Mill.) jusqu'à 1.600 m.

Il ne présente aucun intérêt gustatif et est suspecté d'avoir provoqué des décès.

#### **Paxille enroulé (*Paxillus involutus*), mortel**

Le pied du paxille enroulé est brun-jaune, court (longueur : 4 à 8 cm, diamètre : 1 à 2 cm) et parfois tacheté de zones ocres. Le chapeau est de même couleur que le pied avec des reflets olive, il mesure de 10 à 15 cm de diamètre et a une forme d'entonnoir. Sa marge est fortement enroulée et sa chair molle. Les lames jaunes puis rapidement noires sont serrées, décourantes et séparables du chapeau, les spores font 9\*5 µm.



**Figure 43** : Photo de *Paxillus involutus*, mortel (54)

Le paxille enroulé est retrouvé sur tous types de sols, forêts ou prairies et à toutes altitudes de juin à mi-novembre (Figure 43) (54). Pendant très longtemps, il fut considéré comme comestible mais de nombreux accidents dont certains mortels font qu'il est préférable de le rejeter. Sa toxicité est

basée sur un mécanisme auto-immun provoquant une coagulation de l'ensemble des hématies. La ou les toxines impliquées sont aujourd'hui inconnues.

### **Bolet à base rose (*Suillus collinitus*), comestible correct**

Le stipe du bolet à base rose (*Suillus collinitus*, Fr) est jaune vif au sommet, blanc à la base, cylindrique, trapu et radicant (longueur : 1 à 3 cm, diamètre : 5 à 10 cm) avec de fines granulations roussâtres. Le chapeau brun, de 5 à 15 cm de diamètre est convexe, charnu, difforme, vergeté de noir et avec une marge légèrement excédante. La chair est ferme, de couleur jaune pâle, un peu plus rose à la base du pied. Les tubes sont jaunes devenant vert avec l'âge et les spores mesurent 8-10\*5 µm.



**Figure 44** : Photo de *Suillus collinitus*, peu commun (55)

Le bolet à base rose se trouve sous les pins lorsque le sol est calcaire, du mois d'aout au mois de novembre. Il s'agit d'un comestible correct (Figures 44 et 53) (55).

### **Bolet granulé (*Suillus granulatus*), comestible correct**

Le pied du bolet granulé (*Suillus granulatus*, L.) est blanc à jaune pâle, cylindrique, trapu, radicant (longueur : 5 à 10 cm, diamètre : 1 à 3 cm) et légèrement recouvert de granules laiteuses jaunâtres. Le chapeau beige-ocre puis brun, de 5 à 15 cm de diamètre est convexe, visqueux et charnu avec un léger reflet rougeâtre. La chair est également jaune. Les tubes jaune vif sont courts, adnés et fins, les spores font environ 10\*4 µm.



**Figure 45** : Photo de *Suillus granulatus*, caractéristiques identiques à *S. collinitus* (56)

On trouve le bolet granulé sous les résineux, lorsque le sol est calcaire, du mois d'août au mois de novembre. Comme le bolet à base rose il s'agit d'un comestible correct (Figures 45 et 53) (56).

#### **Nonette voilée (*Suillus luteus*), comestible mais peut-être laxative**

Le stipe de la nonette voilée (*Suillus luteus*) est jaunâtre, cylindrique, court, massif (longueur : 5 à 8 cm, diamètre : 1 à 2 cm) et couvert de granulations brunâtres sous le chapeau. On peut noter la présence d'un anneau membraneux ample, épais, de couleur blanche puis violet sur la partie supérieure. Le chapeau brun-chocolat, de 5 à 10 cm de diamètre est convexe, charnu et très visqueux avec des reflets violacés, il a tendance à se strier avec l'âge. Blanche immuable, la chair est épaisse et ferme. Les tubes jaune-vert sont adnés, courts et recouvert d'un voile membraneux sur les sujets jeunes, les spores mesurent 9-10\*3-4  $\mu\text{m}$ .



**Figure 46** : Photo de *Suillus luteus* : très visqueux avec un voile (57)

La nonette voilée est retrouvée sous les pins et sols calcaires jusqu'à 1.300 m d'altitude de juin aux premières gelées (Figures 46 et 53) (57). Elle est comestible à condition de retirer le voile qui est laxatif.

### **Bolet tacheté (*Suillus variegatus*), comestible médiocre**

Le pied du bolet tacheté (*Suillus variegatus*, O. Kuntze) est jaune-pale, cylindrique (longueur : 4 à 11 cm, diamètre : 1 à 3 cm), ferme et glabre. Le chapeau brun sale, de 5 à 15 cm de diamètre est visqueux, convexe et recouvert d'écailles. Il contient une marge lisse, enroulée et peu débordante. La chair jaune crème, à forte odeur de Javel caractéristique est ferme et peut bleuir dans la zone des tubes. Les tubes sont adnés, jaune moutarde puis vert avec le temps, les spores font 8-12\*3-4 µm.



**Figure 47** : Photo de *Suillus variegatus*, très répandu (58)

Le bolet tacheté se trouve sous les résineux et sols peu calcaires jusqu'à 2.000 m d'altitude, de juin à novembre (Figures 47 et 53) (58). Comestible très médiocre, on peut le confondre avec le bolet des bouviers (*Suillus bovinus*, L.).

### **Bolet bai (*Xerocomus badius*), très bon comestible**

Le stipe du bolet bai est brun-jaune, grêle, cylindrique (longueur : 4 à 14 cm, diamètre : 1 à 3 cm), fibreux et recouvert de chinures longitudinales brunes et pruineuses. Le chapeau également brun-jaune de 3 à 5 cm de diamètre est convexe puis plat, velouté avec une petite cuticule visqueuse par temps humide. La chair blanche à jaune est ferme puis molle, elle bleuie très légèrement au toucher. Les tubes sont jaunes, adnés, longs et peuvent bleuir, les spores font 14\*4-5 µm.



**Figure 48** : Photo de *Xerocomus badius*, très répandu et réputé pour son gout (25)

On trouve le bolet bai sur sols siliceux, sur les bois de conifères en décomposition de juin à novembre (Figures 48 et 53) (25). Très bon comestible, il est préférable de ne consommer que le chapeau. Il peut être confondu avec *Boletus edulis* ou *Tylopilus felleus* immangeable.

#### **Bolet à chair jaune (*Xerocomus chrysanteron*), comestible très moyen**

Le pied du bolet à chair jaune (*Xerocomus chrysanteron*) est mince, court (longueur : 4 à 5 cm, diamètre : 1 à 2 cm), jaune ponctué de rouge et courbé. Le chapeau brun-gris à brun-rougeâtre, de 4 à 12 cm est convexe et velouté, il contient une marge irrégulière et se craquèle avec l'âge. La chair jaune clair à bluissement léger est molle. Les tubes jaunes à jaune olive sont gros, longs, échancrés et les spores font 13-15\*5  $\mu\text{m}$ .



**Figure 49** : Photo de *Xerocomus chrysanteron*, très reconnaissable (59)

On trouve le bolet à chair jaune dans les forêts de feuillus, parfois sous résineux de juin à novembre (Figures 49 et 53) (59). Comestible très moyen, il convient de le rejeter. Des confusions avec le

bolet bai, le bolet ferrugineux (*Xerocomus ferugineus*, Schaeff.), le bolet rougeâtre (*Xerocomus rubellus*, Krombh.) ou le bolet subtomenteux (*Xerocomus subtomentosus*, L.) sont possibles.

**Bolet subtomenteux (*Xerocomus subtomentosus*), comestible très médiocre**

Le stipe du bolet subtomenteux (*Xerocomus subtomentosus*) est fin, long (longueur : 5 à 10 cm, diamètre : 1 à 2 cm), courbé et de couleur clair, il est constitué de fibrilles un peu plus foncées. Le chapeau jaune olive, d'environ 10 cm de diamètre est convexe, légèrement velouté avec une marge régulière. La chair est molle, de couleur blanche puis légèrement bleue. Les tubes jaune vif sont échancrés, décurrents, les spores font 12-15\*4-5 µm.



**Figure 50** : Photo de *Xerocomus subtomentosus*, *Xerocomus* très répandu (60)

On trouve le bolet subtomenteux sur sols acides dans les forêts de feuillus ou en lisière de juillet à octobre (Figures 50 et 53) (60). Comestible très médiocre, il est préférable de le rejeter.

Les tableaux 2 et 3 permettent d'identifier certains Bolétales pour lesquelles les risques de confusion sont élevés. Les Figures 50, 51 et 52 résument les caractéristiques des Bolétales à tubes retrouvés en Isère.

	<b>Bolet Satan</b>	<b>Bolet à pied rouge</b>	<b>Bolet blafard</b>
<b>Milieu</b>	Chênes et châtaigniers Sols calcaires Régions chaudes et sèches De juin à septembre	Chênes ou conifères Sol siliceux De mai à octobre	Tous type de forêts Aout à septembre Jusqu'à 1.500 m
<b>Chapeau</b>	Volumineux Convexe Marge épaisse Blanc sale	Massif et charnu Brun foncé avec reflet olive	Convexe Couleur chamois Se tache en noir au toucher
<b>Pores</b>	Jaune puis rouge Longs	Longs Séparable du chapeau Rouge vif	Jaune Rouge à l'extrémité Deviens bleu au toucher
<b>Pied</b>	Court Très ventru Rouge, plus orange au sommet Réseau fin rouge	Dur Ventru Point rouge à la surface	Evasé vers le bas Jaune ocre Vaste réseau rouge
<b>Chair</b>	Ferme puis spongieuse Blanche Odeur nauséabonde	Jaune Bleu vif au toucher ou à l'air	Jaune Bleu vif au toucher ou à l'air libre
<b>Comestibilité</b>	Toxique	Comestible après cuisson	Toxique

**Tableau 2** : récapitulatif des caractéristiques de *Boletus satanas*, *Boletus erythropus* et *Boletus luridus*

	<b>Girolle</b>	<b>Clitocybe illusoire</b>	<b>Fausse girolle</b>
<b>Milieu</b>	Bois de feuillus Clairière Vaste tapis au sol	Souches de chêne et châtaignier Pousse en touffe	Souches de pins ou feuillus
<b>Chapeau</b>	En forme de coupe peu profonde Très charnu Couleur jaune œuf	Convexe puis plat Mamelon central orange vif Luminescent	Convexe ou plat Peu charnu Marge enroulée orange pale
<b>Pied</b>	Court Charnu Orange	Long Cylindrique Orange vif Luminescent	Fin et fibreux Central Noircissant avec l'âge
<b>Sporophore</b>	Ride fourchue	Lames décurrentes très serrées	Lames fourchues
<b>Comestibilité</b>	Comestible réputée	Mortelle	Sans intérêt

**Tableau 3** : Récapitulatif des caractéristiques d'*Omphallotus illudens*, *Cantharellus cibarius* et *Hygrophoropsis aurantiaca*.

Pores jaunes	
Chair blanche immuable	
Réseau blanc, chapeau brun, marge pale	<i>Boletus edulis</i>
Réseau brun, chapeau très foncé	<i>Boletus aereus</i>
Réseau brun, chapeau acajou	<i>Boletus pinophilus</i>
Réseau brun, chapeau brun	<i>Boletus aestivalis</i>
Chair jaune, légèrement bleuissante	
Réseau concolore, chapeau brun ocre	<i>Boletus appendiculatus</i>
Pores rouges	
Réseau sur le pied, bleuissement rapide	
Chapeau ocre, pied bulbeux, violacé à la base	<i>Boletus luridus</i>
Chapeau pale, pied obèse, jaune-rouge	<i>Boletus satanas</i>
Pas de reseau	
Chair jaune vif, bleuissement instané	<i>Boletus erythropus</i>

**Figure 51** : Clé de détermination des principaux *Boletus*

Chapeau roux, fauve, pores gris, chair devenant bleu	
Sous bouleaux, chair vivant au violet	
Chapeau roux, mouchetures brunes-rousses sur le pied	<i>Leccinum aurantiacum</i>
Chapeau jaune-orange, mouchetures noires	<i>Leccinum versipelle</i>
Chapeau ni jaune, ni roux, pores blancs	
Chapeau brun, clair immuable	<i>Leccinum scabrum</i>

**Figure 52** : Clé de détermination des principaux *Leccinum*

Espèces de petites tailles, chapeau < 4cm, légèrement visqueux	
Saveur très poivrée, chapeau et pores cuivrés	<i>Chalciporus piperatus</i>
Espèces de taille moyenne, chapeau > 4cm	
Chapeau légèrement visqueux et collant, chair bleuissant à la cassure	
Chapeau bai brun, pores bleuissant au touché	<i>Xerocomus badius</i>
Chapeau finement velouté et sec	
Chair rouge ou rose, chapeau brun-rouge	<i>Xerocomus chrysantheron</i>
Chair brune dans le chapeau, chapeau olive, pores jaune	<i>Xerocomus subtomentosus</i>
Présence d'un anneau plus ou moins fugace	
Espèces propres au pin	
Chapeau brun-violacé, anneau violacée	<i>Suillus luteus</i>
Absence d'anneau	
Chair jaune bleuissant à la cassure	
Chapeau jaune ocre, moucheté, pores olive	<i>Suillus variegatus</i>
Chair jaune ne bleuissant pas	
Granulations brunes-jaunes sur le pied	
Chapeau brun jaune, mycélium jaune	<i>Suillus granulatus</i>
Chapeau brun-jaune, mycélium rose	<i>Suillus colinitus</i>

**Figure 53** : Clé de détermination principaux des *Suillus* et *Xerocomus*

#### II.4-Répartition par secteurs géographique en Isère

Le département de l'Isère est le deuxième plus vaste département de la région Auvergne-Rhône-Alpes, (après celui du Puy-de-Dôme) avec un peu plus de 7.400 km<sup>2</sup>, sur le plan géographique on peut le coupé en deux.

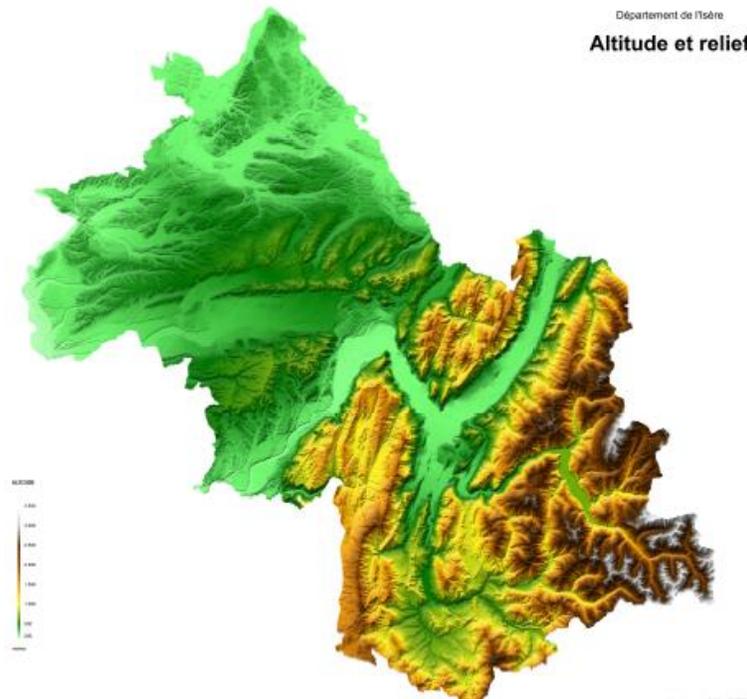
La moitié Nord est plutôt plate, on y trouve de vastes plaines comme celle de la Bièvre ou la Vallée Rhône aux abords de Lyon et sont séparées par des plateaux comme celui des Chambarans. Ce relief est le vestige des anciens glaciers de l'Isère et du Rhône, présents il y a 20.000 ans. Comme l'ensemble des glaciers, ils ont arraché des millions de tonnes de roches aux montagnes qui se sont déposées au niveau de la langue glaciaire. Lorsque les glaciers se sont retirés, ces sédiments ont formé des plateaux comme les Chambarans. Les anciennes vallées glaciaires ont formé les vallées actuelles : la Vallée du Rhône pour le glacier portant le même nom et les plaines de la Bièvre et du Grésivaudan pour le glacier de l'Isère. Ce dernier a façonné le relief de la partie Sud du département. Il a recouvert la quasi-totalité des Préalpes : les massifs de la Chartreuse et du Vercors (plus les Bauges en Savoie) ne laissant émerger que les plus hautes cimes (Chamechaude, Dent de Crolles, Moucherotte) de ces massifs. Lors de son retrait, le glacier a également formé dans la

vallée de l'Isère un vaste lac comme celui du Bourget ou d'Annecy. Comme n'importe quel lac glaciaire, des sédiments se sont déposés sur le fond et lorsque le lac a disparu il y a 10.000 ans, il a laissé la place à l'actuelle vallée.

La moitié Sud est également plus accidentée du fait de la présence des Alpes et des nombreux massifs séparés entre eux par les vallées de l'Isère et du Drac, rivières se rejoignant au niveau de Grenoble pour former le « Y » grenoblois (Figure 54). Cet Y coincé entre les massifs forme la « cuvette grenobloise » donnant à la ville des caractéristiques météorologiques :

- les étés sont chauds (il n'est pas rare d'avoir des températures proches de 35-40°C) et lourds (les orages de fin de journée sont fréquents),
- l'automne et le printemps y sont très pluvieux,
- les hivers sont froids et secs (les températures sont voisines de -5°C, cependant, les chutes de neige sont exceptionnelles).

Le département est découpé en fonctions des zones géographiques remarquables (Annexe 2). Pour chacune d'elles, la nature des sols, la végétation retrouvée et les zones où les Bolétales peuvent se développer seront abordés. Pour chacune d'entre-elles, la liste complète des Bolétales est présente en Annexe 1.



**Figure 54** : Carte du relief du département de l'Isère (61)

#### **II.4.1-Plateau des Chambarans**

Ce plateau est délimité au nord par la plaine de la Bièvre ; à l'ouest par la vallée du Rhône et au sud par la basse vallée de l'Isère, la ville principale est Roybon. Le plateau des Chambarans est constitué d'une partie principale à l'aspect vallonné, dont l'altitude augmente progressivement (149 m aux abords du Rhône, 789 m aux abords de l'Isère) (Annexe 2). Ce plateau correspondant à l'ancienne langue glaciaire est principalement constitué de moraines (ensemble des roches broyées par le glacier tout au long de son parcours). On y trouve aussi bien des roches sédimentaires que granitiques. Sur le plan floral, on note la présence d'une vaste forêt de feuillus au cœur du plateau mais également au niveau de Voiron et de la Côte Saint-André. On dénombre 70 espèces de champignons dont 14 Bolétales. L'ensemble des grands genres à tubes (*Boletus*, *Leccinum*, *Xerocomus*) y sont observés, ainsi que les Bolétales à lames (principalement *Gomphidius et Paxillus*) (Annexe 1).

#### **II.4.2-Avant pays Lyonnais**

Dans cette présentation afin de simplifier nous appellerons « avant-pays Lyonnais » la moitié nord du département située au-delà de la plaine de la Bièvre. Il regroupe : la région de Charvieu-Chavagneux (Isle Crémieu), les secteurs de La Tour du Pin, Bourgoin-Jallieu (Bas-Dauphiné) et Vienne (Vallée du Rhône à proprement parlé) (Annexe 2). Cette zone est principalement constituée de roches calcaires issues des moraines du glacier du Rhône. Le relief est plan, les quelques collines présentes correspondent aux différentes langues formées par le glacier lors de son retrait (Figure 54). Concernant la végétation, des marécages avec des hautes herbes sont principalement rencontrés, les Bolétales ne se développant pas dans ce genre de végétation aucuns n'ont été répertoriés dans la zone (Annexe 1).

#### **II.4.3-Vallée du Grésivaudan**

La vallée du Grésivaudan correspond à la vallée de l'Isère situé entre Chambéry et Tullins *via* Grenoble. Cette vallée est comprise entre le massif de la Chartreuse et la chaîne de Belledonne en amont de Grenoble. Puis entre la Chartreuse et le Vercors en aval de la capitale des Alpes (Figure 54). La partie inférieure de la vallée abrite le lit de l'Isère, elle est constituée de roches provenant de la dernière glaciation et d'alluvions transportés par la rivière. La partie supérieure de la vallée forme les contreforts des massifs. (Annexes 2, 3 et 5). Au niveau géologique, les roches calcaires

retrouvées proviennent des massifs en amont (Bauges, Aravis). Ces roches gênées dans leur écoulement par le rétrécissement naturel de la vallée au niveau de la cluse de Voreppe se sont déposés le long des massifs formant les collines des contreforts (Annexes 2 et 7). Au niveau végétation on trouve de vastes forêts de feuillus sur le versant Chartreuse et d'avantages de conifères sur Belledonne, c'est principalement sur ce versant que l'on trouvera les 11 espèces de Bolétales répertoriées (Annexe 1).

#### **II.4.4-Massif de la Chartreuse**

Le massif de la Chartreuse fait partie des Préalpes comme le Vercors (ou les Bauges en Savoie). Le massif forme un triangle entre les villes de Chambéry, Grenoble et Voiron et est délimité par l'Isère dans les axes Chambéry-Grenoble et Grenoble-Voiron (Figure 54, Annexe 2). Le massif est constitué de roches sédimentaires datant du Crétacé et sont réparties en bande dans un axe SO-NE. Seules exceptions, le secteur nord (région des Echelles et de la Bauche) et les vallées des principaux torrents, constituées de roches provenant de l'ère tertiaire. Les nombreux mouvements de terrain survenus lors de la formation des Alpes ont fini par créer de nombreuses failles, donnant un aspect plissé aux différentes couches formant le massif. Ces failles sont aussi à l'origine de la forme du massif en As de Pique, la pointe étant le sommet de la Bastille de Grenoble (Annexe 3). Les précipitations en Chartreuse sont abondantes et les températures fraîches toute l'année. Les chênes, les charmes et les frênes (*Fraxinus ornus*, L.) ainsi que les hêtres et les sapins forment la végétation principale du massif jusqu'à 1.500 m d'altitude, les pâturages recouvrent quant à eux les plateaux centraux et les principaux sommets. Cette répartition de la végétation associée au faible relief (Chamechaude, point culminant du massif culmine à 2.080 m), aux températures fraîches et aux précipitations importantes explique pourquoi on trouve un nombre important de champignons dont une dizaine d'espèces de Bolétales (Annexe 1).

Prenons l'exemple du massif du Néron, sommet emblématique (1.298 m) de la région grenobloise et du massif. Il est constitué de deux versants, un nord et un sud à la topographie et à la flore totalement différente.

Le versant sud, dont seule la partie inférieure est accessible est constituée de forêts de chênes, de hêtres et de tilleuls propices au développement des champignons, la partie supérieure est formée par des barres rocheuses et de nombreux éboulis à la végétation peu développée.

La partie inférieure du versant nord, au relief doux et humide est principalement constituée de chênes et de tilleuls (*Tilia cordata*, Mill.), c'est ici que l'on trouve la majorité des champignons de cette face. La partie supérieure, est beaucoup plus difficile d'accès à cause des nombreux éboulis et des barres rocheuses. Elle est principalement constituée de forêts de hêtres ou de buis (*Buxus sempervirens*, L.), détruites par un incendie en août 2003, il n'y a donc pas de champignons dans ce secteur très escarpé (Annexe 3). Cet exemple détaillé du Néron est applicable à l'ensemble du massif de la Chartreuse, les forêts de feuillus et de conifères abritent la majorité des Bolétales du massif.

#### **II.4.5-Massif de l'Oisans**

Le massif de l'Oisans est situé dans la moitié Sud du département. Il est situé entre les vallées de l'Eau d'Olle en venant du col de la Croix-de-Fer, de la Romanche qui descend du col du Lautaret jusqu'à Vizille et enfin celle du Vénéon. Il est séparé à l'ouest du plateau de Matheysine par le Col d'Ornon et est prolongé au sud par le Valbonnais jusqu'à la ville de Corps. Dans la partie du massif comprise entre les cols de la Croix de Fer et du Lautaret se trouve un vaste plateau à cheval entre Isère et Hautes-Alpes situé à environ 2.000 m d'altitude : le plateau d'Emparis (Figure 54, Annexe 2). On distingue plusieurs types de flore selon la localisation :

Dans les vallées, on trouve des forêts de feuillus ;

Sur les versants nord (ubacs), des forêts de résineux (mélèzes en particulier). En effet la luminosité moins importante, la température plus faible et la persistance de la neige en font un milieu hostile pour le développement des feuillus.

Sur les versants sud (adrets) et les vastes plateaux d'altitude, on trouve de vastes prairies.

La dizaine d'espèces de champignons répertoriée aura tendance à se développer dans les vallées, aux bords des torrents (Romanche notamment) pour ceux préférant les feuillus ; ceux privilégiant les résineux seront retrouvés sur les versants ubacs (jusqu'à 1.500 m d'altitude). On trouve 10 espèces de Bolétales, principalement dans la vallée de la Romanche au climat humide et doux (Annexe 1).

Le massif des Grandes Rousses est compris entre Bourg d'Oisans, la vallée de l'Eau d'Olle et la vallée de la Romanche (Annexe 2). Il constitue en grande partie le domaine skiable de l'Alpe d'Huez. Tout comme le massif de Belledonne, il est principalement composé de roches dites métamorphiques (gneiss ou micaschiste). Ces roches sont surtout retrouvées au cœur du massif, là

où l'on trouve les plus hauts sommets comme le Pic Blanc (3.330 m point culminant du domaine de l'Alpe d'Huez). Dans les vallées de l'Eau d'Olle, du Ferrand et de la Romanche ainsi qu'à Auris-en-Oisans on retrouve des roches d'origine calcaire datant du Jurassique (Annexe 4). À la périphérie l'altitude est beaucoup plus faible, les précipitations très abondantes et les forêts de feuillus majoritaires, idéal pour le développement des champignons. Cette présentation géologique et climatologique du massif des Grandes Rousses est valable pour l'ensemble du massif.

#### **II.4.6-Massif du Vercors**

Comme la Chartreuse, le massif du Vercors fait partie des Préalpes, il s'étend sur les départements de la Drôme et de l'Isère. Comme son cousin, il est en forme de triangle délimité au sud par la vallée de la Drôme (région de Die) ; au nord et à l'est par la vallée du Grésivaudan *via* Grenoble et à l'ouest par la basse vallée de l'Isère. La plupart des hauts sommets (dont le Grand Veymont, 2341 m, point culminant) sont situés à l'extrémité est du massif entre Fontaine et le Trièves, le long de la Vallée du Drac. Le cœur du massif forme une grande plaine entourée par les profondes vallées des torrents comme la Bourne ou le Furon. On y trouve la grande majorité de la population dont la ville principale : Villard-de-Lans (Figure 54, Annexe 2). Sur le plan géologique, le massif est uniquement composé de roches calcaires issues du Crétacé, on trouve également des roches issues des massifs voisins (vestige de la présence du glacier de l'Isère) (Annexe 5). Des forêts de conifères, de chênes et hêtres boisent la périphérie du massif jusqu'à 1.000 m (1.500 m pour les hêtres), le cœur du massif, moins élevé est lui constitué principalement de prairies et de pâturages. Les précipitations sur l'ensemble du massif sont importantes et régulières. Les hivers y sont froids, les températures avoisinent les -5 -10°C et les chutes de neiges sont abondantes. Les étés y sont doux et humides avec des températures aux alentours de 15°C. L'ensemble de ces critères font du Vercors le secteur du département le plus riche en champignons, en Bolétales en particulier où une vingtaine d'espèces ont été référencé dans un secteur s'étalant des forêts de Lans-en-Vercors à Autrans en passant par celle de Villard de Lans (Annexe 1).

#### **II.4.7-Plaine de la Bièvre**

La plaine de la Bièvre longue d'une trentaine de kilomètres d'est en ouest est comprise entre le plateau des Chambarans et le début de l'avant-Pays Lyonnais. Elle est située entre Rives à l'est et Beaurepaire à l'ouest *via* Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs (Figure 54, Annexe 2). C'est dans cette

plaine, principalement agricole que l'on trouve l'aéroport de Grenoble à une quarantaine de kilomètres du centre-ville. Le sol est constitué de roches calcaires arrachées par le glacier de l'Isère et provenance des Préalpes voisines. Ce sol très fertile explique la présence de nombreuses cultures agricoles. La flore, constituée de feuillus et de quelques forêts mixtes et des précipitations importantes tout au long de l'année sont à l'origine de la richesse fongique de la plaine où 10 Bolétales ont été répertoriés dans ce secteur (Annexe 1).

#### **II.4.8-Le Trièves**

Le Trièves est un secteur situé au Sud du département de l'Isère délimité au nord par le Vercors, à l'ouest par le col de l'Arzelier, à l'est par le massif de l'Obiou (Hautes-Alpes) et la Matheysine, et au sud par le département de la Drôme. Il s'agit d'un espace montagneux d'altitude moyenne (environ 600 m) dont la commune principale est Monestier de Clermont. Au niveau géologique, il est constitué de roches calcaires issues de la dernière glaciation (Figure 54, Annexes 2 et 5). Le Vercors voisin bloque une grande partie des précipitations, elles y sont moins nombreuses, les étés sont chauds et secs, les hivers froids et neigeux. Cela explique la présence des forêts de conifères et des prairies seuls végétaux capables de tolérer ce climat extrême. Ces conditions sont propices aux développements des champignons mais peu aux Bolétales, seuls sept sont répertoriés ; ceux qui se développent sous conifères, les *Suillus* en particulier (Annexe 1).

#### **II.4.9-Plateau de Matheysine**

Le plateau de Matheysine est compris entre le Trièves au sud et le Vercors à l'ouest *via* la vallée du Drac ; la vallée de la Romanche au nord et à l'est par les contreforts de l'Oisans *via* le Col d'Ornon. Il est situé à une altitude de 800-900 m. La ville principale et la majorité de la population se trouve aux environs de La Mure. Pour des raisons de simplification le massif du Taillefer sera inclus dans ce paragraphe (Figure 54, Annexe 2). Sur le plan géologique, on notera la présence de houille dans le secteur de la Pierre-Percée qui a permis l'extraction du charbon sur le plateau pendant des décennies. La plupart des autres roches du plateau proviennent de la dernière glaciation (Annexe 6). À une altitude modeste, le plateau est balayé par la bise, un vent du nord froid. La présence de nombreux marécage est à l'origine du brouillard présent quasiment toute l'année, les précipitations sont importantes et régulières. Les hivers y sont (très) froids et (très) humides et les étés sont plutôt doux. Ainsi de part ces conditions extrêmes on trouve de vastes

forêts mixtes et quelques prairies aux alentours de la Mure. Toutes ces conditions climatiques, font du plateau un secteur où les pousses de champignons et des Bolétales y sont abondantes et régulières. On dénombre une dizaine d'espèces différentes réparties sur l'ensemble du plateau (Annexe 1).

#### **II.4.10-Chaine de Belledonne**

La chaîne de Belledonne s'étend sur 60 km de long du Nord au Sud entre Savoie et Isère. Elle est délimitée à l'ouest par la vallée du Grésivaudan ; au nord par la vallée de l'Arc (la Maurienne) ; à l'est par la vallée de l'Eau d'Olle et au sud par la vallée de la Romanche. L'ensemble du massif est formé de roches métamorphiques (comme le massif du Mont-Blanc ou celui des Grandes-Rousses). Le massif, en forme de chaîne - d'où son nom - est constitué de bandes rocheuses, d'une dizaine de kilomètres de largeur s'étirant sur toute la longueur du massif. Une bande allant de Vizille à Allevard, en passant par Chamrousse et les Sept Laux est riche en forêt de feuillus. Son altitude reste modeste par rapport au reste de la chaîne (max 1.800-2.000 m) (Figure 54, Annexe 7). Le secteur de Chamrousse est constitué de forêts mixtes (jusqu'à 1.700 m) puis de prairies en se rapprochant des sommets. C'est dans cette zone que l'on trouve les principales vallées où l'hydratation des sols est plus importante et les températures moins fraîches que sur le reste de la chaîne. Chamrousse est ainsi un des endroits les plus riches du massif en champignons. Des recensements, ont estimé à 20 le nombre d'espèces de Bolétales présente dans le secteur (Annexe 1). Les autres bandes rocheuses forment des zones dont l'altitude est plus élevée, les températures y sont fraîches voir froides, les précipitations plus rares et majoritairement sous forme de neige une grande partie de l'année. La végétation est constituée de prairies et de clapiers, peu propices aux développements des champignons.

### **II.5-Toxicité des Bolétales**

#### **II.5.1-Syndrome paxillien**

Les paxilles sont principalement responsables du syndrome qui porte leur nom, notamment *Paxillus involutus*. Il s'agit de l'une des intoxications les plus fréquentes en France dû à la confusion entre les paxilles et les lactaires. Pourtant, des moyens simples d'identification permettent de les différencier :

- la chair des lactaires est cassante comme de la craie, pas celle des paxilles,

- les lactaires produisent un lait lorsqu'on les casse, pas les paxilles (attention : en cas de saison très sèche, le lait n'apparaît pas à la cassure ; il faut rechercher alors les traces de lait séché). Le paxille enroulé fut considéré pendant des années comme comestible (parfois encore cité dans certains livres de mycologie) expliquant le grand nombre d'accidents liés à la consommation de ce champignon.

- **Délai d'apparition** : 1 à 3 h après une seconde ingestion.
- Champignon responsable: **le paxille enroulé**
- Mécanisme **immuno-allergique**
- Hémolyse aiguë.
- Insuffisance rénale
- nausées, vomissements, diarrhées, douleurs abdominales, baisse de la tension artérielle, perte de connaissance, reins douloureux à la palpation
- **Traitement** : Administration de charbon activé, lavage gastrique, épuration extrarénale, exsanguinotransfusion

**Figure 55** : Caractéristiques du syndrome paxillien (62)

La toxicité du champignon apparaît entre trente minutes à deux heures après l'ingestion, elle est caractérisée par de très violentes nausées, des diarrhées abondantes, ainsi qu'une fatigue générale et parfois des lombalgies. Un refroidissement des extrémités (doigts, orteils, lèvres) peut aussi apparaître. Tous ces symptômes peuvent aller jusqu'à provoquer une anurie ou oligurie à l'origine d'une défaillance rénale. Un mécanisme immuno-allergique formant un complexe immun (par agglutination de l'ensemble des hématies) lors de la deuxième ingestion du champignon est à l'origine de cette toxicité. La ou les toxines impliquées n'ont toujours pas été identifiées (Figure 55). La prise en charge repose essentiellement sur un lavage gastrique, pour les cas les plus sérieux cela peut aller jusqu'à l'épuration extra-rénale.

Attention : certaines situations peuvent aggraver les symptômes :

- l'alcoolisme
- les troubles psychiatriques
- le diabète
- les insuffisances cardiaques et rénales
- la grossesse et également les âges extrêmes de la vie.

Les médicaments comme les digitaliques et les inhibiteurs de transit peuvent aussi être incriminés.

## II.5.2-Syndrome résinoïdien

Ce syndrome représente près de 90% des intoxications aux champignons. Il est caractérisé par des troubles digestifs comme des diarrhées, des vomissements ou une hypersalivation. De violentes crampes musculaires et une déshydratation importante peuvent également apparaître. Ces symptômes surviennent entre quinze minutes et deux heures après ingestion d'un champignon tel que *Boletus satanas* ou *Omphallotus illudens* mais ne durent jamais plus de 48 h, et n'entraînent pas de séquelle. Pour les Boléales, deux molécules sont impliquées : la bolésatine retrouvée chez *Boletus satanas* et l'illudine chez *Omphallotus illudens*. Ces deux toxines sont des cétones dont la structure est très proche des molécules retrouvées dans l'ipéca (*Carapichea ipecacuanha*, L. Andersson) ou l'hellébore noire (*Helleborus niger*, L.), deux plantes provoquant les mêmes symptômes en cas d'ingestion. La prise en charge repose principalement sur une hospitalisation s'il n'y a pas d'amélioration dans les heures suivant la consommation de ces champignons. Les antidiarrhéiques bloquant l'élimination des toxines et les lavages gastriques sont à proscrire. Seuls les antispasmodiques peuvent éventuellement être utilisés (Figure 56) (62). À cause d'une concentration en toxine plus importante, *Omphallotus illudens* entraîne davantage de cas mortels.

### Causes:

90% des intoxications causées par les champignons sont de type gastro-intestinal mais plus ou moins grave selon les espèces et les personnes.

Parmi les plus graves, ( donc le syndrome résinoïdien) citons: *Entoloma lividum*, *Boletus satanas*, *Russula émética*, *Tricholoma pardinum* et de moindre gravité les espèces voisines comme *Tr. virgatum*, *Tr. bresadolatum*, ou *Tr. scoides*.

### Signes et symptômes:

- Apparition dans les 30' à 3 H après l'ingestion, suivant les espèces, et durent environ 48 H dans les cas les plus légers.
- Troubles digestifs: gastroentérite, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées.
- Céphalées, frissons.
- Dans les cas graves: bradycardie, dyspnée, gastrite hémorragique pouvant entraîner le décès.

**Toxines:** divers composants suspects, dérivés phénoliques, sesquiterpènes.....

### Traitement:

Hospitalisation surtout pour les personnes fragiles (personnes âgées, enfants, femmes enceintes). Réhydratation orale et antiémétique.

## Figure 56 : Caractéristiques du syndrome résinoïdien (62)

À noter que d'autres champignons sont responsables de cette intoxication : l'entolome livide (*Entoloma lividum*, P. Kumm) et le tricholome tigré (*Tricholoma pardinum*, Quél.). Nous allons décrire les caractéristiques de ces deux champignons permettant leur identification.

### **Entolome livide (*Entoloma lividum*)**

Le pied de l'entolome livide (*Entoloma lividum*) est blanc-rose, cylindrique, fibrilleux et renflé à la base (longueur : 10 à 15 cm, diamètre : 1 à 3 cm). Son chapeau rose-crème, d'environ 15 cm de diamètre est convexe puis mamelonné, bossu, charnu et épais. Il contient une cuticule blanchâtre difficile à séparer, sèche et légèrement pruineuse avec des reflets argentés. La chair est blanche, ferme et à forte odeur de farine. Les lames sont jaunes puis roses saumon, inégales et échancrées, les spores de forme hexagonales mesurent 8-10  $\mu\text{m}$ .



**Figure 57** : Photo de l'entolome livide, très toxique (64)

L'entolome livide est retrouvé sous feuillus (Figures 9 et 57) (63).

### **Tricholome tigré (*Tricholoma pardinum*)**

Le pied du tricholome tigré (*Tricholoma pardinum*) est blanc ocre à sa base, massif, charnu (longueur : 6 à 15 cm, diamètre : 4 à 7 cm). Son chapeau gris avec un revêtement sec se cassant en petites mèches concentriques de 5 à 20 cm est convexe, légèrement mamelonné avec une marge angulée. La chair est blanche, vireuse et à forte odeur spermatique. Les lames blanches à blanches sales avec des reflets verts sont échancrées et serrées, les spores font 9-11\*5-7  $\mu\text{m}$ .



**Figure 58** : Photo du tricholome tigré, également très toxique (59)

On retrouve le tricholome tigré retrouvé sur sols calcaires, sous les hêtres, les sapins jusqu'à 1.500m (Figures 9 et 58) (58) (59).

### **II.5.3-Syndrome hémolytique**

Ce syndrome se manifeste lors de la consommation de certaines espèces (parfois comestibles) crues ou mal cuites. Il est caractérisé par des désordres digestifs (diarrhées) et une hémolyse due à une hémolysine présente dans le champignon (toxine thermolabile détruite par la cuisson). Quelques Bolétales sont concernés par cette intoxication comme le bolet bai ou la nonette voilée ; pour cette dernière, le fait d'enlever le voile qui la recouvre suffit à supprimer la toxicité.

### **II.5.4-Intoxications extrinsèques**

Certains champignons (dont des espèces comestibles) ont la capacité d'accumuler des substances toxiques comme les métaux lourds. Parmi les Bolétales comestibles, citons le cèpe de Bordeaux ou le bolet bai. Précisons, qu'aujourd'hui, aucune intoxication aux métaux lourds à la suite d'une consommation de champignon n'a été relevé.

#### **II.5.4.1-Mercure**

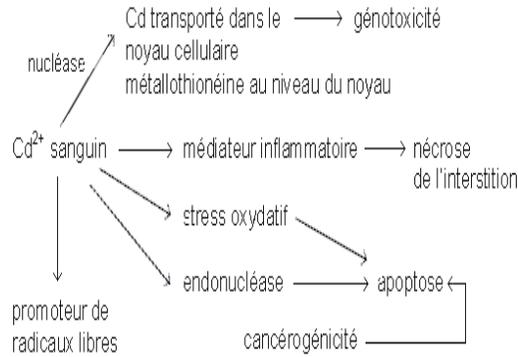
Le mercure est un métal liquide à température ambiante. Une fois dans l'organisme (sous forme de méthyl-mercure), il est transporté par les hématies (se fixant à l'hémoglobine) puis s'accumule dans le foie, les reins, le cerveau et le placenta chez la femme enceinte (60). En inhibant le système de protection des cellules vis-à-vis du stress oxydant, il a une action cytotoxique. Des études ont également démontré qu'il est un perturbateur endocrinien et cancérigène (67).

Les symptômes de cette intoxication – appelée hydrargyrisme – vont dépendre de la concentration en mercure dans l'organisme (68) et sont caractérisés par une toxicité neurologique et rénale. Son traitement repose sur l'utilisation du DMSA, un composé chélatant le mercure permettant ainsi son élimination.

#### **II.5.4.2-Cadmium et thallium**

Le cadmium est un métal mou, argenté et malléable retrouvé dans la fabrication de vernis, de produits anticorrosion (ou il est associé au zinc), de piles et d'accumulateurs. Dans l'organisme, il provoque une hypertension, une hépatotoxicité, une néphrotoxicité et une toxicité splénique. En favorisant

la réaction inflammatoire chronique, il accélère le vieillissement cellulaire par nécrose tissulaire. En franchissant la barrière fœto-placentaire, il entraîne des déformations squelettiques chez le fœtus. Cancérogène confirmé, nous ne disposons d'aucun traitement actuel permettant son élimination ; seuls des traitements symptomatiques peuvent être utilisés (69) (Figure 59).



**Figure 59** : Schéma des effets du cadmium sur la cellule (70)

Utilisé dans la composition de raticides, le thallium est peu fixé par les champignons. Chez l'homme, il s'accumule au niveau du cerveau provoquant des maux de tête, une perte d'appétit, une perte progressive de la vue voire une perte de cheveux ainsi que des douleurs articulaires (71) (72). Le traitement repose sur l'administration de bleu de Prusse qui chélate le thallium et permet son élimination *via* les selles.

### II.5.4.3 Plomb

Le plomb est un métal qui n'a aucune indication dans l'organisme. Il est retrouvé dans les particules rejetées par les véhicules diesel ainsi que dans les anciennes canalisations d'eau potable ou dans certains vieux plombages dentaires. L'intoxication au plomb appelée saturnisme est principalement chronique par accumulation progressive dans l'organisme.

Cette intoxication se caractérise par des retards de croissance ainsi que des troubles neurologiques (mémoire, sommeil) chez les enfants et les adultes. Chez ces derniers, une insuffisance rénale chronique peut également survenir. Le plomb franchit la barrière fœto-placentaire et s'accumule dans le placenta (73) (74). Les principales causes de saturnisme en France sont :

- les peintures utilisées dans les années 1960-70 (aujourd'hui interdites),
- la stagnation de l'eau potable dans les canalisations en plomb encore existantes et progressivement remplacées.

Le traitement repose sur l'utilisation d'agents chélateurs, permettant son élimination urinaire. Notons également que le bolet bai et le cèpe de Bordeaux sont capables de stocker les éléments radioactifs.

## **PARTIE III**

### **MOLÉCULES ISSUES DES BOLÉTALES À INTÉRÊT PHARMACOLOGIQUE**

De nombreuses molécules à intérêts thérapeutiques sont extraites des Boléales, certaines sont même déjà utilisées en pratique comme le taxotère (Paclitaxel®). Dans ce travail, nous n'aborderons que trois de ces molécules : l'illudine, l'irofulvène et la bolésatine qui présentent des propriétés pharmacologiques pouvant offrir de nouvelles stratégies thérapeutiques dans la prise en charge de certains cancers. Pour chacune d'entre elles, des études ont été réalisées que nous allons maintenant voir.

### **III.1-Illudine**

Une première étude cytotoxique de l'illudine (75) a été réalisée *in vitro* sur des fibroblastes exposés pendant 24 h soit aux UV, soit à 0,3ng/L d'illudine. Les chercheurs ont choisi de comparer l'illudine aux UV car la radiothérapie est le traitement de première intention des cancers. Les résultats sont les suivants :

- lorsque les fibroblastes sont exposés pendant 24h aux UV ou à une concentration d'illudine de 0,3 ng/L, leur taux de survie est similaire ;

- lorsque les cellules sont exposées pendant 72 h avec une concentration de 0,1 ng/L en illudine, leur taux de survie est plus faible qu'avec les UV.

Cette étude montre bien l'effet cytotoxique de l'illudine, plus important que celui du aux UV. Les chercheurs ont également montré que l'illudine est capable de provoquer des lésions sur l'ADN, plus particulièrement sur les gènes responsables de la réplication et de la transcription (75).

Le cancer du sein est l'un des principaux cancers parmi les pays développés. Les traitements actuels sont basés sur l'hormonothérapie, la chimiothérapie, la radiothérapie et l'immunothérapie. Les cellules mammaires expriment le gène *HER II* codant pour un récepteur sensible au facteur de croissance de ces cellules. Dans les tumeurs mammaires, 25% des cellules peuvent exprimer jusqu'à 30 fois ce récepteur. Plus *HER II* est exprimé, plus la tumeur est agressive, et plus difficile à traiter. Les molécules anticancéreuses actuellement utilisées ne sont pas spécifiques des cellules mammaires et possèdent de nombreux effets indésirables. Ainsi est né le concept de la thérapie ciblée sur les cellules tumorales.

Comme vu précédemment, l'illudine est un composé toxique, responsable du syndrome résinoïdien. Pour pouvoir l'utiliser, des chercheurs proposent de la modifier chimiquement afin d'obtenir un analogue capable d'améliorer sa capacité de fixation à l'ADN et sa cytotoxicité : la construction d'un anticorps conjugué ciblant le récepteur HER II des cellules tumorales a été

réalisée : le trastuzumab, utilisé en immunothérapie, est un anticorps capable de se fixer sur ce récepteur HER II provoquant la mort des cellules tumorales. Les chercheurs ont alors eu l'idée de combiner le trastuzumab à l'illudine, créant SLAK I (76) Ainsi, ils espèrent qu'il soit capable de provoquer des lésions dans le mécanisme de réparation de l'ADN en bloquant *HER II* sans toucher les cellules saines. Pour le vérifier, deux tests ont été réalisés (avec le trastuzumab comme témoin positif) :

- l'un permettant de mesurer le pouvoir inhibiteur du complexe,
- l'autre mesurant les capacités du complexe à provoquer des lésions sur l'ADN.

Le pouvoir d'inhibition est mesuré *via* le taux de NADPH (marqueur de croissance cellulaire) ainsi que les lésions d'ADN par électrophorèse. Les résultats obtenus sont :

- une concentration en NADPH beaucoup plus importante avec le complexe qu'avec le trastuzumab (un taux élevé de NADPH correspond à une absence de croissance cellulaire). ;
- un nombre de lésions plus important qu'avec le trastuzumab (76)

Cette étude souligne que l'illudine (moyennant quelque transformation chimique) semble être une molécule qui pourrait être utilisée en immunothérapie dans la prise en charge du cancer du sein.

### **III.2-Irofulvène**

Molécule responsable de la toxicité d'*Omphallotus illudens*, l'illudine a montré une action cytotoxique, éventuellement intéressante dans la lutte contre le cancer. Du fait de sa forte toxicité, elle ne peut être utilisée telle quelle. Les scientifiques ont alors cherché des molécules ayant une structure proche de l'illudine, et ont découvert l'irofulvène.

Une première étude (77) a été réalisée *in vitro* sur des cellules tumorales (dont l'origine cellulaire n'a pas été précisée) afin de comparer la capacité de l'irofulvène à inhiber l'expression des protéines réparatrices de l'ADN avec le cisplatine et le ET743 comme témoins (agents alkylants actuellement utilisés). La concentration en protéines de réparation (exprimée en unité d'ARN) et la concentration d'alkylant inhibant 50% des protéines (IC<sub>50</sub>) ont été mesurées.

L'irofulvène est la molécule dont la concentration est la plus faible pour inhiber 50% des protéines. Autre avantage (contrairement aux deux témoins positifs de l'étude), il n'existe pas de concentration seuil au-delà de laquelle la concentration en protéines ne diminue plus. Nous pouvons en conclure que l'irofulvène est plus efficace que les molécules actuellement sur le marché et qu'il pourrait peut-être être utilisé dans le futur dans des traitements anti-cancéreux.

Une deuxième étude (78) a été menée afin de comparer l'efficacité de l'irofulvène (le cisplatine et les taxanes étant les témoins anti-cancéreux) vis-à-vis du cancer de l'ovaire. 61 patientes actuellement traitées par cisplatine ou taxane, et dont les lésions tumorales ont augmenté au cours des 6 à 11 mois, ont été choisies, et ont reçu deux injections d'irofulvène (0,45 mg/kg/injection pendant 30 min à J1 et J8 d'un cycle menstruel). Cette posologie n'a pas été choisie par hasard, il s'agit de la concentration maximale n'entraînant pas d'effets indésirables (les premiers effets étant une toxicité oculaire). Tant que les cellules tumorales régressaient, l'étude a été poursuivie excepter si les effets indésirables étaient importants. Avant chaque nouveau cycle, un bilan général était réalisé (ECG, NFS et dosage des protéines sanguines et urinaires). Lorsque les polynucléaires neutrophiles étaient à une concentration inférieure à 1,5 G/L ou les plaquettes à moins de 100 G/L, l'expérimentation était arrêtée. Sur les 61 patientes, 55 ont pu aller jusqu'à la fin de l'étude. Elles ont reçu 6 injections soit l'équivalent de 3 cycles complets. Dans 54% des cas, les lésions ont été stabilisées sur une durée de 8 mois. Les résultats sont les suivants :

Avec les taxanes, nous avons un taux de réponse de 36%. C'est une valeur importante car il s'agit du pourcentage minimal pour pouvoir utiliser un médicament en monothérapie ;

- le taux de réponse du cisplatine est de 24%, inférieur au pourcentage requis (36%) pour une utilisation en monothérapie. Cela explique qu'il n'est utilisé qu'en bithérapie,

- le taux de réponse de l'irofulvène est seulement de 17%, ne permettant pas son utilisation en monothérapie.

Les chercheurs ont voulu associer l'irofulvène à des agents inhibiteurs de l'angiogenèse. Les résultats sont très prometteurs et ont montré un effet synergique, permettant de diminuer les concentrations des deux agents. L'efficacité des deux molécules est améliorée et le risque de survenue des effets indésirables réduit (78). Cette étude a souligné l'intérêt de l'irofulvène dans la prise en charge du cancer du sein. Néanmoins, à cause de sa faible efficacité en monothérapie, il conviendrait éventuellement de l'utiliser systématiquement avec d'autres agents antitumoraux comme les inhibiteurs de l'angiogenèse.

Une autre étude (79) a montré la capacité de l'irofulvène d'induire l'apoptose de cellules tumorales par lésions de l'ADN ( $DL_{50}$  pour une concentration comprise entre 0,7 et 2  $\mu$ M/L selon la durée d'exposition).

La dernière étape avant la mise sur le marché consisterait à étudier la tolérance de l'irofulvène par l'organisme ainsi que les effets indésirables. Elle a lieu en phase 3 des essais cliniques mais

aujourd'hui, aucune étude n'est en cours. Actuellement, l'irofulvène est en phase 2 des essais cliniques dans les traitements des cancers de la prostate, du sein et du rein, et en phase 3 pour le cancer du pancréas. Il est donc fort probable que dans quelques années, l'irofulvène puisse entrer dans un protocole anti-cancéreux vis-à-vis de ce cancer qui reste l'un des plus difficiles à traiter.

### **III.3-Bolésatine**

La bolésatine, trouvée dans *Boletus satanas*, est responsable de sa toxicité. Cependant, cette molécule présente des propriétés thérapeutiques intéressantes.

Une première caractéristique est sa capacité à provoquer une thrombose et ainsi perturber le mécanisme d'agrégation plaquettaire. Elle pourrait, par exemple, être utilisée chez les patients présentant des troubles de la coagulation tels que les hémophiles. Mais, attention, cette propriété est inhibée par les héparines ou les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) comme l'aspirine. Une autre étude (80) a montré l'efficacité de la bolésatine à provoquer la prolifération des lymphocytes T, propriété intéressante dans la recherche d'une nouvelle stratégie anticancéreuse. Travaillant sur ces cellules, Basset et coll. (81) ont montré des effets cytotoxiques et cytostatiques de la bolésatine ainsi que sa capacité à inhiber la synthèse protéique. Pour mesurer l'effet cytotoxique, les lymphocytes sont exposés à des doses croissantes de bolésatine puis lysés à différentes heures de l'expérience afin de connaître la concentration en protéine formée.

Pour démontrer l'effet cytostatique de la bolésatine, la même expérience est réalisée mais la concentration reste constante, et à différentes heures de l'étude, les cellules sont comptées. Les résultats sont les suivants :

- lorsque la concentration est comprise entre 0,2 et 0,5 µg/ml, les cellules arrêtent de se développer au-delà de 36 h,
- à une concentration de 0,75 µg/ml, les cellules ne se développent plus après 24 h,
- et à 36 h, cette même concentration devient cytotoxique.

Cette étude (81) a permis de déterminer l'IC<sub>50</sub> qui est de 0,60 µg/ml. Cette relation concentration-inhibition de la bolésatine n'est pas proportionnelle et a tendance à atteindre un plateau d'inhibition compris entre 1 et 2 µg/ml. Cette étude souligne bien les propriétés cytotoxique et cytostatique de cette molécule.

Une dernière étape est à réaliser avant la mise sur le marché de cette molécule: déterminer le mécanisme d'entrée cellulaire de la bolésatine pour identifier une ou des substances à la toxicité

plus faible et à l'efficacité au moins équivalente à cette molécule permettant son utilisation en thérapeutique dans quelques années. Des études allant dans ce sens sont en cours.

**THÈSE SOUTENUE PAR : Antonin BARNOUD**

**TITRE : BOLÉTALES DU DAUPHINÉ : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE, INTÉRÊTS PHARMACEUTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES**

## **CONCLUSION**

Les caractéristiques générales des Basidiomycètes (composition de leurs cellules, anatomie générale, mode de vie...) sont présentées dans ce mémoire. Sont listés et détaillés les différents genres de Bolétales ainsi que les principales espèces rencontrées en Isère :

- *Boletus edulis*, *B. aestivalis*, *B. aereus*, *B. erythropus*, *B. luridus*, *B. pinophilus*, *B. satanas*, *B. torosus*, *B. appendiculatus*
- *Gomphidius*, *glutinosus*, *Omphallotus illudens*, *Paxillus involutus*, *P. filamentosus*
- *Leccinum aurantiacum*, *L. scabrum*, *L. versipelle*
- *Suillus collinitus*, *S. granulatus*, *S. luteus*, *S. variegatus*
- *Xerocomus badius*, *X. chrysantheron*, *X. subtomentosus*.

Les confusions fongiques étant nombreuses et potentiellement graves, des tableaux et des clés de détermination reprennent les caractéristiques de chacune des espèces présentées pour une identification rapide. Les différentes intoxications, leurs symptômes et leur prise en charge sont également détaillés permettant une réaction adéquate en cas d'intoxication. La présentation détaillée de la géologie de la région est une aide dans l'identification des zones où les Bolétales peuvent se développer. Gardons à l'esprit malgré tout, que la nature du sol mais également la végétation – liée au relief – et le climat influencent la croissance des champignons.

Les cancers sont aujourd'hui l'une des premières causes de mortalité en France. Diagnostiqués de plus en plus tôt, certains sont difficiles à traiter et des résistances aux traitements anticancéreux sont observées. Malgré les nombreuses solutions thérapeutiques à disposition (chimiothérapie, hormonothérapie, radiothérapie), ces traitements ne sont pas sans effets secondaires. Comme la phytothérapie ou l'aromathérapie, la mycothérapie est en plein essor notamment en cancérologie.

Ce travail présente les différentes molécules issues des Bolétales pouvant potentiellement être utilisées en thérapeutique (l'illudine, l'irofulvène et la bolésatine) ainsi que l'ensemble des études menées actuellement. Des essais sont actuellement en cours, et il est fort probable que, dans le futur, de nouvelles molécules soient commercialisées.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 19/04/2019

LE DOYEN



Prof. Michel SEVE

Pour la Présidence  
et par délégation  
Le Doyen de Pharmacie  
Pr. Michel SEVE

LE PRÉSIDENT DU JURY



Dr Serge KRIVOBOK

## LISTE DES ANNEXES

**Annexe 1** : Liste des Bolétales du Dauphiné par zones géographiques

**Annexe 2** : Zones géographiques du département utilisées pour structurer ce travail (réalisé par le Conseil général de l'Isère)

**Annexe 3** : Carte géologique de la Chartreuse et de la Vallée du Grésivaudan (par Géo-Alp, Maurice Gidon)

**Annexe 4** : Carte géologique des Grandes-Rousses ( par Géo-Alp.com, Maurice Gidon)

**Annexe 5** : Carte géologique du massif du Vercors et du Trièves (par Géo-Alp.com, Maurice Gidon)

**Annexe 6** : Carte géologique du Plateau de la Matheysine (par Géo-Alp.com, Maurice Gidon)

**Annexe 7** : Carte géologique de la Chaîne de Belledonne et de la Vallée du Grésivaudan (par Géo-Alp, Maurice Gidon)

**Annexe 8** : Listes des sociétés mycologiques en région Auvergne Rhône-Alpes

**Annexe 9** : Clé de détermination des principales familles de Basidiomycètes

**Annexe 10** : Listes des Centres Antipoison en France

**Annexe 11** : Classification phylogénétique des Bolétales

## Annexe 1 : Liste des Boléales du Dauphiné par zones géographiques

Belledonne : *Boletus aereus*, *Boletus estivalis*, *Boletus edulis*, *Boletus erythropus*, *Boletus luridus*, *Boletus pinophilus*, *Boletus regius*, *Boletus rhodoxanthus*, *Chalciporus piperatus*, *Gomphidius glutinosus*, *Leccinum aurantiacum*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum varicolor*, *Paxillus involutus*, *Suillus granulatus*, *Suillus luteus*, *Xerocomus badius*, *Xerocomus chrysanteron*, *Xerocomus subtomentosus*,

Oisans et Taillefer : *Xerocomus chrysanteron*, *Xerocomus badius*, *Suillus variegatus*, *Suillus luteus*, *Paxillus involutus*, *Leccinum versipelle*, *Leccinum scabrum*, *Boletus pinophilus*, *Boletus luridus*, *Boletus edulis*,

Matheysine : *Boletus edulis*, *Boletus pinophilus*, *Boletus reticulatus*, *Boletus torosus*, *Gomphidius glutinosus*, *Leccinum aurantiacum*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum versipelle*, *Suillus luteus*, *Xerocomus chrysanteron*.

Trièves : *Suillus variegatus*, *Suillus luteus*, *Gomphidius glutinosus*, *Boletus luridus*, *Boletus edulis*, *Boletus appendiculatus*, *Paxillus involutus*.

Vercors : *Boletus aereus*, *Boletus aestivalis*, *Boletus appendiculatus*, *Boletus edulis*, *Boletus erythropus*, *Boletus luridus*, *Boletus pinophilus*, *Boletus satanas*, *Gomphidius glutinosus*, *Leccinum aurantiacum*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum versipelle*, *Paxillus involutus*, *Suillus luteus*, *Xerocomus badius*, *Xerocomus chrysanteron*, *Xerocomus subtomentosus*.

Vallée du Grésivaudan : *Boletus aereus*, *Boletus aestivalis*, *Boletus edulis*, *Boletus luridus*, *Leccinum aurantiacum*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum versipelle*, *Omphallotus idullens*, *Paxillus involutus*, *Xerocomus chrysanteron*, *Xerocomus subtomentosus*.

Chartreuse : *Xerocomus subtomentosus*, *Xerocomus chrysanteron*, *Xerocomus badius*, *Suillus luteus*, *Suillus collinitus*, *Paxillus involutus*, *Leccinum versipelle*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum*

*aurantiacum, Gomphidius glutinosus, Boletus pinophilus, Boletus luridus, Boletus erythropus, Boletus edulis, Boletus aestivalis.*

Plaine de la Bièvre : *Xerocomus chrysantheron, Xerocomus badius, Paxillus filamentosus, Paxillus involutus, Omphallotus illudens, Leccinum scabrum, Boletus luridus, Boletus edulis, Boletus aestivalis, Boletus aereus.*

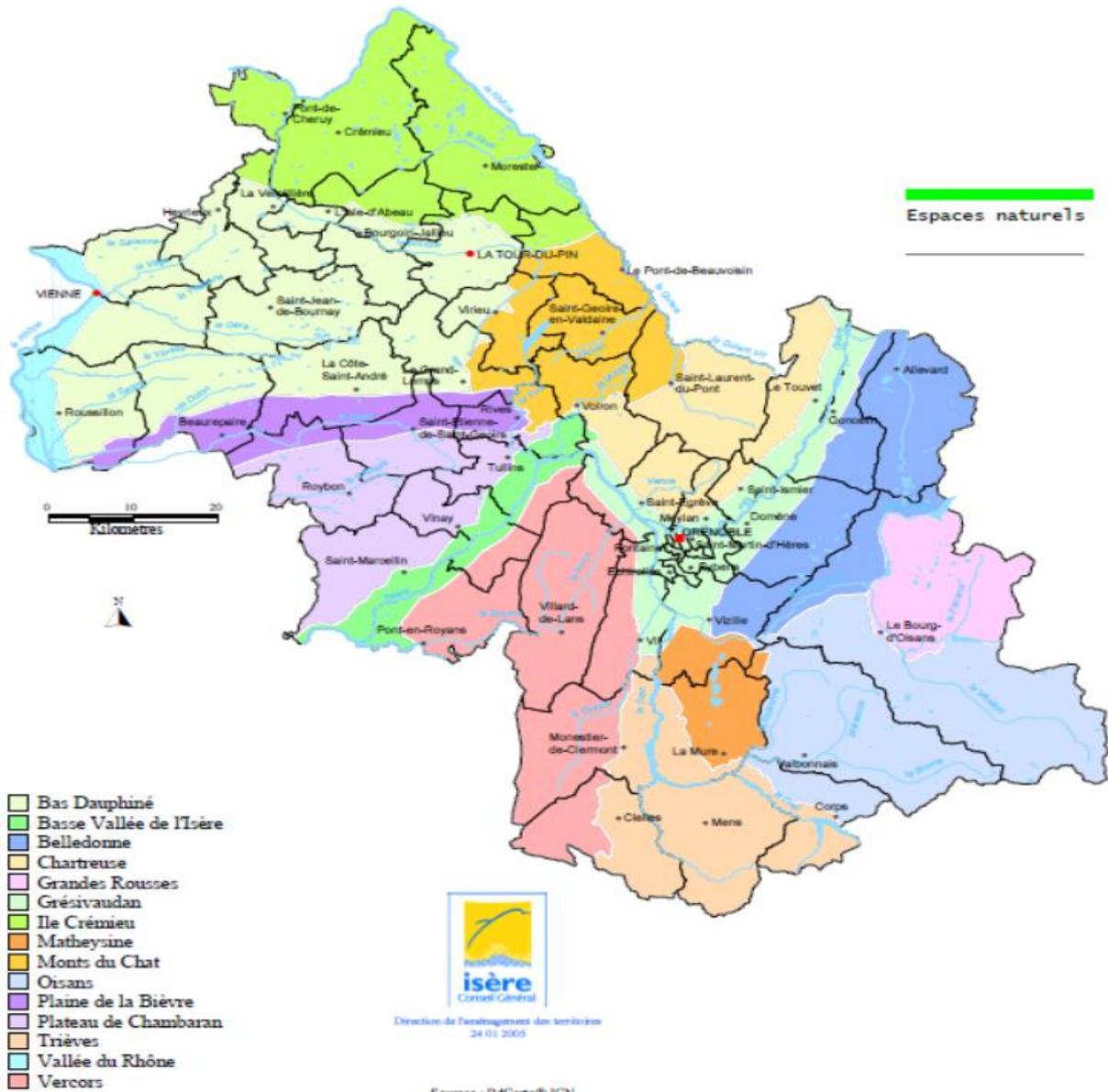
Chambarans : *Boletus aereus, Boletus aestivalis, Boletus edulis, Boletus erythropus, Boletus luridus, Boletus satanas, Gomphidius glutinosus, Leccinum aurantiacum, Leccinum scabrum, Paxillus involutus, Paxillus filamentosus, Omphallotus illudens, Xerocomus badius, Xerocomus chrysantheron.*

Bas Dauphiné : *Xerocomus chrysantheron, Xerocomus badius, Paxillus involutus, Omphallotus illudens, Leccinum scabrum, Leccinum aurantiacum, Boletus pinophilus, Boletus erythropus, Boletus edulis, Boletus aestivalis, Boletus aereus.*

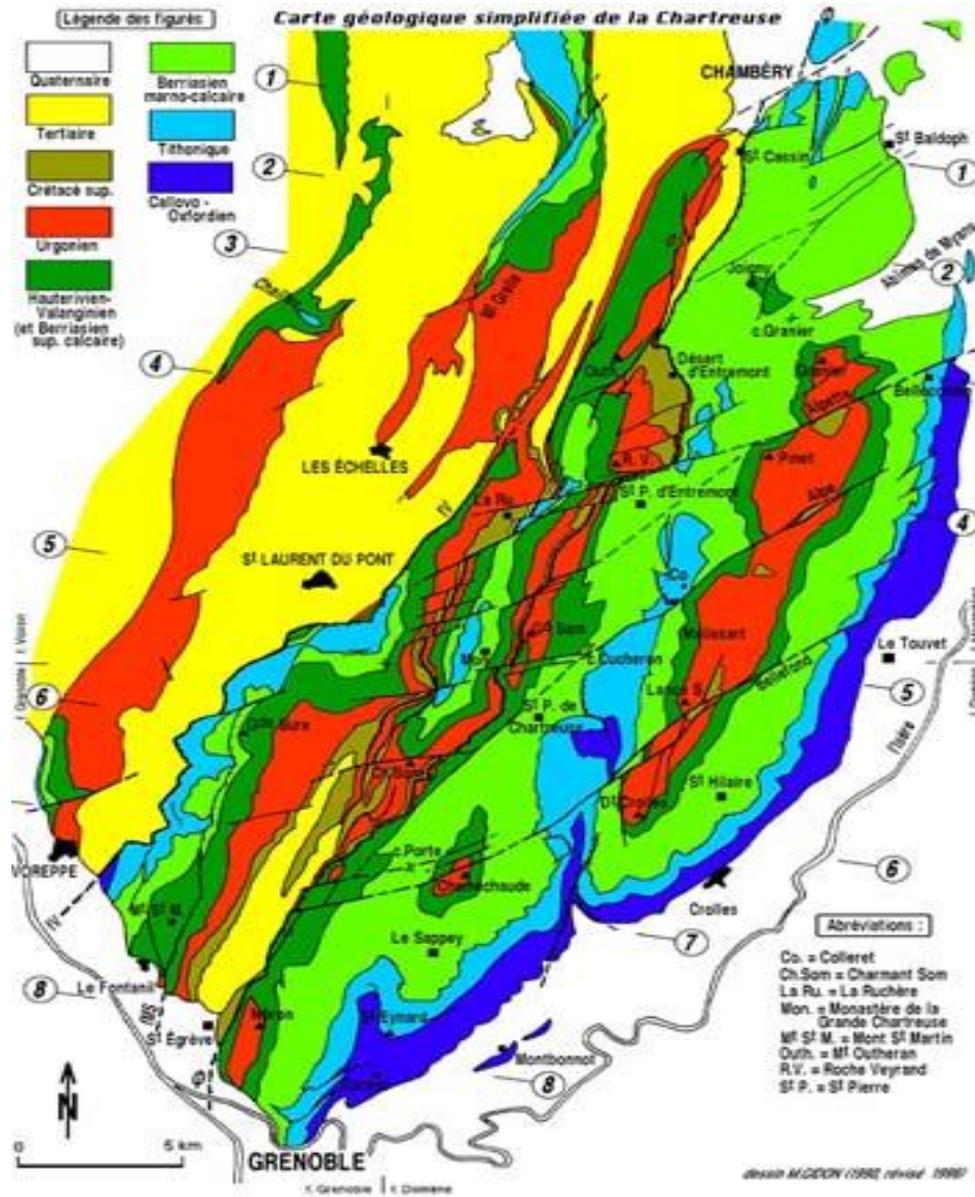
Basse Vallée de l'Isère : *Boletus edulis, Paxillus involutus, Suillus variegatus.*

Vallée du Rhône : pas de Bolétales répertoriés dans cette région.

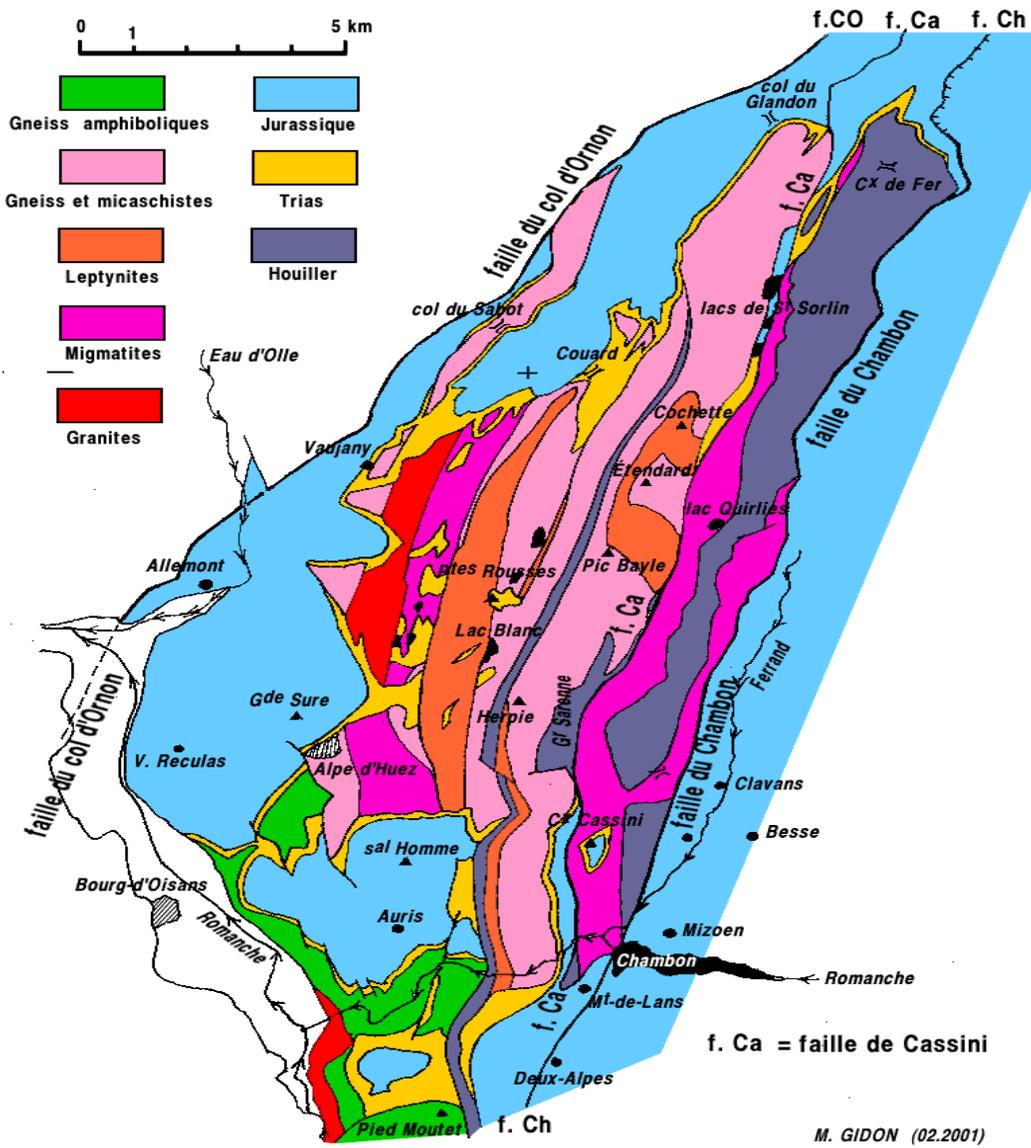
**Annexe 2 : Zones géographiques du département utilisées pour structurer ce travail (réalisé par le Conseil général de l'Isère)**



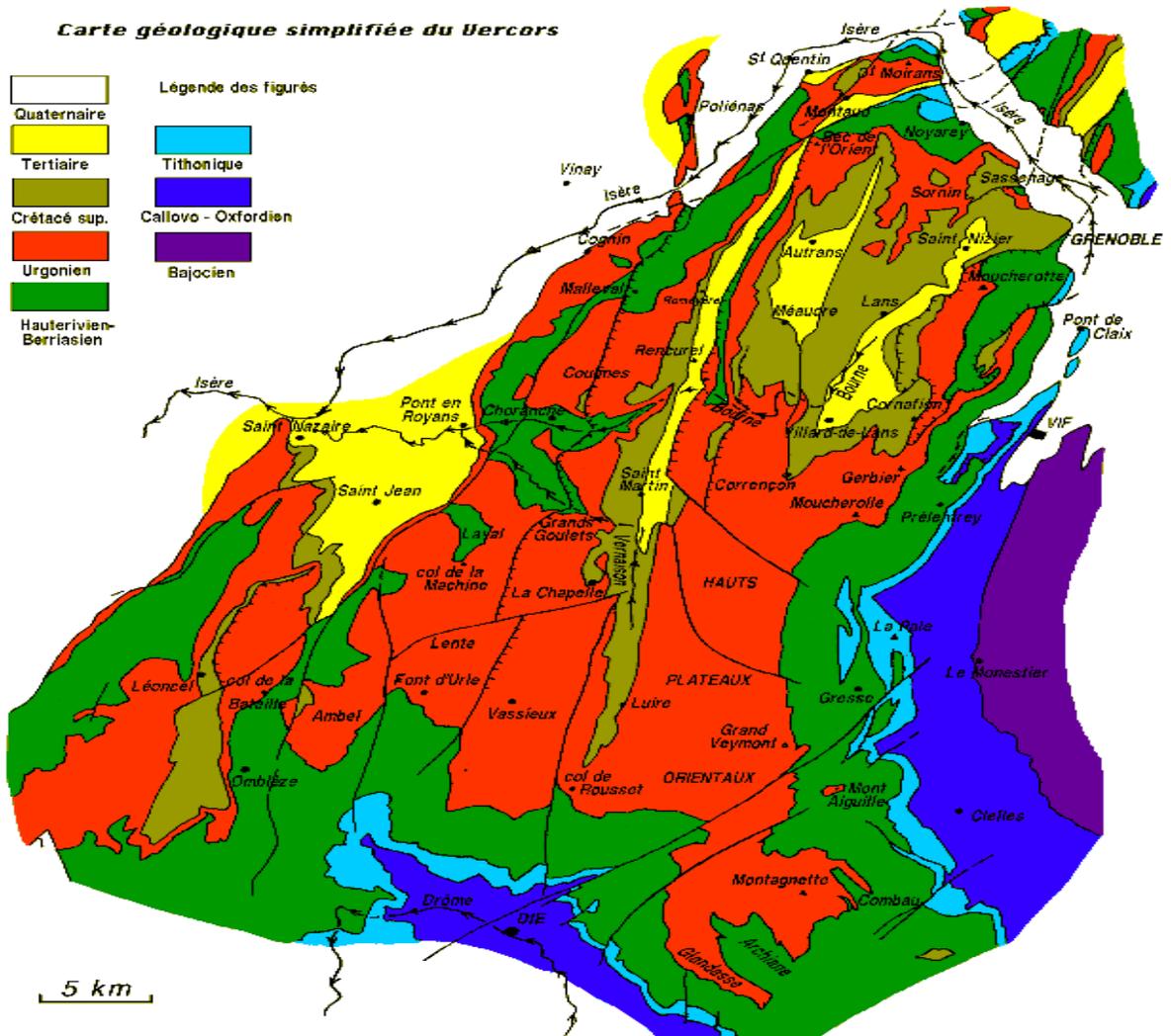
**Annexe 3 :** Carte géologique de la Chartreuse et de la Vallée du Grésivaudan (par Géo-Alp, Maurice Gidon)



Annexe 4 : Carte géologique des Grandes-Rousses ( par Géo-Alp.com, Maurice Gidon)



**Annexe 5 : Carte géologique du massif du Vercors et du Trièves (par Géo-Alp.com, Maurice Gidon)**







## **Annexe 8** : Listes des sociétés mycologiques en région Auvergne Rhône-Alpes

### **01 AIN**

Société des naturalistes et archéologues de l'Ain  
5bis avenue des Belges  
01000 BOURG-EN-BRESSE

Les Amis du Champignon de Divonne-les-Bains  
205 avenue des thermes Villa Roland-Avenue des Thermes  
01220 DIVONNE-LES-BAINS

Société des Naturalistes et Mycologues de Lagnieu  
35 rue de la vie Chavaz  
01500 BETTANT

Société des Naturalistes d'Oyonnax  
Maison des Sociétés, 34 rue Paradis  
01100 OYONNAX

### **03 ALLIER**

Société Mycologique du Val de Cher  
Révoux  
03410 DURDAT-LAREQUILLE

Cercle Mycologique du Centre Hubert-Bourdot  
4 quai Turgot  
03100 MONTLUCON

### **26-07 DRÔME-ARDÈCHE**

Société Mycologique et botanique de Tournon-Tain  
Maison pour tous, 36 quai Gambetta  
07300 TOURNON-SUR-RHONE

Société Mycologique des Baronnies (SMDB)  
Les Chalubes, Quartier Saint-Pierre  
26170 MOLLANS-SUR-OUVEZE

Société Mycologique Montéleger Valence Sud (SMMVS)  
Mairie  
26760 MONTELEGER

## **15-43 CANTAL-HAUTE LOIRE**

Association Mycologique de Haute-Auvergne (AMHA)  
Mairie de Riom-es-Montagnes  
15400 RIOM-ES-MONTAGNES

Société Mycologique et Botanique du Livradois-Forez (SMBLF)  
Miarie  
43160 LA CHAPELLE-GENESTE

Groupe Mycologique de la Haute-Loire  
Centre Roger Fourneyron  
43000 Le PUY-EN-VELAY

## **42 LOIRE**

Société Mycologique Inter-Vallées (SOMIVA)  
Place de l'hotel de ville  
42400 SAINT CHAMOND

Société Mycologique du Forez (SOMYFO)  
4 rue André Malraux  
42100 SAINT ETIENNE

Société Botanique et Mycologique de l'Etrat (SOBOME)  
2, place de l'église  
42580 L'ETRAT

Groupe Mycologique et Botanique du Roannais (GMBR)  
Maison du port - Square Alexandre Ravailier  
42300 ROANNE

## **69 RHÔNE**

Société Mycologique de Thizy-Bourg de Thizy  
19 rue Marie Couturier  
69240 THIZY

Société Mycologique de Villefranche et de la Région  
570, rue Thizy  
69400 VILLEFRANCHE-SUR-SAONE

Société Mycologique de Saint-Genis-Laval  
3, allée des Myosotis  
69390 VOURLES

Association Mycologique Arbresloise  
33bis rue Gabriel Pery  
69210 L'ARBRESLE

Société Mycologique de Craponne et des environs (SMCE)  
2, allée du Panorama  
69290 SAINT-GENIS-LES-OLLIERES

Groupe Mycologique de Givors et sa région  
salle des associations - les Vernes -  
69700 GIVORS

Société Linéenne de Lyon - Section Mycologie  
33 rue Bossuet  
69006 LYON

Ascomycete.org  
36 rue de la Garde  
69005 LYON

### **63 PUY-DE-DÔME**

Société d'Histoire Naturelle d'Auvergne  
3, Bd Lafayette  
63000 CLERMONT-FERRAND

### **74 HAUTE SAVOIE**

Société Mycologique d'Annecy  
Quai des clarisses  
74000 ANNECY

Société Mycologique et Botanique de la Région de Poisy  
60 rue des frenes  
74600 SEYNOD

Société Mycologique et Botanique du Chablais (SMBC)  
Chateau de Sonnaz  
74200 THONON-LES-BAINS

Société mycologique et botanique du Chablais  
247, route de Verniaz  
74200 MARGENCEL

Société mycologique et botanique La Chanterelle  
1 rue de l'Ecole buissonnière  
74100 VILLE-LA-GRAND

### **73 SAVOIE**

Société Mycologique et Botanique d'Albertville  
14 Montée Adolphe Hugues Conflans  
73200 ALBERTVILLE

Société Mycologique et Botanique de la Région Chambérienne (SMBRC)  
Maison des Associations, rue Saint-François-de-Sales  
73000 CHAMBERY

Nature en Tarentaise  
84 Rue du chemin de fer  
73600 MOUTIERS

### **38 ISÈRE**

Société Mycologique du Dauphiné (SMD)  
24 Quai de France  
38000 GRENOBLE

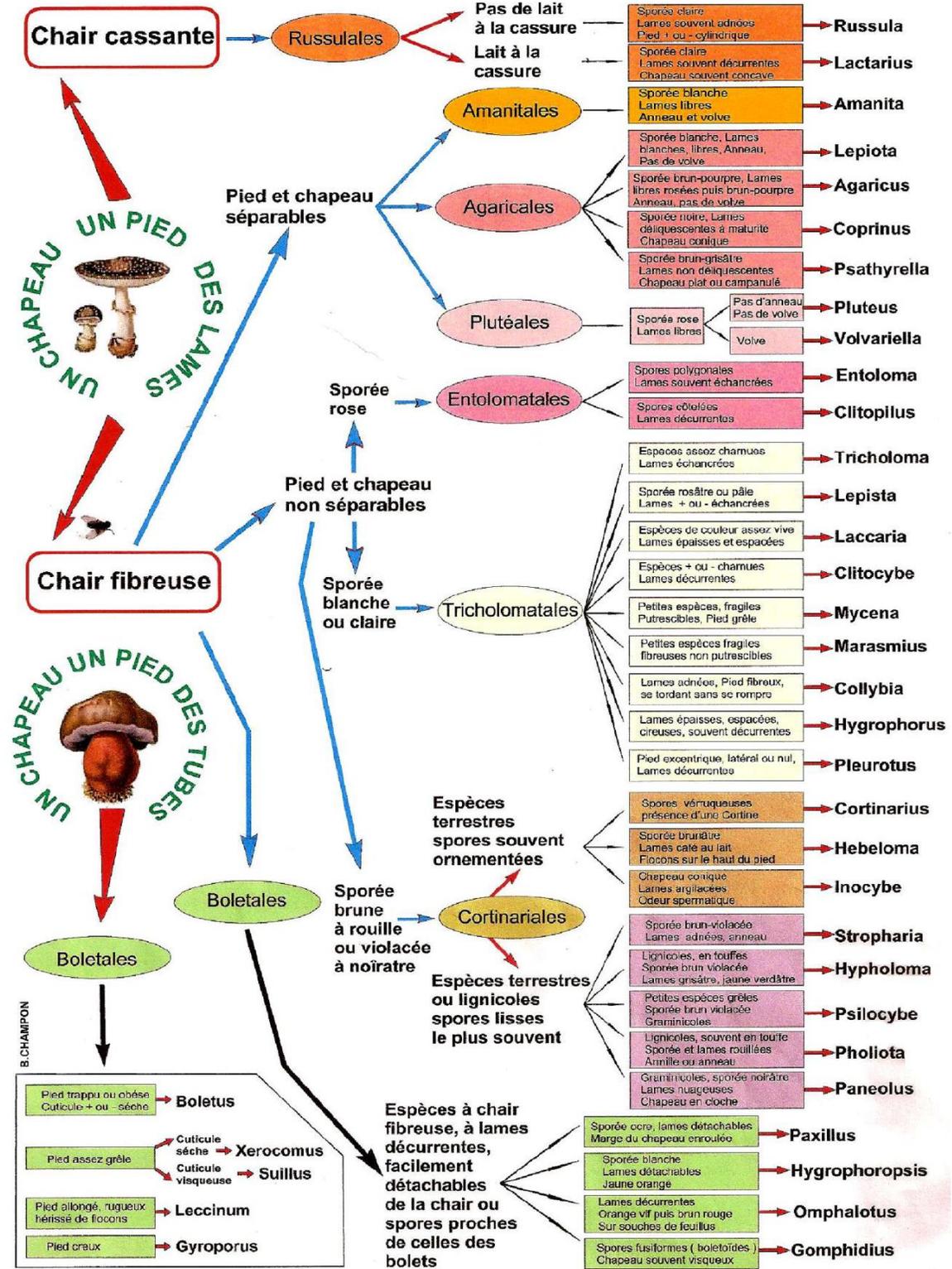
Société Mycologique et Botanique de Seyssinet-Pariset (SMBSP)  
9 Allée des Balmes  
38170 SEYSSINET-PARISSET

Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie (FMBDS)  
2436 route de Brailles  
38510 VEZERONCE-CURTIN

Société d'Histoire Naturelle de Voiron-Chartreuse (SHNVC)  
72 avenue léon & joanny Tardy  
38500 VOIRON

## Annexe 9 : Clé de détermination des principales familles de Basidiomycètes

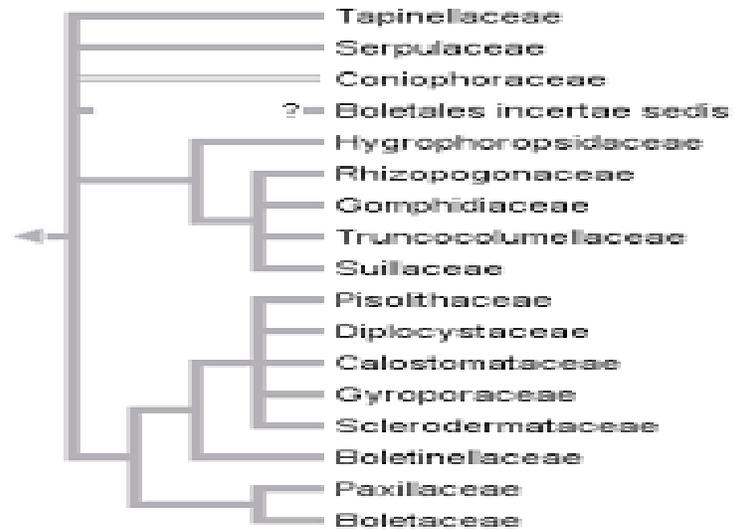
Une clé de détermination est souvent utile pour déterminer assez rapidement quel est le genre du champignon que l'on cherche à identifier



**Annexe 10** : Listes des Centres Antipoison en France

ANGERS	02 41 48 21 21
BORDEAUX	05 56 96 40 80
LILLE	0800 59 59 59
LYON	04 72 11 69 11
MARSEILLE	04 91 75 25 25
NANCY	03 83 22 50 50
PARIS	01 40 05 48 48
STRASBOURG	03 88 37 37 37
TOULOUSE	05 61 77 74 47

**Annexe 11 : Classification phylogénétique des Bolétales**



## BIBLIOGRAPHIE

1. Chaîne alimentaire.pdf. Disponible sur : [http://hollenbeckscience.weebly.com/uploads/2/9/4/9/29493243/la\\_chaine\\_alimentaire\\_not es\\_students.pdf](http://hollenbeckscience.weebly.com/uploads/2/9/4/9/29493243/la_chaine_alimentaire_not es_students.pdf) [cité 12 déc 2018]
2. Les noms français des champignons. Disponible sur : [http://mycofrance.fr/wp-content/uploads/2015/05/NFC\\_doc\\_synthese\\_2011.pdf](http://mycofrance.fr/wp-content/uploads/2015/05/NFC_doc_synthese_2011.pdf) [cité 13 déc 2018].
3. Guide des champignons : caractéristiques d'environ 300 espèces. Disponible sur : <https://www.guidedeschampignons.com/guide-des-champignons/> [cité 13 déc 2018].
4. La respiration cellulaire des levures. Disponible sur : [http://www.ac-grenoble.fr/lycee/elie.cartan/spip/IMG/pdf\\_Sec\\_TP5\\_bilan.pdf](http://www.ac-grenoble.fr/lycee/elie.cartan/spip/IMG/pdf_Sec_TP5_bilan.pdf) [cité 17 déc 2018]
5. champignons-2.pdf. Disponible sur : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/champignons-2.pdf> [cité 20 oct 2017].
6. Le rond de sorcière, ce n'est pas sorcier ! Disponible sur : <http://mycobotaniqueugine.over-blog.com/2014/12/le-rond-de-sorciere-ce-n-est-pas-sorcier.html> [cité 17 déc 2018].
7. Neroucheff M. Les différentes parties du champignon. Disponible sur : <http://www.clg-galilee-limay.ac-versailles.fr/IMG/pdf/champignons.pdf> [cité 20 oct 2017].
8. Anatomie et description du champignon typique. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/chacoupe.htm> [cité 17 déc 2018].
9. Champignons de France et d'Europe occidentale. Marcel Bon, Ed. Flammarion, 368 pp.
10. Éléments de définition. Disponible sur : <http://www.crdp-strasbourg.fr/data/patrimoine-naturel/foret/champignons.php?parent=35> [cité 17 déc 2018].
11. Boujon C. (2007) La protection des champignons. Disponible sur : <http://www.vapko.ch/index.php/fr/protection-des-champignons/la-protection-des-champignons> [cité 1 nov 2017].
12. Modes de reproduction des champignons. Disponible sur : [http://www.supagro.fr/ress-tice/plants\\_uved/grain1/co/b\\_1\\_1\\_les\\_traits\\_de\\_vie\\_qui\\_faciltent\\_linvas\\_mode\\_reproduct.html](http://www.supagro.fr/ress-tice/plants_uved/grain1/co/b_1_1_les_traits_de_vie_qui_faciltent_linvas_mode_reproduct.html) [cité 17 déc 2018].
13. Cai C., Leschen R. A. B., Hibbett D. S, Xia F. and Huang D. (2017) Mycophagous rove beetles highlight diverse mushrooms in the Cretaceous. *Nat. Commun.* **8** : 1-7. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5357310/figure/f4> [cité 20 nov 2017].

14. Clé de détermination macroscopique simple. Disponible sur : [https://www.carpophore.ch/jo25/images/determination/cle\\_determination\\_champignons\\_lamelles.pdf](https://www.carpophore.ch/jo25/images/determination/cle_determination_champignons_lamelles.pdf) [cité 17 déc 2018].
15. La prévision d'une pousse. Disponible sur : <http://lescepes.free.fr/index.php?page=savoir/previpousse&lg> [cité 24 oct 2017].
16. Prady J. (2001) Versets Sataniques et peurs bleues. Disponible sur : <http://mycophiles-des-mauves.jimdo.com/causeries-de-jean/versets-sataniques-et-peur-bleue/> [cité 21 nov 2017].
17. Pourquoi les bolets verdissent ? Disponible sur : <https://www.champis.net/forums/viewtopic.php?t=12377> [cité 6 nov 2017].
18. Bolet bleuissant et sous espèces. Disponible sur : <http://www.les-champignons.com/bolet-bleuissant> [cité 1 nov 2017].
19. Les familles de champignons, les bolets et les cèpes ou Boletacées et Xerocomacées. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/boletacees.htm> [cité 10 nov 2017].
20. iCAP Université Claude Bernard Lyon 1. Boletales. Disponible sur : <https://www.youtube.com> [cité 11 nov 2017].
21. *Boletus aereus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletusaereus.htm> [cité 17 déc 2018].
22. Genre *Boletinus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/genre%20Boletinus.htm> [cité 17 déc 2018].
23. *Gyroporus castaneus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/gyropcastan.htm> [cité 17 déc 2018].
24. *Chalciporus piperatus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Chalciporus%20piperatus.htm> [cité 17 déc 2018].
25. *Xerocomus badius* = *Imleria badia*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/xerocbadius.htm> [cité 17 déc 2018].
26. *Gomphidius glutinosus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Gomphidius%20glutinosus.htm> [cité 17 déc 2018].
27. Les familles de champignons, les omphalotus et gomphides ou Omphalotacées et Gomphidiacées. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/omphalotacees.htm> [cité 10 nov 2017].
28. *Clitocybe illusoire*, *omphalotus illudens*. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/champi422.htm> [cité 23 oct 2017].

29. *Tylopilus felleus*. Disponible sur : [http:// mycorance.free.fr/valchamp/champi350.htm](http://mycorance.free.fr/valchamp/champi350.htm) [cité 17 déc 2018].
30. iCAP Université Claude Bernard Lyon 1. *Gyroporus, Chalciporus, Tylopilus*. Disponible sur : <https://www.youtube.com> [cité 11 nov 2017].
31. iCAP Université Claude Bernard Lyon 1. *Leccinum*. Disponible sur : <https://www.youtube.com> [cité 11 nov 2017].
32. iCAP Université Claude Bernard Lyon 1. *Suillus*. Disponible sur : <https://www.youtube.com> [cité 11 nov 2017].
33. Les familles de champignons : paxillacées. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/paxillacees.htm> [cité 11 nov 2017].
34. *Leccinum duriusculum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Leccinum%20duriusculum.htm> [cité 17 déc 2018].
35. iCAP Université Claude Bernard Lyon 1. *Strombilomyces strobilaceus*. Disponible sur : <https://www.youtube.com> [cité 11 nov 2017].
36. *Strombilomyces strobilaceus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/strobstrob.htm> [cité 23 oct 2017].
37. Drehmel D., James T., Vilgalys R. (2008) Molecular Phylogeny and Biodiversity of the Boletes. *Fungi* Vol. 1:4, Ed. Winter. Disponible sur: [http://www.fungimag.com/winter-08-articles/6\\_Dennis.pdf](http://www.fungimag.com/winter-08-articles/6_Dennis.pdf) [cité 21 févr 2019].
38. Binder M. and Hibbett D. S. (2006) Molecular systematics and biological diversification of Boletales. *Mycologia* **98** : 971-81. Disponible sur: [http://www.davidmoore.org.uk/21st\\_Century\\_Guidebook\\_to\\_Fungi\\_PLATINUM/REPRINT\\_collection/Binder\\_Hibbett\\_boletales.pdf](http://www.davidmoore.org.uk/21st_Century_Guidebook_to_Fungi_PLATINUM/REPRINT_collection/Binder_Hibbett_boletales.pdf) [cité 21 nov 2017]
39. *Boletus edulis* (Cèpe de Bordeaux). Disponible sur : <https://www.pinterest.fr/pin/173599760614273652/> [cité 17 déc 2018].
40. *Boletus aestivalis*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletusaestiv.htm> [cité 17 déc 2018].
41. *Boletus luridus* = *Suillellus luridus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletlurid.htm> [cité 17 déc 2018].
42. *Boletus erythropus* = *Neoboletus erythropus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletuseryt.htm> [cité 17 déc 2018].
43. *Boletus pinophilus* = *Boletus pinicola*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletuspinicola.htm> [cité 17 déc 2018].

44. *Boletus torosus* = *Imperator torosus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Boletus%20torosus.htm> [cité 17 déc 2018].
45. *Boletus satanas* = *Rubroboletus satanas*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletussatan.htm> [cité 17 déc 2018].
46. *Boletus appendiculatus* = *Butyriboletus appendiculatus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/boletappend.htm> [cité 17 déc 2018].
47. *Leccinum aurantiacum* = *Leccinum quercinum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Leccinum%20aurantiacum.htm> [cité 17 déc 2018].
48. *Leccinum scabrum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Leccinum%20scabrum.htm> [cité 17 déc 2018].
49. *Leccinum versipelle* = *Leccinum floccopus* = *Leccinum testaceoscabrum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Leccinum%20versipelle.htm> [cité 17 déc 2018].
50. *Omphalotus olearius*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/omphalolea.htm> [cité 17 déc 2018].
51. *Hygrophoropsis aurantiaca*, fausse girofle. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/hygrophoropsis.htm> [cité 17 déc 2018].
52. *Cantharellus cibarius*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Cantharellaceae/Cantharellus%20cibarius.htm> [cité 17 déc 2018].
53. *Paxillus olivellus* = *Paxillus filamentosus* ss auct. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Paxillus%20filamentosus.htm> [cité 17 déc 2018].
54. *Paxillus involutus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Paxillus%20involutus.htm> [cité 17 déc 2018].
55. *Suillus collinitus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/suillcolli.htm> [cité 17 déc 2018].
56. *Suillus granulatus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Suillus%20granulatus.htm> [cité 17 déc 2018].
57. MycoDB : *Fiche de Suillus luteus*. Disponible sur : <http://www.mycodb.fr/fiche.php?genre=Suillus&espece=luteus> [cité 17 déc 2018].
58. *Suillus variegatus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Suillus%20variegatus.htm> [cité 17 déc 2018].

59. *Xerocomus chrysenteron* = *Xerocomellus chrysenteron*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/xerocchrys.htm> [cité 17 déc 2018].
60. *Xerocomus subtomentosus*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/xerocsubtom.htm> [cité 17 déc 2018].
61. Département de l'Isere Altitude et relief. Disponible sur : <http://www.isere.gouv.fr> [cité 17 déc 2018].
62. Champignons toxiques. - ppt video online télécharger. Disponible sur : <https://slideplayer.fr/slide/1425508/> [cité 17 déc 2018].
63. Piétri J.-P. *Entoloma lividum*. Disponible sur : <https://www.youtube.com>
64. *Entoloma lividum* = *Entoloma sinuatum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Entoloma%20lividum.htm> [cité 17 déc 2018].
65. *Tricholoma pardinum* = *Tricholoma tigrinum*. Disponible sur : <http://www.pharmanatur.com/Mycologie/Tricholoma%20pardinum.htm> [cité 17 déc 2018].
66. Tricholome tigré, *Tricholoma pardinum*. Disponible sur : <http://mycorance.free.fr/valchamp/champi7.htm> [cité 24 oct 2017].
67. Bensakhria A. (2016) Toxicité du Mercure. Disponible sur : <https://www.analyticaltoxicology.com/toxicite-mercure> [cité 17 déc 2018].
68. Willem J.-P. (2014) Les dégâts des métaux lourds : Prévention et détoxification naturelle. Ed. Guy Trédaniel, 171 pp.
69. Cadmium, propriétés chimiques, effets sur la santé et l'environnement. Disponible sur : <https://www.lenntech.fr/data-perio/cd.htm> [cité 19 oct 2017].
70. Le cadmium. Disponible sur : [http://colorisk.fr/toximed/\\_front/produit\\_impression.php?prod=60](http://colorisk.fr/toximed/_front/produit_impression.php?prod=60) [cité 17 déc 2018].
71. Thallium - Société Chimique de France. Disponible sur : <http://www.societechimiquedefrance.fr/thallium.html?lang=fr> [cité 24 oct 2017].
72. Thallium, propriétés chimiques, effets sur la santé et l'environnement. Disponible sur : <https://www.lenntech.fr/periodique/elements/tl.htm> [cité 21 oct 2017].
73. Garnier R. (2015) Les effets du plomb sur la Santé. Disponible sur : <http://www.afvs.net/download/les-effets-du-plomb-sur-la-sante-robert-garnier/> [cité 20 oct 2017].
74. Saturnisme, Inserm. Disponible sur : <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/saturnisme> [cité 17 déc 2018].

75. Jaspers N. G. J., Raams A., Kelner M. J., Ng J. M. Y., Yamashita Y. M., Takeda S., McMorris T. C. and Hoeijmakers J. H. J. (2002) Anti-tumour compounds illudin S and Irofulven induce DNA lesions ignored by global repair and exclusively processed by transcription- and replication-coupled repair pathways. *DNA repair* **1** : 1025-37. Disponible sur : <https://pdfs.semanticscholar.org/4620/50e7143d5d31e70f3853e5b4bff81e30dbb9.pdf> [cité 24 nov 2017].
76. Bhatia S., Ho L., Hogan A. and Shortt K. (2013) SLAK-1, a proposed antibody-conjugated illudin analogue that selectively targets breast cancer. *Canadian Young Scientist Journal*. Disponible sur : <http://journals.sfu.ca/jsst/index.php/jsst/article/viewFile/12/10> [cité 7 nov 2017].
77. Koepfel F., Poindessous V., Lazar V., Raymond E., Arasin A. and Larsen A K. (2004) Irofulven Cytotoxicity Depends on Transcription-Coupled Nucleotide Excision Repair and Is Correlated with XPG Expression in Solid Tumor Cells. *Clinical Cancer* **10** : 5064-13. Disponible sur : <http://clincancerres.aacrjournals.org/content/clincanres/10/16/5604.full.pdf> [cité 7 nov 2017].
78. Schilder R. J., Blessing J. A., Shahin M. S., Miller. D. S., Tewari K. S., Muller. C. Y. et al. (2010) A phase II evaluation of Irofulven (IND#55804, NSC#683863) as second-line treatment of recurrent or persistent intermediately platinum-sensitive ovarian or primary peritoneal cancer : A Gynecologic Oncology Group trial. *Int. J. Gynecol. Cancer* **20** : 1137-41. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3079178/> [cité 24 nov 2017]
79. Wang. Y., Wiltshire. T., Senft J., Reed E., Wang W. (2007) Irofulven induces replication-dependent CHK2 activation related to *p53* status. *Biochem Pharmacol.* **73** : 469-80. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1800887> [cité 7 nov 2017]
80. Ennamany R., Kretz O., Badoc A., Deffieux G. and Creppy E. E. (1994) Effect of bolesatine, a glycoprotein from *Boletus satanas*, on rat thymus *in vivo*. **89** : 113-8.
81. Basset L., Badoc A., Deffieux G., Counord J., Andrieux M. and Creppy. E. E. (1995) Effects of bolesatine on a cell line from the SP2/O thymic lymphosarcoma. *Toxicology* **103** : 121-5.



# Serment de Galien



« Je jure en présence des Maîtres de la Faculté, des Conseillers de l'Ordre des Pharmaciens et de mes condisciples :



D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.



D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.



De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.



Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque ».



**THÈSE SOUTENUE PAR : Antonin BARNOUD**

**TITRE : BOLÉTALES DU DAUPHINÉ : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE,  
INTÉRÊTS PHARMACEUTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES**

### **RÉSUMÉ**

Identifier un champignon n'est pas toujours facile. Ce mémoire reprend les caractéristiques générales des champignons en les illustrant par des clés pour une identification rapide. Parmi ces champignons, on trouve l'Ordre des Bolétales. Une vingtaine d'espèces de Bolétales rencontrées en Dauphiné, en particulier en Isère, est abordée. Ils sont présentés par genre, avec des tableaux comparatifs. Les éléments indispensables à leur croissance le sont également pour chaque secteur du département. Des intoxications, généralement bénignes, étant possibles, leurs symptômes sont détaillés, permettant une réaction adaptée.

Comme la phytothérapie ou l'aromathérapie, la mycothérapie est en plein essor. Ce travail aborde les molécules présentes dans les Bolétales (illudine, irofulvène, bolésatine) ayant de possibles intérêts thérapeutiques ainsi que les domaines dans lesquels elles pourraient être utilisées.

**MOTS CLÉS :** Mycologie, Bolétales, Dauphiné, toxicité, illudine, irofulvène, bolésatine.

**THÈSE SOUTENUE LE 13/05/2019**

Par : Antonin BARNOUD

[Données à caractère personnel]

### **COMPOSITION DU JURY :**

Président du jury : Dr Serge KRIVOBOK, Docteur en Pharmacie et Maître de conférences en Biologie Végétale et Botanique, Université Grenoble Alpes (Directeur de thèse)

Membres du jury : Dr Stéphanie RENET, Docteur en Pharmacie

Dr Bello MOUHAMADOU, PhD, Maître de Conférences en Mycologie,  
Université Grenoble Alpes

**FILIÈRE :** Officine