

MB.10/2008

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de JIJEL – Faculté des sciences  
Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

جامعة محمد السادس بن مطر  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
المكتبية  
رقم المبرد : 1222



*Mémoire de fin d'études  
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures en biologie  
Option : Microbiologie*

**THEME**

**LES MOISSURES DANS LES MILIEUX NATURELS  
ET LEURS IMPACTS SUR LA SANTE HUMAINE**



Devant le Jury :

Examineur : M<sup>me</sup> BENHAMADA W.  
Encadreur : M<sup>elle</sup> LAGOUNE S.

Présenté par :

BOUAKAZ Fella  
GUIATNI Asma  
LADJEROUD Hayet

Promotion : Juin 2008

# Remerciements

*Nous remercions Dieu tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à nos parents, pour leur patience, leur soutien et leur encouragement qui nous ont permis de trouver constamment l'aide dont nous avons besoin.*

*On tient à remercier aussi M<sup>lle</sup> Elaggoune souheila qui a été pour nous un encadreur de thèse attentive, positive, encourageante et confiante. Ses qualités et sa rigueur ont significativement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*On remercie également notre examinatrice M<sup>me</sup> Benhamada wahiba d'avoir accepter de juger ce travail.*

*En fin, nous remercions toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

Asma  
Fella  
hayet

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES MOISSURES</b>	
<b>I.1. Caractères morphologiques</b> .....	2
I.1.1. Définition.....	2
I.1.2. Organisation.....	2
I.1.2.1) Appareil végétatif.....	2
a. Structure des hyphes.....	2
b. Cytologie.....	3
I.1.2.2) Appareil reproductif.....	3
a. Spores.....	3
b. Dispersion.....	4
I.1.2.3. Classification.....	4
a. <i>Mastigomycotina</i> .....	4
b. <i>Zygomycotina</i> .....	5
c. <i>Ascomycotina</i> .....	5
d. <i>Basidiomycotina</i> .....	5
e. <i>Deuteromycotina</i> .....	5
I.1.2.4. Reproduction.....	5
a. Reproduction asexuée.....	6
b. Reproduction sexuée.....	7
<b>I.2. Croissance et développement</b> .....	7
I.2.1. Croissance des hyphes.....	7
I.2.2. Colonies fongiques.....	8
I.2.3. Méthodes de mesure de la croissance fongique.....	9
I.2.3.1. Méthode de poids sec de mycélium.....	9
I.2.3.2. Méthode photométrique.....	9
I.2.3.3. Méthode de dosage de nitrogène.....	9
I.2.3.4. Croissance linéaire.....	9
I.2.4. Nutrition et physiologie.....	10
I.2.4.1. Mode de vie.....	10
I.2.4.2. Facteurs de développement.....	11
a. Eléments nutritifs.....	11
b. Facteurs de l'environnement.....	11
I.2.5. Métabolisme.....	13
<b>CHAPITRE II : LES MOISSURES DANS LES MILIEUX NATURELS ET BIODETERIORATIONS</b>	
<b>II.1. Introduction</b> .....	14
<b>II.2. Ecosystèmes</b> .....	14
II.2.1. Eau.....	14
II.2.2. Sol.....	14
II.2.3. Bois.....	15
II.2.4. Rhizosphère.....	15
II.2.5. Feuilles.....	15
<b>II.3. Biodétériorations</b> .....	16

<b>II.3.1. Produits alimentaires</b> .....	16
a. Céréales et dérivés .....	16
b. Produits laitiers.....	16
c. Viande et charcuterie.....	16
d. Œufs.....	16
e. Oléagineux et tourteaux.....	16
f. Fruits et légumes.....	16
g. Boissons.....	16
<b>II.3.2. Produits divers</b> .....	17
a. Textiles, papier et bois.....	17
b. Peintures et adhésifs, produits pétroliers et cosmétiques.....	17
c. Pierres, métaux et verres.....	17
d. Caoutchouc.....	17
<b>II.3.3. Méthodes de prévention et de lutte</b> .....	18

### **CHAPITRE III : LES MALADIES PROVOQUEES PAR LES MOISSURES**

<b>III.1. Introduction</b> .....	19
<b>III.2. Les intoxications alimentaires</b> .....	19
<b>III.2.1. Les mycotoxines</b> .....	19
<b>III.2.1.1. Définition</b> .....	19
<b>III.2.1.2. Les différents types de mycotoxines et leurs effets sur la santé humaine</b> .....	19
a. Aflatoxines.....	19
b. Ochratoxine A.....	19
c. Citrinine.....	20
d. Patuline.....	20
e. Zéaralénone.....	20
f. Fumonisine.....	20
g. Tichotécènes.....	20
h. Alcaloïdes de l'ergot du seigle.....	21
<b>III.2.2. Lutte et prévention</b> .....	22
<b>III.3. Les mycoses</b> .....	23
<b>III.3.1. Définition</b> .....	23
<b>III.3.2. Habitat, mode de contamination et professions exposées</b> .....	23
<b>III.3.3. Physiopathologie des mycoses et leurs facteurs favorisants</b> .....	23
<b>III.3.4. Classification clinique et aspects pathologiques</b> .....	24
<b>III.3.4.1. Mycoses superficielles</b> .....	24
a. Piedra blanche.....	24
b. Piedra noire.....	24
c. Dermatophytoses.....	24
<b>III.3.4.2. Mycoses sous cutanés</b> .....	25
a. Sporotrichoses.....	25
b. Chromomycoses.....	25
c. Mycétomes.....	26
<b>III.3.4.3. Mycoses profondes</b> .....	26
a. Aspergilloses.....	26
b. Histoplasmoses.....	28
c. Blastomycoses.....	29
d. Coccidioïdomycoses.....	29

e. Paracoccidioïdomycoses.....	29
f. Zygomycoses.....	29
III.3.5. Démarche diagnostic au laboratoire.....	30
III.3.5.1. Règles de bons prélèvements.....	30
III.3.5.2. Prélèvements.....	30
III.3.5.3. Examen direct.....	30
III.3.5.4. Culture.....	30
III.3.5.5. Incubation.....	30
III.3.5.6. Examen des colonies fongiques.....	31
a. Avec vaccinostyle.....	31
b. Avec un morceau de cellophane adhésive transparent ou scotch.....	31
III.3.5.7. Culture sur lame.....	31
a. Objectif.....	31
b. Préparation du matériel.....	31
c. Ensemencement.....	31
d. Lecture.....	32
III.3.5.8. Interprétation.....	32
III.4. Traitement.....	32

#### **CHAPITRE IV : INTERET INDUSTRIEL DES MOISSURES**

IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Industrie alimentaire.....	34
IV.2.1. Fermentation.....	34
IV.2.1.1. Produits laitiers.....	34
a. <i>Penicillium camembertii</i> .....	34
b. <i>Penicillium roquefortii</i> .....	34
c. <i>Geotrichum candidum</i> .....	35
IV.2.1.2. Produits carnés.....	35
IV.3. Industrie chimique et pharmaceutique.....	36
IV.3.1. Métabolites primaires.....	36
IV.3.1.1. Acides organiques.....	36
a. Acide lactique.....	36
b. Acide citrique.....	36
c. Acide itaconique.....	36
IV.3.1.2. Acides aminés.....	36
IV.3.1.3. Polysaccharides.....	37
IV.3.1.4. Lipides.....	37
IV.3.1.5. Alcools et solvants industriels.....	37
IV.3.2. Métabolites secondaires.....	37
IV.3.2.1. Alcaloïdes.....	38
IV.3.2.2. Antibiotiques.....	38
IV.3.2.3. Enzymes.....	38
IV.3.2.4. Insecticides biologiques.....	40
IV.4. Biolixiviation.....	40
Conclusion.....	42
Bibliographie	
Annexes	
Résumé	

Liste des tableaux et des figures

<b>Tableau n°1</b> : Les caractéristiques physiques des colonies fongiques de quelques espèces de moisissures.....	9
<b>Tableau n°2</b> : Tableau 2 : Activité de l'eau des principales moisissures.....	12
<b>Tableau n°3</b> : Températures cardinales de développement des moisissures.....	12
<b>Tableau n°4</b> : pH minimal et maximal pour la croissance de certaines moisissures...	13
<b>Tableau n°5</b> : Principales mycotoxines liées à la consommation d'aliments pollués par des moisissures.....	21
<b>Tableau n°6</b> : Méthodes de lutte contre la contamination.....	22
<b>Tableau n°7</b> : Principales enzymes d'intérêt industriel issues des moisissures.....	39
<b>Figure n°1</b> : Caractéristiques des hyphes de mycètes.....	2
<b>Figure n°2</b> : Morphologie d'un hyphe.....	3
<b>Figure n°3</b> : Spores asexuées représentatives.....	6
<b>Figure n°4</b> : Croissance de l'extrémité de l'hyphe.....	8
<b>Figure n°5</b> : Aspects de la croissance des mycètes filamenteux.....	8
<b>Figure n°6</b> : Exemple d'onyxis.....	25
<b>Figure n°7</b> : Dermatophytie de la peau glabre due à <i>Mycrosporium</i> .....	25
<b>Figure n°8</b> : Lésion locale de sporotrichose.....	25
<b>Figure n°9</b> : <i>Clostridium</i> sp.....	26
<b>Figure n°10</b> : Mycétome du pied du à <i>Fusarium</i> .....	26
<b>Figure n°11</b> : <i>Aspergillus fumigatus</i> .....	27
<b>Figure n°12</b> : Radiographie pulmonaire montrant un aspergillome.....	27
<b>Figure n°13</b> : <i>Aspergillus flavus</i> .....	28
<b>Figure n°14</b> : Histoplasmose à <i>Histoplasma capsulatum</i> (bouche).....	28

<b>Figure n°15</b> : Zygomycose sous cutanée de la face.....	29
<b>Figure n°16</b> : Culture sur gélose en boîte de Pétri.....	30
<b>Figure n°17</b> : Prélèvement d'une moisissure à l'aide de cellophane adhésive.....	31
<b>Figure n°18</b> : Culture sur lame pour observation des organes de fructification.....	32
<b>Figure n°19</b> : Sites d'action des médicaments antifongiques.....	33

Liste des abréviations

- Acétyl-COA** : Acétyl coenzyme A
- AF**: Aflatoxine
- AFB1**: Aflatoxine B1
- ATB**: Antibiotique
- ATP**: Adenosine triphosphate
- Aw**: Activity of water (activité de l'eau)
- C** : Carbone
- C°** : Degré Celsius
- Cm/h** : Centimètre par heure
- CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone
- C/N** : Rapport carbone/azote
- CIT** : Citrinine
- Cu** : Cuivre
- ELISA** : Enzyme- linked immunosorbent assay
- Fe** : Fer
- HR** : Humidité relative
- IgE** : Immunoglobulines de la classe E
- IARC**: International Agency for Reaserch on Cancer
- K** : Potassium
- m** : Mètre
- Mg** : Magnésium
- Mn** : Manganèse
- µm** : Micromètre



**Mm** : Millimètre

**mn** : Minute

**mm/s** : Millimètre par second

**N** : Azote

**NaCl** : Chlorure de sodium

**nm** : Nanomètre

**OTA** : Ochratoxine A

**O<sub>2</sub>** : Oxygène

**P** : Phosphore

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**%** : Pourcentage

**RIA** : Radio-immunoassays

**S** : Soufre

**SNC** : Système nerveux central

**Zn** : Zinc

# *Introduction*

**Introduction :**

Les moisissures sont des champignons microscopiques filamenteux, ubiquitaires (Pitt *et al.*, 2000), regroupant des milliers d'espèces qui colonisent d'une manière naturelle quasiment tous les types d'écosystèmes terrestres et certains milieux aquatiques (Bousaboua., 2002). Elles ont une grande importance économique, en raison à la fois de leur nocivité et de leur utilité (Leveau et Bouix., 1993).

Leurs activités néfastes sont multiples telles que les altérations des produits alimentaires (Leveau et Bouix., 1993); d'une façon générale, les aliments sont des substrats favorables à leur développement. Elles peuvent y causer des dégradations par défaut d'apparence, mauvais goût ou, plus gravement production de mycotoxines (Cahgnier *et al.*, 1998). Elles peuvent aussi causer des détériorations dans de nombreux autres domaines : vie parasitaire aux dépens de l'homme, des animaux et des plantes (Leveau et Bouix., 1993).

Les actions nocives de ces microorganismes sont heureusement, largement compensées par leurs activités bénéfiques. Responsables de la destruction d'une grande partie de la matière organique terrestre, les moisissures contribuent largement à l'accomplissement des grands cycles biologiques naturels. Elles sont utilisées depuis fort longtemps par l'homme pour la préparation d'aliments, intervenant notamment comme agents de fermentation dans la fabrication des fromages. Elles synthétisent un grand nombre de substances complexes économiquement très importantes : enzymes, acides organiques, antibiotiques, alcaloïdes, etc. (Leveau et Bouix., 1993).

Les progrès en médecine ont permis de mieux maîtriser l'évolution de nombreuses maladies jadis rapidement fatales. Le développement des traitements immunodépresseurs et l'apparition de nouvelles maladies comme le syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA), mais aussi la multiplication des facteurs iatrogéniques et l'extension des greffes d'organes ou de tissus, à l'origine de nombreuses infections nosocomiales, sont autant de circonstances qui expliquent l'extension actuelle des maladies provoquées par les moisissures appelées « mycoses ». La liste de ces nouveaux champignons émergents en médecine ne cesse de s'augmenter. Beaucoup d'espèces, en particulier des moisissures et jadis inconnues du biologiste, ou qualifiées de « contaminants de laboratoire » sont réellement impliquées dans un processus pathologique (Chabasse *et al.*, 2002).

Donc, le but de cette étude est de montrer l'impact des moisissures sur la santé humaine et d'en trouver les moyens de lutte et de prévention.

Pour cela, on a divisé notre travail en quatre chapitres :

- Le premier chapitre : Généralités sur les moisissures ;
- Le deuxième chapitre : Les moisissures dans les milieux naturels et biodétérioration ;
- Le troisième chapitre : Les maladies provoquées par les moisissures ;
- Le quatrième chapitre : Intérêt industriel des moisissures.

*Chapitre I :*  
*Généralités sur les*  
*moisissures*

## I.1. Caractères morphologiques :

### I.1.1. Définition :

Les moisissures sont des champignons microscopiques, filamenteux, donc ils ont fondamentalement les caractères de ces organismes (Roquebert., 1997). Ce sont des eucaryotes, non photosynthétiques et immobiles (Guiraud., 2003). L'hyphe est l'élément structural dont la paroi contient souvent de la chitine et la croissance apicale des filaments est suivie d'une ramification qui conduit à la formation d'un mycélium ou thalle (Larpen., 1997a); qui est soit cénocytique ou multicénocytique. La partie végétative assure le développement en puisant dans le milieu les éléments nécessaires à la vie du champignon, des structures fructifères ou reproductrices, servent à la multiplication et à la dissémination de l'espèce. Ces structures sont d'origine végétative ou sexuelle (Guiraud., 2003).

### I.1.2. Organisation fongique :

#### I.1.2.1. Appareil végétatif :

L'appareil végétatif des champignons, c'est-à-dire celui qui est impliqué dans la nutrition, le développement et par la suite l'envahissement du substrat est appelé « thalle » (Lemaitre *et al.*, 1998). Le thalle est constitué de longs filaments de cellules reliées les unes aux autres ; ces filaments s'appellent hyphes. Ces structures sont souvent petites mais peuvent atteindre des proportions énormes (Tortora., 2003).

**a- Structure des hyphes :** Les hyphes sont des sortes de tuyaux, de 2 à 10µm de diamètre (Lemaitre *et al.*, 1998). Chez la plupart des moisissures, les hyphes sont divisés par des cloisons, ou septa (septum au singulier), formant des unités qui ressemblent à des cellules distinctes avec un seul noyau. On les appelle alors hyphes segmentés ou septés (figure 1.a). Dans quelques classes de mycètes, les hyphes ne contiennent pas de cloisons et ont l'aspect de longues cellules continues à noyaux multiples ; ils sont appelés cénocytes (figure 1.b). Chez les mycètes à hyphes segmentés, il y a habituellement des ouvertures dans les cloisons qui font en sorte que le cytoplasme des « cellules » adjacentes est continu ; en réalité, ces structures sont aussi des cénocytes (Tortora., 2003).

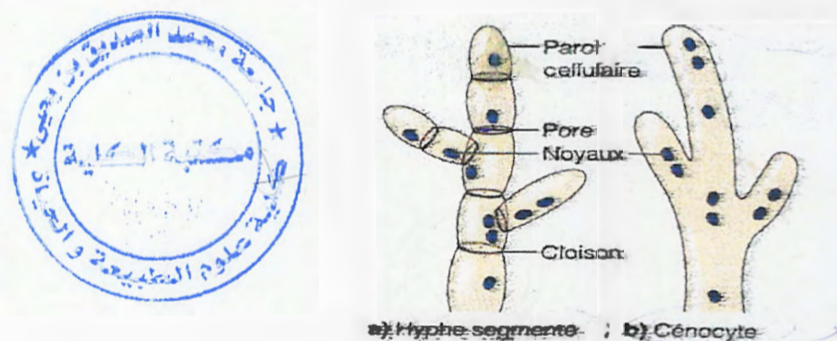


Figure 1 : Caractéristiques des hyphes de mycètes (Tortora., 2003).

**b- Les Zygomycotina :** Cette division qui est caractérisée par la production de spores sexuées appelées zygosporées, comporte de nombreux pathogènes : les Mucorales et les Entomophthorales. Ils sont considérés, avec les Mastigomycotina comme des champignons inférieurs. Deux caractéristiques les différencient des autres champignons dits « supérieurs » (Ascomycotina et Basidiomycotina) : le mycélium végétatif est plus large, souvent dilaté, peu ou pas cloisonné et la reproduction asexuée est dite endogène. Chez les Mucorales par exemple, les spores sont produites dans un sac appelé sporocyste, d'où le nom de sporocystophore donné aux filaments porteurs de ce sac. Chez les Entomophthorales, les spores asexuées sont produites à l'extrémité de filaments et sont habituellement projetées à distances, elles portent le nom de ballistospores (Chabasse *et al.*, 2002).

**c- Les Ascomycotina :** Dans ce groupe qui comprend aussi un grand nombre de pathogènes de l'homme (levures ascosporeées, champignons filamenteux tels que les *Aspergillus*, les dermatophytes...), les spores issues de la reproduction sexuée (appelées ascospores) sont produites de manière endogène à l'intérieur d'un sac appelé asque ; ces asques, généralement octosporés, seront libres (levures ascosporeées ou Hémiascomycètes) ou produits à l'intérieur d'un organe protecteur de forme variable appelé ascocarpe (Ascomycètes vrais ou Euascomycètes) (Chabasse *et al.*, 2002).

**d- Les Basidiomycotina :** Ils sont caractérisés par la production de spores sexuées (appelées basidiospores) formées par bourgeonnement à l'apex de cellules allongées, les basides. Les Basidiomycètes ont un thalle cloisonné avec présence de « boucles » au niveau des cloisons. Les cloisons des filaments mycéliens (clamp connexion) comportent le plus souvent un pore central unique de structure complexe appelé dolipore. La plupart des Basidiomycètes sont des saprophytes de l'environnement ou parfois des pathogènes de plantes, mais ils sont peu impliqués en pathologie humaine. Ceux qui vivent en parasite chez l'homme sont le plus souvent des *Cryptococcus*. Les basidiomycètes comprennent deux groupes principaux : les Hétérobasidiomycètes (Ustilaginales) à basides divisées ou ramifiées et les Holobasidiomycètes qui sont essentiellement des macromycètes, deux ordres sont exceptionnellement impliqués en pathologie humaine : les Aphylliphorales et les Agaricales (Chabasse *et al.*, 2002).

**e- Les Deuteromycotina (champignons imparfaits ou *Fungi imperfecti*) :** C'est dans cette division qu'on retrouvera le plus grand nombre de ces espèces d'intérêt médical. Cet ensemble, très hétérogène, englobe toutes les espèces se multipliant sur le mode asexué. En pratique, le maintien de cette division s'avère utile car beaucoup d'espèces n'expriment pas en culture leur reproduction sexuée. Les Deuteromycotina sont divisées en trois classes : Blastomycètes, Hyphomycètes et Cœlomycètes (Chabasse *et al.*, 2002).

#### I.1.2.4. Reproduction :

##### a- Reproduction asexuée :

Les spores asexuées se forment au sein d'un même individu par mitose puis division cellulaire ; il n'y a pas de fusion de noyaux provenant de cellules différentes. Elles sont de deux types : la conidie et la sporangiospore (Tortora., 2003).

La **conidie** est une spore unicellulaire ou pluricellulaire qui n'est pas enfermée dans un sac ; certains mycètes produisent des conidies qui forment des chaînes à l'extrémité d'un hyphe aérien appelé conidiophore (figure 3.a). Les conidies sont produites notamment par *Aspergillus* et *Penicillium*. On différencie les conidies selon leur mode de production par les mycètes. L'**arthroconidie** est un type de conidie issue de la fragmentation d'un hyphe segmenté en cellules simples et légèrement épaissies (figure 3.b). On la trouve chez *Coccidioides immitis* et, inhalée, elle provoque des symptômes d'atteinte pulmonaire. La **blastoconidie**, un autre type de conidie, se constitue par bourgeonnement d'une cellule mère (figure 3.c). La **chlamydoconidie** apparaît au sein d'un segment de l'hyphe à la suite de la condensation du cytoplasme et de la formation d'une paroi épaisse (figure 3.d) (Tortora., 2003).

La **sporangiospore** est le deuxième type de spore asexuée ; elle prend naissance dans un sporange, ou sac, à l'extrémité d'un hyphe aérien appelé sporangiophore. Le sporange peut contenir des centaines de sporangiospores (figure 3.e). On trouve ce type de spores asexuées chez *Rhizopus* (Tortora., 2003).

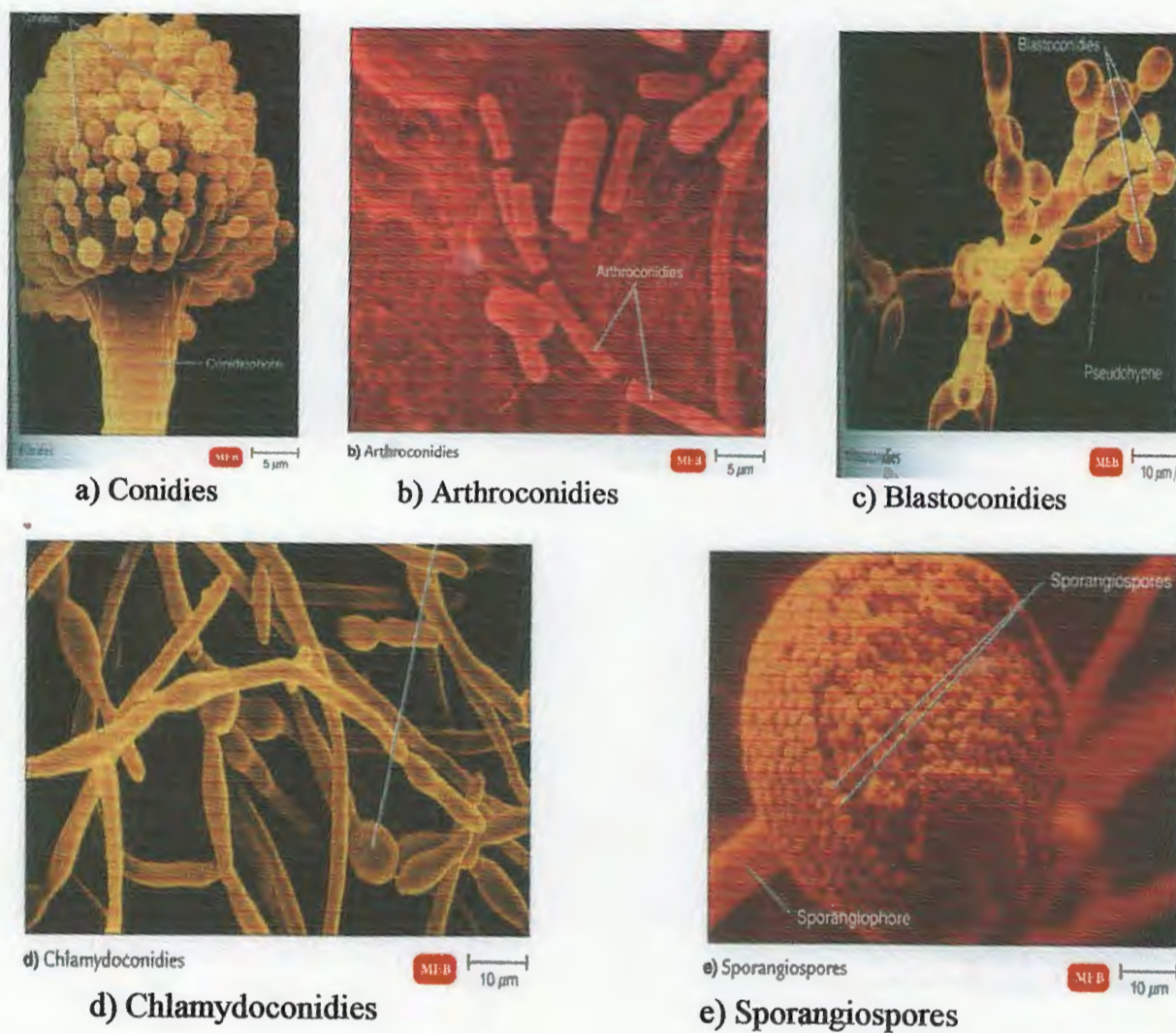


Figure 3 : spores asexuées représentatives (Tortora., 2003).

**b- Reproduction sexuée :**

Les spores d'origine sexuelle résultent d'une fécondation (oospores et zygosporés), ou d'une méiose (ascospore endogène et basidiospore exogène) (Guiraud., 2003).

La reproduction sexuée comprend trois phases :

- **Plasmogamie** : Phase où se produit la fusion protoplasmique, qui met en présence deux noyaux à l'intérieur d'une même cellule : le noyau haploïde d'une cellule donneuse (+) pénètre dans le cytoplasme d'une cellule receveuse (-) (Tortora., 2003) ;

- **Caryogamie** : Les noyaux (+) et (-) fusionnent pour former le noyau diploïde d'un zygote (Tortora., 2003) ;

- **Méiose** : Le noyau diploïde donne naissance à des noyaux haploïdes (spores sexuées). Les noyaux issus de la méiose sont parfois recombinaisonnés (Tortora., 2003).

Ces phénomènes de différenciation impliquent souvent la synthèse d'hormones qui sont excrétées dans le milieu extérieur ; sirénine (*Allomyces*), anthéridiol et oogoniol (*Achlya*) ou les acides trisporiques (*Zygomycètes*) (Botton *et al.*, 1990).

Chez les champignons, les organes sexuels, très petits, ne sont pas toujours bien différenciés, et peuvent même être absents, des cellules apparemment banales du thalle peuvent parfois en tenir bien. Les deux types d'organes sexuels sont rarement portés par des thalles différents (espèce dioïques à thalles unisexuées), le plus souvent ils sont rassemblés sur le même thalle (espèce dites monoïques à thalle hermaphrodite), portés par un même thalle ou entre n'importe quel thalle femelle et n'importe quel thalle male. La reproduction sexuée ne se réalise que dans certaines conditions qui sont souvent différentes de celles pour lesquelles se réalise la meilleure croissance végétative (Lanier *et al.*, 1978).

**I.2. Croissance et développement :****I.2.1. Croissance des hyphes :**

La croissance des hyphes est extrêmement apicale (figure 4). Cette croissance met en jeu la lyse de la paroi apicale et une synthèse du matériel pariétal nouveau. L'apex est riche en vésicules, souvent dérivées de l'appareil de Golgi et du réticulum endoplasmique qui apporte des hydrolases et des synthèses nécessaires à la croissance en longueur de l'hyphe. L'accumulation apicale des vésicules implique une circulation acropète du contenu cytoplasmique : l'afflux de nutriments ou d'organites se fait des régions âgées vers les zones en croissance, donc jeunes du mycélium. La croissance apicale est donc le résultat de deux phénomènes : l'extension par plastification de la paroi et la rigidification de cette structure. Si les vésicules porteuses d'enzymes sont trop nombreuses pour être toutes utilisées à l'apex (milieu très nutritif par exemple), l'hyphe se ramifie. Les rameaux latéraux apparaissent à quelques dizaines ou centaines de microns de l'apex. Ces ramifications sont soumises au phénomène de dominance apicale. Elles se développent d'autant mieux que les nutriments sont abondants. Un phénomène de concurrence trophique existe entre l'axe principal et les ramifications primaires puis secondaires et



tertiaires. Un hyphe septé peut se subdiviser en trois zones : zone apicale, zone subapicale (riche en noyaux, mitochondries, ribosomes et réticulum endoplasmique), et une zone de vacuolisation (Botton *et al.*, 1990).

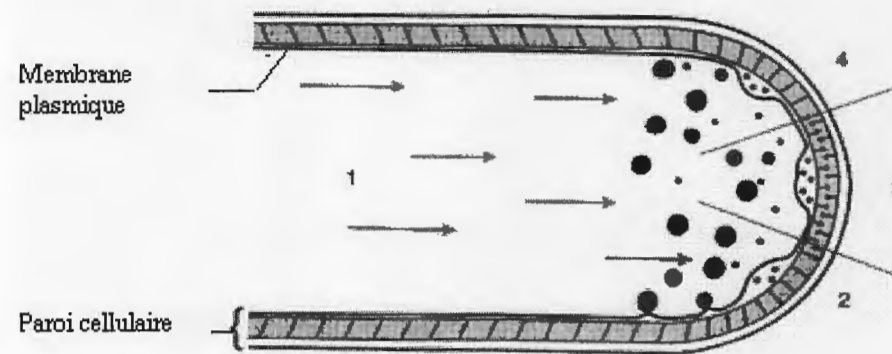


Figure 4 : croissance de l'extrémité de l'hyphe (Isaac, 1991).

### I.2.2. Les colonies fongiques :

Les colonies fongiques comprennent quatre zones de croissance concentrique. Dans la zone d'extension de la colonie, la plus périphérique, les ramifications peuvent être monopodiales, sympodiales, ou dichotomiques. Plus à l'intérieur se situe la zone de production, où a lieu l'essentiel de l'augmentation de la biomasse, puis la zone de fructification, où l'augmentation de la biomasse a cessé et où les spores sont formées. En fin, au centre se situe la zone âgée, correspondant à la phase de déclin de croissance (figure 5) (Boiron., 1996).

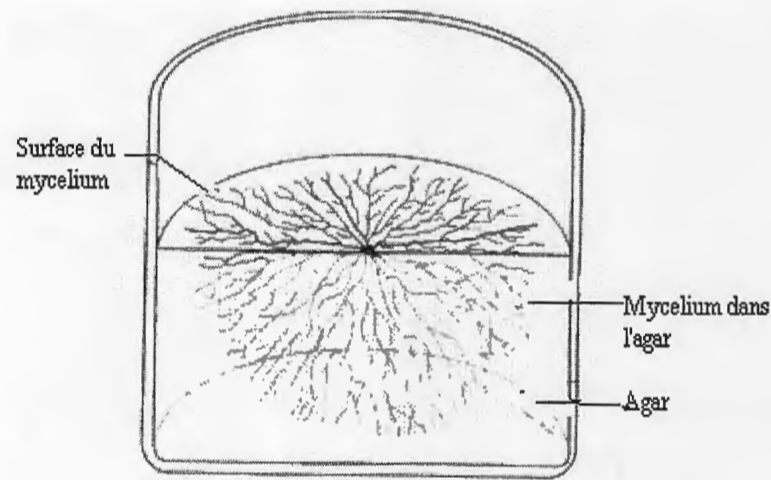


Figure 5 : Aspect de la croissance des mycètes filamenteux (Ingold et huson., 1993).

Les caractéristiques physiques des colonies fongiques de quelques espèces de moisissures sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les caractéristiques physiques des colonies fongiques de quelques espèces de moisissures (Cahagnier *et al.*, 1998).

Espèce	Colonie fongique
<i>Absidia corymbifera</i>	- Colonies à croissance rapide, blanches à gris clair, roses.
<i>Mucor racemosus</i>	- Colonies à développement rapide, brun clair, épaisses, peu denses avec un revers crème.
<i>Mucor plumbeus</i>	- Colonies grises à gris noir envahissant.
<i>Rhizopus stolonifer</i>	- Colonies gris plomb, épaisses.
<i>Aspergillus flavus</i>	- Colonies granuleuses, plus denses vers le centre et lâches en périphérie, vert jaune à vert olive incolore ou beige clair.
<i>Aspergillus fumigatus</i>	- Colonies bleu gris à turquoise, veloutées, à bordure blanche, revers incolore à gris vert pâle.
<i>Penicillium glabrum</i>	- Colonies assez plates, veloutées, gris-vert à vert foncé avec une marge mycélienne blanche, revers variable selon les souches, d'incolore à jaune ou brun.
<i>Penicillium purpurogenum</i>	- Colonies cotonneuse, vert gris à vert foncé avec parfois du mycélium jaune ou blanc ; revers variable selon les souches, de peu coloré à le plus souvent, rouge foncé.

### I.2.3. Méthodes de mesure de la croissance fongique :

Il existe différentes méthodes pour mesurer la croissance fongique. Certaines méthodes sont utilisées par des êtres précisés et ne sont pas applicables sur d'autres, donc, il n'existe pas de méthodes valables pour tous les champignons (1999، علي أحمد).

#### I.2.3.1. Méthode du poids sec du mycélium :

C'est la méthode la plus utilisée et la meilleure pour mesurer la croissance fongique. Les étapes de cette méthode diffèrent selon le type du milieu nutritif et l'espèce fongique. Généralement basée sur la séparation du mycélium fongique du milieu nutritif liquide, puis lavage et séchage dans un récipient propre à poids défini (on peut utiliser le papier filtre). Il faut signaler que la croissance de certains champignons est gélatineuse, donc il est difficile de les filtrer, c'est pour ça on utilise la méthode de centrifugation. Après la séparation du mycélium, ce dernier est séché à température 90 -95°C plusieurs heures jusqu' à la stabilité du poids (1999، علي أحمد).

Dans le cas des colonies fongiques qui se développent sur un milieu nutritif solide riche en agar, la croissance est mesurée par la séparation de croissance superficielle du

mycélium à la surface de l'agar, comme on peut éliminer l'agar associé au mycélium par l'eau chaude (1999، علي أحمد).

#### **I.2.3.2. La méthode photométrique :**

Cette méthode correspond aux champignons unicellulaires ou ceux ayant des filaments fongiques courts. Elle exige un appareil photométrique qui permet la mesure de l'intensité du rayon optique qui traverse le milieu nutritif. Plus la croissance fongique augmente, la quantité de la lumière qui traverse la suspension cellulaire diminue ; et le rapport entre le poids sec qui se trouve dans un volume déterminé de la suspension cellulaire et l'intensité lumineuse qui traverse les différentes concentrations des solutions est définie par une courbe (1999، علي أحمد).

#### **I.2.3.3. Méthode de dosage de nitrogène cellulaire :**

C'est la méthode la moins utilisée dans le cas des champignons malgré que le nitrogène entre dans la composition structurale de la chitine de la paroi cellulaire chez les champignons (1999، علي أحمد).

#### **I.2.3.4. Croissance linéaire :**

C'est l'une des méthodes pour la mesure de la croissance fongique dans les boîtes de Pétri où on peut mesurer le diamètre, le périmètre ou la surface de la colonie fongique. Dans cette méthode le taux de croissance est exprimé par l'augmentation quotidienne produite. Il faut signaler que cette méthode néglige l'épaisseur de la colonie fongique. Donc, pour mesurer la croissance superficielle avec précision et de façon correcte et exacte, on utilise le tube de croissance qui nous permet d'éviter la croissance en épaisseur, et la colonie est moins exposée aux contaminations (1999، علي أحمد).

### **I.2.4. Nutrition et physiologie :**

#### **I.2.4.1. Mode de vie :**

Les moisissures sont hétérotrophes, car ils ne peuvent pas comme les plantes vertes, synthétiser la matière organique à partir du CO<sub>2</sub> atmosphérique grâce à la photosynthèse. Ils doivent donc puiser dans le milieu ambiant l'eau, l'énergie et les substances organiques et minérales nécessaires à la synthèse de leur propre matière. Ils peuvent être **saprophytes**, se développant sur des substrats morts ou **inertes**, **parasites** se développant aux dépens d'organismes vivants qu'ils finissent par tuer, préparant ainsi la place aux saprophytes, ou encore **symbiotiques**. La symbiose est une association à bénéfice réciproque entre un champignon et un autre organisme : algue pour former les lichens ou plantes sous forme de mycorhizes. On estime que 85% des plantes sont mycorhizées, la plante apportant la matière organique, et le champignon les sels minéraux et l'eau puisés dans le sol assez loin, grâce à l'extension du mycélium (Lemaître *et al.*, 1998).

#### **I.2.4.2. Facteurs de développement :**

Les champignons ont une remarquable capacité à coloniser et exploiter une grande variété de substrats. Les différentes espèces fongiques exigent des conditions d'environnements différentes. Il est nécessaire de les connaître et de les contrôler pour obtenir au laboratoire des cultures fongiques stables et reproductibles. On distingue deux catégories de facteurs nutritionnels : Les macronutriments exigés à concentration

relativement élevée et les micronutriments nécessaires à des concentrations plus faibles (Boiron., 1996).

#### a- Eléments nutritifs :

Pour croître et se multiplier, la moisissure doit puiser dans le milieu des matières organiques structurales et énergétiques, la paroi rigide empêche la cellule fongique de phagocyter sa nourriture ; seuls des nutriments simples et solubles peuvent être absorbés, ce qui implique une hydrolyse préalable des macromolécules. Cette exigence est généralement satisfaite grâce à un potentiel enzymatique exceptionnel ; la cellule fongique est particulièrement riche en dépolymérase. Sous l'action de ces enzymes excrétées dans l'environnement, des polymères complexes comme la cellulose, la lignine et les composés pectiques peuvent être « digérés » par de nombreux champignons, quant à l'azote, les moisissures l'assimilent aussi bien sous forme organique que minérale. Un substrat pour être propice au développement des microorganismes, doit non seulement renfermer des substances carbonées et azotées assimilables, mais il doit en outre les renfermer en proportions convenables, le rapport C/N pour une croissance optimale des bactéries et des champignons est compris entre 8/1 et 12/1. Certains champignons peuvent même croître sur des matériaux très déficitaires en azote comme les chaumes et les pailles (C/N > 80), (Roquebert., 1997). En plus des besoins en carbone et en azote, les mycètes ont besoin d'autres nutriments dits macronutriments (S, P, Mg, K, etc.) et des micronutriments (Fe, Cu, Mn, Zn, molybdène) qui sont présents en excès dans leur environnement. Des mycètes possèdent des mécanismes spécifiques pour absorber certains nutriments, comme le phosphore et le fer qui peuvent être présents en faible quantité, certains mycètes peuvent nécessiter un apport en vitamines, en stérol et en facteurs de croissance (Nicklin *et al.*, 2000).

#### b- Facteurs de l'environnement :

Outre les exigences nutritives, le développement fongique <sup>est</sup> et sous la dépendance des conditions physicochimiques dont la nature varie selon l'espèce. Ces facteurs conditionnent également la survie fongique (Scriban ., 1999).

- **Humidité** : comme pour tout le règne vivant, l'eau est le facteur de l'environnement déterminant pour le développement des moisissures. Elle est nécessaire aux synthèses, au transfert de molécules et aux réactions énergétiques du métabolisme. Globalement, on peut dire qu'au dessous d'une humidité ambiante de 60% aucune moisissure ne se développent, il faut également, et surtout, prendre en compte la disponibilité de l'eau d'un support encore appelée activité de l'eau ( $A_w = \text{Activity of water}$ ) (Roquebert., 2002).

L' $A_w$  d'un aliment dépend de ses caractéristiques chimiques, c'est-à-dire de l'eau retenue par les sels, sucres et protéines, et de ses caractéristiques physiques (porosité, polarité, mouillabilité). Ce paramètre peut varier de 0 à 1. Il existe une relation directe entre l'humidité relative atmosphérique et l' $A_w$  d'une denrée :  $A_w = HR / 100$  (Berthier et Valla., *s.d*). L'humidité relative minimum pour que commencent à se développer certaines moisissures peu nombreuses, dites **xérophiles**, est de 65-70 % (*Eurotium - Aspergillus* du groupe *Glaucus*). Au fur et à mesure que l'humidité augmente, s'installent ensuite des moisissures différentes, de plus en plus nombreuses vers 80-90%. Ainsi selon

l'espèce identifiée sur un substrat, on peut approximativement définir l'évolution de l'humidité relative de celui-ci (Mollard., 1986).

Tableau 2 : Activité de l'eau des principales moisissures (Roquebert., 2002).

Aw	Genres de moisissures
1.00	0
0.95	Basidiomycètes (mérule)
0.90	<i>Mucorales</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Cladosporium</i>
0.85-0.80	<i>Penicillium</i> sp. , <i>Aspergillus</i> sp.
0.75	<i>Aspergillus xerophiles</i>
0.70	<i>Eurotium</i> , <i>Chrysosporium</i> sp.
0.65	<i>Xeromyces</i>
0.60	0

• **Température** : La plupart des moisissures ont des optimum de croissance entre 25 et 35°C. Certaines espèces appelées thermophiles, peuvent même se développer à des températures supérieures, comme c'est le cas d'*Aspergillus fumigatus* (Smith., 1972 ; Cole *et al.*, 1977 ; Pelhate., 1987 ; Schneweis *et al.*, 2001). Cependant, il peut y avoir des particularités pour certaines espèces et c'est ainsi que l'on définit des températures cardinales qui sont : les températures minimales, optimales et maximales de croissance (tableau 3) (Roquebert., 1997).

Tableau 3 : Températures cardinales du développement des moisissures (Roquebert., 2002).

Catégorie	Température		
	minimale	optimale	Maximale
Psychrophiles	<0°C	0-17°C	<20°C
Mésophiles	>0°C	15-40°C	<50°C
Thermophiles	>20°C	35-50°C	>50°C

• **Oxygène** : La quantité d'oxygène mise à la disposition des moisissures est un facteur important de développement, la plupart sont aérobies : les plus exigeantes vivent dans les régions périphériques des substrats, les moins exigeantes peuvent se développer en profondeur, certaines peuvent même supporter une anaérobiose très stricte (Bourgois *et al.*, 1996), certaines supportent une forte baisse de pression d'O<sub>2</sub>, elles sont dites microaérophiles, par exemple : *Penicillium roquefortii*, *Penicillium expansum* et *Aspergillus niger*, supportent jusqu'à 4.2 % d'O<sub>2</sub> (Cahnier., 1984).

• **pH** : Bien que les champignons soient capables de croître dans une large gamme de pH comprises entre 3 et 8 avec une croissance optimale comprise entre 5 et 6 (tableau 4) (Berthier et Valla., *s.d*), le pH influence sur la croissance des champignons, soit indirectement en agissant sur la disponibilité des éléments nutritifs (à pH acide, le fer reste sous forme d'ions ferreux assimilables), soit directement par action sur la membrane cellulaire. Par ailleurs, le métabolisme des champignons modifie le pH, soit par l'utilisation des anions ou des cations du milieu, soit en produisant des acides organiques ou de l'ammoniac (Boiron., 1996).

Tableau 4 : pH minimal et maximal pour la croissance de certaines moisissures (Botton *et al.*, 1990).

Espèce	pH minimum	pH maximum
<i>Aspergillus flavus</i>	2	11
<i>A. ochraceus</i>	2.2	13
<i>Penicillium crustosum</i>	2.2	10
<i>Fusarium graminearum</i>	2.4	10.2

• **Lumière** : Les radiations du spectre visible (380-720 nm) n'ont en général pas d'action sur la croissance végétative des champignons, mais peuvent agir sur la sporulation. Les photopériodes (lumière /obscurité) créent des zonations. Beaucoup de champignons n'exigent pas de la lumière pour sporuler, cependant les photoréponses de la sporulation dans le bleu, ont été décrites chez *Penicillium isariiforme*, *Alternaria tomato* et *Stemphylium botrysium*. Le pic maximal d'activité est à 480 nm ou 410-425 nm (Botton *et al.*, 1990).

#### I.2.5. Le métabolisme :

La glycolyse ou la voie d'Embden –Meyerhof –Parnas et parfois la voie d'Entner Doudoroff, sont les modes de dégradations des glucides. Le produit terminal est l'acide pyruvique qui en aérobiose est converti en acétyl-CoA via le cycle des acides tricarboxyliques. L'oxygène est habituellement l'accepteur terminal des électrons mais le nitrate peut parfois jouer ce rôle (*Aspergillus nidulans*). Plusieurs champignons filamenteux peuvent se développer en anaérobioses. Tout l'ATP cellulaire est alors dérivé de la glycolyse. L'acide lactique ou l'éthanol, sont les produits terminaux de la fermentation. Le cycle glyoxylique est important lorsque le champignon est cultivé sur l'acétate comme source de carbone : ce cycle produit de l'oxaloacétate qui est décarboxylé pour produire du phosphoénole pyruvate à partir duquel, la cellule synthétise les glucides de la paroi. L'acide citrique est synthétisé à partir d'acide oxaloacétique qui apparaît par carboxylation d'acide pyruvique. Les champignons utilisent la voie d'acide  $\alpha$ -aminoadipique pour la synthèse de la lysine, les Oomycètes suivent la voie de l'acide diaminopimélique. Lorsque la croissance végétative est inhibée, les molécules intermédiaires des métabolites primaires peuvent être orientées vers les synthèses inhabituelles, celles des métabolites secondaires : alcaloïdes, antibiotiques, arôme et mycotoxines (Larpen et Gourgaud., 1997b).

# *Chapitre II*

*Les moisissures dans les milieux  
naturels et biodétérioration*

### II.1. Introduction :

Les champignons microscopiques sont partout présents dans l'environnement. Dans la nature, ils participent activement à la dégradation de la matière organique végétale et à son recyclage par la transformation de molécules complexes (lignine, cellulose, amidon, etc.) en éléments plus simples et en gaz carbonique assimilables par les plantes. Sans leur action, liée à celle d'autres microorganismes tels que les bactéries, la plante serait recouverte de déchets organiques accumulés. Cette capacité de la biodégradation vitale pour l'équilibre naturel, peut devenir néfaste pour l'homme, si elle s'applique à des matériaux ou des produits utiles. La même activité de biodégradation est alors qualifiée de biodétérioration quand elle porte préjudice à nos ressources (Roquebert., 2002).

### II.2. Les écosystèmes naturels :

#### II.2.1. Eau :

Certains champignons comme les Oomycètes et les Chytridiomycètes, sont adaptés au milieu aquatique et voient leur cycle de vie se dérouler entièrement dans l'eau. D'autres n'y passent qu'une partie de leur cycle. Les champignons aquatiques sont moins nombreux que les champignons terrestres ; cependant, on les trouve dans toutes sortes de milieux : lacs, rivières, estuaires, haute mer, etc., qu'ils soient saprophytes ou symbiotes. Les conditions locales (pression osmotique, température, agitation, etc.) influencent le type d'espèces existantes. L'eau de mer contient peu d'azote inorganique et de carbone, mais possède un fort taux ionique. Les espèces fongiques devant s'adapter au milieu marin doivent accroître la concentration ionique intracellulaire pour compenser la pression osmotique externe. Selon le degré de compensation réalisée, conditionnant leur capacité d'adaptation au milieu marin ambiant, les espèces marines se répartissent graduellement dans les estuaires. À titre anecdotique, quelques espèces sont capables de se développer à 4000 mètres de profondeur, supportant une pression considérable (ainsi qu'une température très basse et l'obscurité). Les substrats (bois immergés) influencent également la répartition des espèces (Boiron., 1996).

#### II.2.2. Sol :

Les sols constituent un élément d'une très grande diversité, en fonction de l'histoire climatique, géologique et végétale. Certaines espèces fongiques se retrouvent sur la plupart des terrains, comme les *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Rhizopus*, *Absidia*, etc. On y retrouve aussi communément des Oomycètes et des Chytridiomycètes. Les sols agricoles sont très étudiés ; ils diffèrent notablement des sols naturels car ils contiennent de fortes concentrations de phosphate, d'azote, et de potassium (fertilisants). Environ 25000 espèces différentes de champignons ont été isolées dans de tels sols. Leur nutrition dépend essentiellement de l'apport en matière organique provenant des végétaux. Mais l'équilibre nutritionnel du sol reste généralement précaire en raison d'une consommation rapide des éléments nutritifs. C'est probablement pour cette raison que les spores restent, une grande partie de leur temps, à l'état de dormance et ne se développent que lorsque les nutriments deviennent disponibles (Boiron., 1996).



**II.2.3. Bois :**

Le bois vivant possède des systèmes de défense contre l'agression fongique. Néanmoins, certains champignons sont capables de dépasser ces défenses et de parasiter le bois. D'autres espèces ne peuvent attaquer que le bois mort. Un certain nombre d'espèces sont spécialisées dans la colonisation de niches particulières, au sein d'arbres particuliers. Le bois constitue une bonne source de carbone, mais les autres éléments nutritifs, comme le phosphore et l'azote, sont limités. Pour se développer à partir d'une zone nutritive vers une autre, certaines espèces ont la capacité de croître sur des milieux non nutritifs et de les franchir (Boiron., 1996).

**II.2.4. Rhizosphère :**

Les racines vivantes fournissent des éléments nutritifs aux micro-organismes terrestres. Leur croissance s'accompagne d'un relargage de polysaccharides et de mucopolysaccharides, ainsi que de protéines, d'acides aminés, d'acides organiques et de sucres. Cette production est d'ailleurs stimulée par la présence des micro-organismes. La distribution de ces derniers change continuellement au fur et à mesure de la progression des racines, des conditions du terrain (humidité), etc. Certaines espèces ne sont pas directement en contact avec les racines, mais restent sous l'influence des substances qu'elles sécrètent, soit en étant inhibées, soit en étant stimulées. D'autres (champignons mycorhiziens) sont étroitement associés aux racines de nombreuses phanérogames (arbres, arbustes, plantes herbacées pérennantes) ou de fougères (Boiron. 1996).

Les associations mycorhiziques sont essentiellement de deux types. Le type le plus commun concerne les mycorhizes ectotrophes (ectomycorhizes), localisées sur les radicelles de végétaux ligneux (arbres forestiers) sous forme de manchon fongique. Les champignons impliqués sont essentiellement des Basidiomycètes, ou quelques Ascomycètes cultivables sur milieu artificiel. Le second type représente des mycorhizes endotrophes (endomycorhizes), retrouvées plus généralement au sein des racines de plantes herbacées, qu'elles envahissent en formant des vésicules et des ramifications intracellulaires. Les champignons impliqués sont des Zygomycètes et des Basidiomycètes, strictement symbiotiques et ne pouvant être cultivés seuls (Boiron., 1996).

**II.2.5. Feuilles :**

La décomposition des feuilles par les champignons est une étape essentielle du cycle du carbone. Les espèces fongiques qui interviennent successivement dans ce phénomène varient selon la plante. La colonisation fongique de la surface de la feuille débute dès que la feuille émerge du bourgeon. Elle constitue alors un habitat pour un groupe spécialisé de champignons. Certaines espèces pénètrent à l'intérieur de la feuille par les stomas. D'autres pénètrent dans les tissus végétaux (*Aureobasidium pullulans*). Certaines espèces sont ubiquistes (*Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium herbarum*), on les retrouve sur les feuilles des plantes différentes, géographiquement indépendantes, alors que la plupart des espèces ne se développent que sur un type particulier de plante. Enfin, des substances fongistatiques peuvent être sécrétées, soit par la feuille elle-même (acide gallique), soit par les champignons en compétition (Boiron., 1996).

**II.3. Biodétérioration :****II.3.1. Produits alimentaires :**

**a. Céréales et dérivés :** Les grains de céréales peuvent être contaminés avant la récolte par la flore fongique microscopique du champ (*Alternaria*, *Fusarium*, *Cladosporium*, etc.) aux fortes capacités cellulolytiques. Plus tard, au cours du stockage de la récolte, une autre flore fongique, aux propriétés moins cellulolytiques et plus osmophiles, peut prendre le relais (*Aspergillus*, *Penicillium*). Finalement, les substrats organiques les plus altérés permettront la croissance des champignons peu cellulolytiques et non osmophiles (Mucorales) (Boiron., 1996).

**b. Produits laitiers :** Un grand nombre d'espèces sont capables d'envahir les fromages, le beurre et la margarine. Des Mucorales peuvent se développer à la surface de fromage sous la forme d'un épais feutrage ; les *Penicillium* peuvent en modifier l'aspect et le goût. Les *Cladosporium*, *Scopulariopsis fusca* peuvent être à l'origine de taches sombres ; de nombreuses autres espèces (*Trichoderma viride*, *Botrytis cinerea*, *Trichothecium roseum*, *Geotrichum candidum*, etc.) peuvent provoquer des intoxications (Boiron., 1996).

**c. Viandes et charcuteries :** *Aspergillus clavatus*, *A. niger*, *Chrysonilia sitophila*, *Geotrichum candidum*, etc., peuvent se rencontrer sur la viande, certaines espèces se développant même sur la viande réfrigérée (*Cladosporium herbarum*, *Geomyces pannorus*). Les salaisons peuvent également être contaminées (*Penicillium*) (Boiron., 1996).

**d. Œufs :** Certaines moisissures (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, etc.) se développent aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des œufs (Boiron., 1996).

**e. Légumes et fruits :** De très nombreuses espèces fongiques peuvent altérer des produits aussi divers que les agrumes, les pommes, les poires, les bananes, les fraises, les tomates, lait, etc. Ces organes végétaux tels que : *Alternaria alternata*, *Cladosporium* sp. (Chou fleur) ; *Puccinia aristidae*, *Peronopora* (Betterave rouge) ; *Fusarium* sp., *Mucor mucedo*, *Phytophthora infestans* (Tomate) ; *Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis*, *Penicillium expansum* (Fraise) ; *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria* sp. (Raisins) (Botton et al., 1990).

**f. Oléagineux et tourteaux :** Les gousses et les graines d'arachides, en particulier lors de leur stockage, peuvent être attaquées par de très nombreuses espèces fongiques, parmi lesquelles les *Aspergillus* et les *Penicillium* sont prépondérants, à côté de *Trichothecium roseum*, *Paecilomyces variotii*, *Fusarium moniliforme*. L'activité lytolytique de certaines espèces peut être à l'origine d'un rancissement de l'huile. Les graines de soja peuvent aussi être l'objet d'un envahissement par de très nombreuses espèces (mycoflore du champ et de stockage) (Boiron., 1996).

**g. Boissons :** Les espèces thermorésistantes peuvent coloniser les jus de fruits pasteurisés. Le développement de *Penicillium expansum* sur les pommes, peut être à l'origine d'une production de cidre toxique, en raison de la présence de clavacine (Boiron., 1996).

**II.3.2. Produits divers :**

**a. Textiles, papier, liège et bois :** Les champignons sont capables de détériorer les tissus fabriqués à partir des fibres animales et végétales (chanvre, coton, jute, laine, soie) en diminuant leur solidité et en altérant leur aspect. Les fibres animales sont plus résistantes que les fibres végétales. Les espèces cellulolytiques (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Scopulariopsis*, etc.) endommagent les produits finis, tels que les livres, les emballages, les tapisseries et même le papier goudronné. Certains matériaux peuvent être imprégnés de molécules antifongiques pour inhiber la croissance des moisissures. Les bois d'œuvres (charpentes, planchers, coques de bateaux) peuvent être attaqués par un agent fongique redoutable, *Gyrophana lacrymans* (Boiron., 1996).

**b. Peintures et adhésifs, produits pétroliers et cosmétiques :** Les polymères que contiennent ces produits peuvent être dégradés par les champignons, en stockage ou une fois appliqués en couche. L'humidité ambiante et les substances organiques additionnées lors de la préparation des produits influencent la dégradation de ces produits. Ainsi, *Alternaria dianthicola* et *Aureobasidium pullulans* sont capables d'attaquer les peintures à l'huile (Boiron., 1996).

De nombreuses moisissures sont capables de se développer à partir de produits pétroliers, tels que le fuel ou le kérosène, qu'ils utilisent comme source de carbone (*Cladosporium resinea*). Ces champignons sont aussi parfois capables de dégrader les parois métalliques des réservoirs. De plus, ils supportent très bien les variations de température qui peuvent survenir dans les carburants des avions (Boiron., 1996).

Les crèmes et les émulsions cosmétologiques peuvent être colonisées par *Aspergillus niger* ou *Paecylomyces variotti* (Boiron., 1996).

**c. Pierre, métaux et verre :** Les champignons sont capables de décomposer la pierre (grès, granit, marbre), en sécrétant des acides organiques qui en dissolvent les constituants. La porcelaine peut également être attaquée par les moisissures. L'aluminium et l'acier peuvent être corrodés par diverses espèces d'*Aspergillus* et de *Trichoderma*. Un produit aussi inerte que le verre peut également faire l'objet d'une dégradation par certaines espèces fongiques (*Eurotium*, *Penicillium citrinum*), lorsque l'humidité est suffisante pour assurer la croissance sur les poussières présentes. Les lentilles optiques peuvent ainsi être dépolies par une corrosion d'origine fongique (Boiron., 1996).

**d. Caoutchouc :** Le caoutchouc brut peut être dégradé par un grand nombre de champignons appartenant aux genres *Fusarium*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Trichoderma*, etc. Une fois vulcanisé, il est beaucoup plus résistant et seules quelques espèces telles que *Stemphylium macrosporoideum*, semblent capables de l'attaquer. La plupart des caoutchoucs synthétiques sont également résistants aux microorganismes (Botton *et al.*, 1990).

**II.3.3. Méthodes de prévention et de lutte :**

Les mesures de prévention liées à une hygiène rigoureuse occupent la première place de cette stratégie (Boiron., 1996).

Les mesures d'hygiène reposent essentiellement sur la solubrité obtenue par le nettoyage rigoureux et la désinfection des locaux et des matériels, pouvant aller jusqu'à la filtration de l'air. Le maintien d'une relative basse (inférieur à 70%) peut contribuer à limiter la croissance de la plus part des champignons. Enfin, l'hygiène du personnel reste une mesure indispensable pour compléter efficacement l'arsenal préventif de la contamination fongique (Boiron., 1996).

Les moyens de lutte comportent l'utilisation d'agents physiques et d'agents chimiques. Les moyens physiques conduisent soit à, inhiber la multiplication des agents fongiques (et des microorganismes en général) : réfrigération, congélation, déshydratation (atomisation, lyophilisation, séchage), augmentation de la pression osmotique ou abaissement du pH ; soit à les détruire par stérilisation (chaleur, filtration), pasteurisation, tyndallisation ou irradiation. Les moyens chimiques reposent sur l'utilisation de gaz conduisant à conditionner les produits sous atmosphère contrôlée ou modifiée (CO<sub>2</sub>, anhydride sulfureux) ; sur l'utilisation de conservateurs et de fongicides dans les produits alimentaires (ATB, substances organiques et de nombreux autres produits) et dans ou sur les produits industriels (Boiron., 1996).

Dans le cadre de lutte biologique, des virus, des bactéries et des champignons peuvent être utilisés pour lutter contre les champignons (Boiron., 1996).

D'autres types de phénomènes d'antagonisme peuvent également intervenir pour contrôler le développement des espèces indésirables, soit par compétition géographique, en occupant la même niche écologique, soit par compétition nutritive (Boiron., 1996).

# *Chapitre III*

*Les maladies provoquées par les  
moisissures*

**III.1. Introduction :**

Les champignons sont capables de provoquer différents types d'affections chez l'homme. Les mycoses, ou infections fongiques, sont des maladies provoquées par des champignons microscopiques. Les intoxications alimentaires constituent un deuxième type d'affections, représentées par les mycétismes et les mycotoxicoses (Boiron., 1996).

**III.2. Les intoxications alimentaires :****III.2.1. Les mycotoxines :****III.2.1.1. Définition :**

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires de faible poids moléculaire (Nguyeh., 2007), produites par des moisissures saprophytes, (Larpen et Gourgaud., 1997b). Elles sont présentes dans plusieurs produits de l'alimentation et qui provoquent de nombreuses maladies chez l'homme et l'animal (Nguyeh., 2007), plusieurs milliers de molécules toxiques ont été identifiées chez les champignons, mais seule une vingtaine de familles posent des problèmes (Berthier et Valla., *s.d*). Les mycotoxines sont synthétisées et excrétées dans le milieu dès la fin de la phase exponentielle de la croissance fongique, et pendant toute la phase stationnaire (Berthier et Valla., *s.d*).

**III.2.1.2. Différents types de mycotoxines et leurs effets sur la santé humaine :**

**a. Aflatoxines :** Ces toxines, dérivées de la couramine sont produites par *Aspergillus flavus* et des espèces voisines. Il existe quatre types d'aflatoxine naturelles : B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub> que l'on trouve dans des végétaux moisissés (tourteaux d'arachide, graines, sèches, etc.). Ces toxines donnent des troubles aigus ou chroniques (pouvant déboucher sur des cancers). Lors de l'ingestion par un animal, la toxine est modifiée (B<sub>1</sub> → M<sub>1</sub>) et peut se retrouver dans le lait (Guiraud., 2003).

Pour l'homme, les suggestions d'une relation entre des nourritures fortement contaminées en AFs et certaines maladies sont plus récentes. Les intoxications aiguës, potentiellement liées à des consommations d'AFs, ont été répertoriées par Hall & Wild (1994) et Wild & Hall (1996).

**b. Ochratoxine :** L'ochratoxine A (OTA) a été découverte pour la première fois chez *Aspergillus ochraceus* (Nguyeh., 2007). Elle est produite par deux genres fongiques : *Aspergillus* et *Penicillium*. Le genre *Aspergillus* est bien adapté pour les climats chauds alors que *Penicillium* se développe bien dans les climats tempérés. C'est pour cette raison que la présence d'OTA a été détectée dans de nombreux produits agricoles de différentes régions du monde (Smith *et al.*, 1994). Par exemple, l'OTA et ses champignons producteurs ont été trouvés dans les céréales et les produits dérivés, le café, le raisin, etc. (Frisvad et Viuf., 1986 ; Pohland *et al.*, 1992 ; Jorgensen., 2005).

Il existe d'autres ochratoxines comme l'OTB qui est le dérivé non chloré de l'OTA, et l'OTC qui est son ester éthylique. Structuralement, les trois ochratoxines diffèrent très légèrement les unes des autres, cependant, ces différences ont des effets marqués sur leur potentiel toxique respectif. L'OTA est la plus répandue. Elle est plus toxique que l'OTB, mais moins que l'OTC. L'OTA est toxique pour l'homme

et l'animal. Elle est potentiellement néphrotoxique chez toutes les espèces testées, à l'exception des ruminants adultes. L'OTA est considérée comme un cancérigène rénal au moins lors d'une exposition à long terme. Elle a été classée dans le groupe 2 B « Cancérigène possible pour l'homme » par l'IARC (Olsen *et al.*, 2003 ; règlement n°1881/2006).

**c. Citrinine :** La citrinine (CIT) a été décrite en 1931 comme pouvant être utilisée comme un antibiotique, mais finalement rejetée à cause de sa toxicité (Adams et Moss., 2002). La CIT est un métabolite secondaire toxique, tout d'abord isolé de *P. citrinum* (Hetherington et Raistrick., 1931). Elle est aussi produite par d'autres espèces de *Penicillium* (Ei-Banna *et al.*, 1987), d'*Aspergillus* (Kurata., 1990) et de *Monascus* (Blanc *et al.*, 1995). La contamination par la CIT est observée dans divers aliments à base de céréales (maïs, blé, orge, riz, fruit, produits de céréales...) (Nguyeh., 2007).

**d. Patuline :** La patuline ou clavicine contamine beaucoup les fruits moisissés, les pommes en particulier. Le développement des jus de fruits pasteurisés en bouteille a considérablement augmenté l'importance de cette toxine. L'acidité, le conditionnement sous de faibles tensions d'oxygène et le traitement thermique des jus de fruits sélectionnent souvent *Byssochlamys nivea* espèce productrice de patuline. Cette espèce, par ailleurs *acidophile* et capable de se développer en atmosphère très pauvre en oxygène, forme des spores sexuées (Ascospores) thermorésistantes qui survivent après un traitement de 1 à 12 mn à 90°C. La contamination fongique dans ce cas n'est pas due à un manque d'hygiène lors du conditionnement : le champignon est apporté avec les fruits (Jelinek *et al.*, 1989).

**e. La zéaralénone :** La zéaralénone est une mycotoxine produite par de nombreux *Fusarium* contaminant les céréales, et principalement les maïs, essentiellement en post récolte au cours de la conservation des grains. Très faiblement toxique, elle est cependant cause d'infertilité de différents désordres chez le porc et le mouton, associés à des propriétés oestrogéniques ; le transfert dans le lait est négligeable de même que la présence dans la viande ou les œufs (Apfelbaum *et al.*, 2004).

**f. Les Fumonisines :** Les fumonisines sont un groupe de mycotoxines récemment caractérisées chez quelques espèces de *Fusarium* infectant les cultures des céréales dans des conditions climatiques particulières. La fumonisine B1 est la plus abondante dans les aliments dérivés destinés au bétail et à l'homme. Elle est faiblement absorbée chez l'animal et ne donne pas lieu à des résidus en quantité significative dans les denrées animales. Elle produit une large gamme d'effets toxiques chez l'animal (encéphalite chez le cheval, œdème pulmonaire chez le porc, néphrotoxicité et cancer du foie chez le rat) et les études épidémiologiques ont montré une association avec certains cancers ; les fumonisines sont classées cancérigènes potentiels pour l'homme (Apfelbaum *et al.*, 2004).

**g. Les trichotécènes (deoxynivalenol, T2-Toxine) :** Les trichotécènes sont issus de nombreuses espèces de *Fusarium*, se développant sur les épis de céréales (principalement le blé, orge, maïs, avoine) dans certaines conditions atmosphériques

(froid et humidité) ; ils sont retrouvés dans une proportion importante (50%) de grains et de produits dérivés. Le passage dans la chaîne alimentaire (viande, œuf, lait) est très limité ; les trichotécènes ont été à l'origine d'empoisonnement graves d'animaux et d'hommes connu sous le nom d'*aleucie*, ils sont ni génotoxiques ni cancérogènes (Apfelbaum *et al.*, 2004).

**h. Les alcaloïdes de l'ergot du seigle :** Ces substances sont produites par *Claviceps purpurea*. Il s'agit de composés à cycle ergoline. Les alcaloïdes de l'ergot sont dotés de propriétés pharmacologiques et ont un intérêt médical (Guiraud., 2003).

Aujourd'hui indiscutablement, les mycotoxines doivent être classées parmi les toxiques naturels les plus puissants que l'on connaisse. Chez le rat, animal de sensibilité moyenne, la DL50 (Dose létale qui tue 50% des animaux testés) est souvent de quelques mg/kg. Les trichotécènes avec des DL50 de 0,5 à 1 mg/kg, possèdent l'une des plus fortes toxicités. De ce point de vue, la zéaralénone est sans doute la moins dangereuse avec des DL50 de 1 à 20g/kg. La DL50 des aflatoxines est de 5,5 à 7,4 mg/kg (Scott., 1988).

Les principales mycotoxines liées à la consommation d'aliments pollués par des moisissures et leurs effets sur la santé humaine sont représentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Principales mycotoxines liées à la consommation d'aliments pollués par des moisissures (Larpen et Gourgaud., 1997b).

Champignon	Toxines	Symptômes
<i>Aspergillus clavatus</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>Byssochlamys nivea</i>	Patuline	Hémorragies pulmonaires. Dégénérescence des neurones du cortex cérébral.
<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	Aflatoxines	Hépatites, hépatome.
<i>A. fumigatus</i> <i>A. terreus</i> <i>P. crustosum</i> <i>P. verruculosum</i>	Mycotoxines à effets trémorgéniques (pénitrèmes verruculogènes, Fumitrémorgine, territrème, etc.)	Tremblements nerveux, paralysies.
<i>A. ochraceus</i> <i>P. viridicatum</i>	Ochratoxines	Lésions rénales.
<i>Fusarium verticillioides</i>	Fumonisines	Nécrose des hémisphères cérébraux, troubles de la locomotion.
<i>F. graminearum</i> et autres <i>Fusarium</i>	zéaralénone	Action œstrogène.



<i>Fusarium divers</i> <i>Stachybotrys atra</i> <i>Myrothecium roridum</i>	Trichothécènes	Leucopénie, inflammation du tractus digestif, vomissements, immunosuppresseur.
<i>P. citrinum</i>	Citrinine	Lesions rénales.
<i>P. islandicum</i>	Lutéoskyrine islanditoxine	Hépatome.
<i>P. verrucosum</i> Var. <i>cyclopium</i>	Acide cyclopiazonique	Diarrhées, convulsions.
<i>Pithomyces chartarum</i>	Sporidesmine	Cedème cutané.

**III.2.2. Lutte et prévention :** Les moyens de lutte pour chaque période définie, sont consignés dans le tableau 6 (Pfohl-Leszkowicz, 1999).

Tableau 6 : Méthodes de lutte contre la contamination (Nguyen., 2007).

Période définie	Solutions proposées
Au champ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- créer des plantes résistantes</li> <li>- limiter le développement par l'emploi de fongicides</li> <li>- arrosage adapté</li> <li>- apport en minéraux</li> </ul>
À la récolte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- veiller à la maturité du grain</li> <li>- inspection visuelle pour éliminer les éléments abîmés</li> <li>- éviter les récoltes par temps humide</li> </ul>
Au stockage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- contrôle périodique</li> <li>- maintenir une bonne température</li> <li>- contrôler l'humidité</li> <li>- détruire les produits contaminés</li> <li>- une bonne aération des silos</li> </ul>
À la transformation	- contrôle mais, plus au niveau des mycotoxines que des moisissures
Dans l'alimentation des animaux	-tests de contamination, puis décontamination si nécessaire
À la consommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- éliminer les aliments contaminés</li> <li>- jouer sur la cuisson</li> </ul>

**III.3. Les mycoses :****III.3.1. Définition :**

Les mycoses sont des maladies provoquées par des champignons microscopiques appelés micromycètes. Les pathologies liées à un état d'hypersensibilité (alvéolites allergiques extrinsèques, asthme, etc.) comme les intoxications dues à l'ingestion de certains macromycètes (syndrome phalloïdien) ne sont pas considérés *stricto sensu* comme des mycoses, même si l'agent causal est un champignon, car la notion de mycose implique toujours les conséquences pathologiques du développement parasitaire du champignon chez son hôte. Pour la dénomination de ces mycoses, le nom de l'infection fongique dérive habituellement du nom du genre du champignon en lui ajoutant le suffixe -ose ; ainsi la pathologie à *Candida* s'appelle « Candidose », à *Aspergillus* « Aspergillose », à *Alternaria* « Alternariose » (Chabasse *et al.*, 1999).

**III.3.2. Habitat, mode de contamination et professions exposées :**

Les mycètes responsables de mycoses sont présents dans divers habitats, et la contamination se fait souvent par inhalation du spores ou par contact avec des végétaux et des animaux (Tortora., 2003).

Certains comportements, en particuliers chez les sportifs, ou certaines professions, exposent aux mycoses. Les ruraux, agriculteurs, pêcheurs, bergers et forestiers, soumis à de multiples traumatismes cutanés, sont exposés aux espèces fongiques telluriques ou géophiles. Les éleveurs, maquignons et vétérinaires seront plus réceptifs aux mycoses d'origine animale telles que les teignes inflammatoires. La fréquentation des salles de sport (douches, vestiaires), des piscines, des saunas, l'utilisation de jacuzzis collectifs et la pratique de sport pieds nus (arts martiaux) sont à l'origine de nombreuses mycoses localisées aux pieds (dermatophytose surtout). Enfin, en milieu scolaire, l'enfant sera plus réceptif aux agents des teignes anthropophiles. Les voyages intercontinentaux, le brassage des populations, facilitent le contact avec des espèces exotiques (Chabasse *et al.*, 1999).

**III.3.3. Physiopathologie des mycoses et leurs facteurs favorisants :**

Un champignon implanté chez son hôte doit satisfaire à trois fonctions fondamentales : se nourrir, se protéger et assurer sa reproduction. Ce sont les conditions nécessaires à sa survie dans l'organisme hôte. Les rapports hôte- parasite, lorsque ce dernier est un mycète, sont extrêmement complexes. Le champignon est un eucaryote doué d'un polymorphisme important. La cellule fongique, implantée dans les tissus, présente des aspects variés : forme levure, mycélium ou pseudomycélium, les formes de résistance (Chlamydospores), des morphologies parasitaires caractéristiques (cellules fumagoïdes, sphérules, grains, etc.). Cette variabilité morphologique s'accompagne d'une variabilité biologique, génétique et antigénique. Les variations phénotypiques peuvent être associées à l'expression d'une certaine pathogénicité. Par ailleurs, il faut toujours intégrer l'hôte : ce dernier aura tendance à limiter, voir à contrecarrer le développement du mycète. Un hôte sain dont les défenses sont parfaitement opérationnelles peut habituellement stopper l'infestation fongique. Le champignon se maintient parfois en commensale, c'est-à-dire sans provoquer un état pathologique chez celui qui l'héberge, mais cet état est instable, donc temporaire. Colonisant la peau et les muqueuses, le commensal n'entraîne pas de lésions perceptibles. À l'opposé, chez l'hôte fragilisé, le

mycète peut envahir les tissus profonds et causer une infection systémique pouvant être mortelle. C'est ce qui explique la place importante des champignons agents de mycoses dans la pathologie opportuniste et nosocomiale (Chabasse *et al.*, 1999).

La séquence des événements qui contribuent à l'installation du champignon chez son hôte (homme, animal) peut se résumer de la façon suivante : Colonisation et adhérence ; Pénétration ; Multiplication et survie chez l'hôte (Chabasse *et al.*, 1999).

### III.3.4. La classification clinique et aspects pathologiques :

#### III.3.4.1. Les mycoses superficielles :

**a- Piedra blanche :** C'est une infection chronique de la hampe des poils de la barbe, des aisselles ou du pubis. Elle peut aussi toucher les cheveux. Des nodules blancs irréguliers et duveteux constitués d'hyphes et d'arthroconidies, sont formés autour des poils. Les nodules prennent rapidement la coloration de Parker. L'infection est provoquée par des espèces du genre *Trichosporon*, *T. inkin* ou *T. cutaneum*, autrefois réunies dans le complexe *T. beigelii* (Midgley *et al.*, 2004).

**b- Piedra noire :** C'est une infection du cheveu provoquée par *Piedraia hortae*. C'est une infection rare, limitée aux tropiques. Les cheveux ont des nodules denses, noirs, attachés à la hampe, de taille variable et souvent visibles à l'œil nu. Quand les nodules sont plongés dans de la potasse, on peut observer les ascospores fusiformes contenant des ascques. Les cultures produisent des colonies brun foncé ou noires de *P. hortae* (Midgley *et al.*, 2004).

**c- Dermatophytoses :** Les mycètes qui colonisent les cheveux, les ongles et la couche superficielle de l'épiderme (stratum corneum) sont appelés **dermatophytes** ; ils croissent uniquement sur la kératine de la couche cornée de l'épiderme, présente en ces endroits grâce à la production de kératinase. Les infections dues à ces mycètes sont appelées **dermatomycoses** ou, plus couramment, teignes. La **teigne du cuir chevelu**, ou *tinea capitis*, est relativement courante chez les enfants fréquentant l'école élémentaire et elle peut entraîner la chute des cheveux sur les zones atteintes. L'infection a tendance à s'étendre de façon concentrique, et elle se transmet généralement par contact avec un objet inanimé. L'infection touche également d'autres parties du corps humain : on distingue ainsi la **teigne de l'aîne**, ou *tinea cruris*, et la **teigne du pied**, aussi appelée **pied d'athlète** ou encore *tinea pedis*. Le fort taux d'humidité de ces zones favorise en effet les infections fongiques. L'**onychomycose** (mycose des ongles), ou *tinea unguium*, est fréquente chez les personnes dont les mains ou les pieds restent humides (figure 6) (Totori, 2003).

Trois genres de mycètes jouent un rôle dans les mycoses cutanées : *Trichophyton* peut infecter les cheveux, la peau et les ongles ; *Microsporum* n'attaque en général que les cheveux et la peau (figure 7) ; enfin, *Epidermophyton* touche seulement la peau et les ongles. Les spores ou conidies produites par les mycètes persistent dans l'environnement, par exemple sur les planchers des douches publiques et des piscines, sur des tapis humides et dans des chaussures de course. Les mycoses sont opportunistes, si bien que l'implantation des spores dans la peau n'est favorisée que si cette dernière est altérée. Par

conséquent, les personnes dont la peau des pieds est irritée, fissurée et moite, sont plus vulnérables à l'infection. De plus, certains mycètes tels que *Trichophyton* sécrètent des protéases qui modifient la membrane plasmique des cellules de la peau, ce qui permet l'attachement du mycète à la cellule hôte puis sa croissance (Totoro., 2003).



Figure 6 : Exemple d'onyxis (Hart et Shears., 1997).

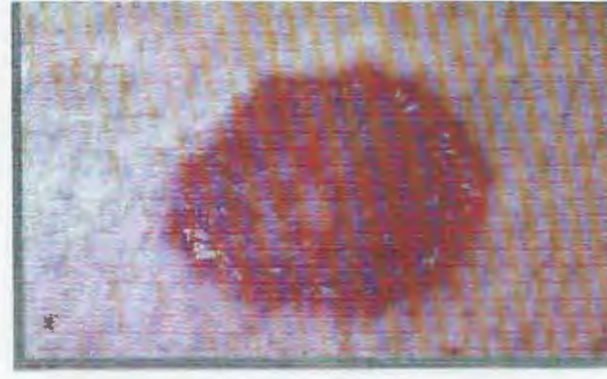


Figure 7 : Dermatophytie de la peau glabre due à *Microsporum* (Midgley *et al.*, 2004).

#### III.3.4.2. Mycoses sous cutanées :

*a- Sporotrichose* : *Sporothrix shenkii*, est un champignon dimorphe, saprophyte, tellurique, mondialement réparti. Les infections se produisent après une lésion pénétrante de la peau (figure 8), ou une contamination de blessure. La période d'incubation est de 1 à 3 mois, et conduit au développement de lésions granulomateuses chroniques, cutanées, lymphocutanées ou extracutanées, qui peuvent s'ulcérer et libérer un exsudat (Baker et Lumsden., 2001).



Figure 8 : Lésion locale de sporotrichose (Midgley *et al.*, 2004).

*b- Chromomycose* : La chromoblastomycose ou chromomycose, est une affection tropicale lentement évolutive du derme et de l'hypoderme. C'est une maladie dermatologique verruqueuse, due à 7 espèces de champignons différents : *Fonsecaea pedrosoi*, *F.compacta*, *Cladosporium carrionii* (figure 9), *Phialophora verrucosa*, *Rhinoctadiella cerophila*, *Wangiella dermatidis* et *Exophiala spinifera*. Elle a été décrite dans tous les continents, mais ce sont particulièrement les zones tropicales humides qui sont touchées. Les lésions évoluent sur un mode chronique (Chabasse., 2003).

Dans le cas où elle peut être identifiée, la phase de début se manifeste par une petite papule post traumatique, qui s'ulcère ou se transforme en un nodule squameux. Elle est située dans 80% des cas aux membres inférieurs. Cette lésion peut rester unique,

mais l'évolution se fait plus classiquement vers une extension locale. Dans d'autres cas, peut se produire une multiplication d'éléments plus petits, en « chou-fleur ». À la phase de début, la chromoblastomycose peut évoquer une tuberculose cutanée (Chabasse., 2005).

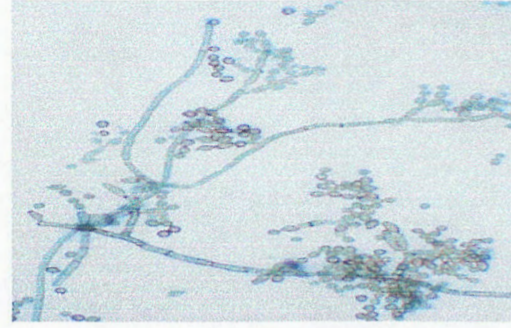


Figure 9 : *Cladosporium* sp. (Chabasse *et al.*, 2002).

c- **Mycétome (maduromycose)** : Elle est causée par *Madurelle mycetomatis* qui est mondialement répandue surtout sous les tropiques. Parce que le mycète détruit le tissu sous cutané et produit de graves déformations, l'infection est souvent appelée « mycétome » ou « tumeur fongique ». Une forme de mycétome connu sous le nom de « pied de Madura » (figure 10), résulte d'abrasion de la peau acquise par la marche à pieds nus sur un sol contaminé (Prescott *et al.*, 2007).

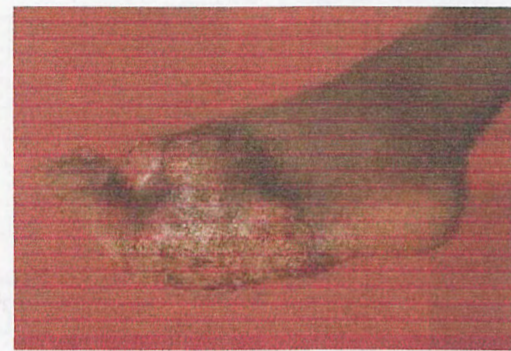


Figure 10 : Mycétome du pied, dû à *Fusarium* (Hart et Shears., 1997).

#### III.3.4.3. Mycoses profondes :

a- **Aspergilloses** : Ce sont des mycoses provoquées par des champignons imparfaits filamenteux appartenant au genre *Aspergillus* (Bouchet., 1989). *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger* sont les principaux pathogènes (Midgley *et al.*, 2004). La contamination se fait par les voies aériennes le plus souvent, et les spores sont véhiculées par les systèmes de ventilation; et les travaux de construction majorent les risques d'infection aspergillaire. Le dernier mode de l'infection est la réactivation de formes latentes endogène, chez des patients antérieurement traités pour une aspergillose, ou porteuse d'un aspergillome. Les facteurs prédisposant à une infection par *Aspergillus* sp. , sont bien définis, ils déterminent la forme latente de l'infection (Gayraud et Lartholary., 2006).

- **Aspergillose pulmonaire invasive** : C'est une pneumopathie due à *A. fumigatus* (figure 11), survenant chez les sujets neutropéniques, et provoquent une fièvre et des troubles pulmonaires : toux, hémoptysie, dyspnée, douleurs thoraciques (Bouveron et Yaouinou., 1995). La dissémination hématogène peut atteindre tous les viscères, le cerveau, l'œil, le rein et les os (Gayraud et Lartholary., 2006).

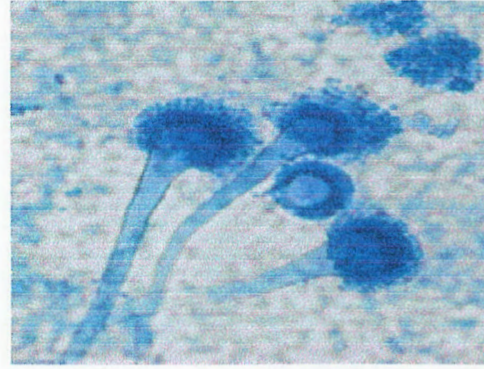


Figure 11 : *Aspergillus fumigatus* (Chabasse *et al.*, 2002.).

- **Aspergillome du poumon** : A la différence des aspergilloses invasives, l'aspergillome ou « truffe » colonise une cavité pulmonaire volontiers une caverne tuberculeuse. La symptomatologie pulmonaire est plutôt liée à la pathologie sous jacente qu'à l'aspergillome. Le signe radiologique est l'image en grelot (figure 12). L'hémoptysie est la seule complication grave connue (Gayraud et Lartholary., 2006).

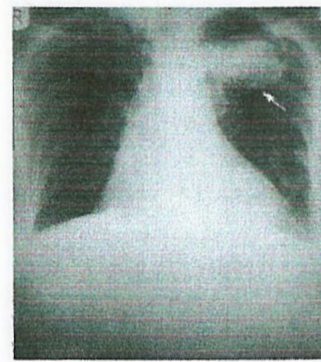


Figure 12 : Radiographie pulmonaire montrant un aspergillome (*La cavité pulmonaire indiquée par la flèche contient l'aspergillome*) (Hart et Shears., 1997).

- **Aspergillose invasive du sinus maxillaire** : Elle est typiquement unilatérale, contrairement aux sinusites bactériennes. Elle peut être aiguë ou chronique et survient chez des sujets profondément immunodéprimés. *Aspergillus flavus* (figure 13), est le plus souvent en cause. Elle s'étend rapidement aux structures de voisinage en particulier le cerveau et l'œil, provoquant une cécité unilatérale et des céphalées (Gayraud et Lartholary., 2006).

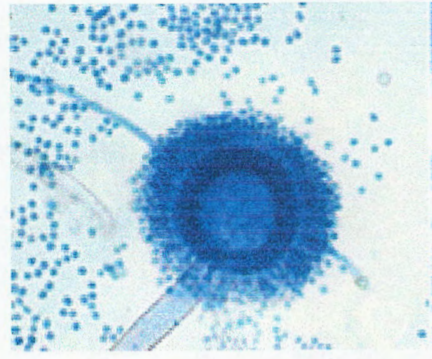


Figure 13 : *Aspergillus flavus* (Chabasse *et al.*, 2002).

- ***Apergillose invasive du conduit auditif*** : Elle est liée à une colonisation du conduit auditif externe par *A. niger* le plus souvent (Gayraud et Lartholary., 2006).
- ***Aspergillose broncho - pulmonaire allergique*** : Elle est définie par l'association d'un asthme, d'infiltrats pulmonaires, de bronchectasies proximales, d'une hyperéosinophilie, de réactions cutanées immédiates positives à *A. fumigatus* et une augmentation du taux de preceptines et d'IgE sériques, spécifiques, antiaspergillaires. La fièvre est absente (Gayraud et Lartholary., 2006).

**b- Histoplasmoses** : Les histoplasmoses sont des mycoses dues à *Histoplasma capsulatum* dont il existe deux variantes qui se distinguent par leur épidémiologie, leur symptomatologie clinique et l'aspect de l'histoplasme dans le tissu infecté (Chabasse Migerville, 2007).

- ***Histoplasmose africaine*** : Elle est provoquée par *H. duboisii* dont l'habitat est incertain. L'histoplasmose africaine est une affection granulomateuse qui se contracte par voie digestive ou cutanée. Ce sont les lésions ostéoarticulaires, gonglionnaires ou cutanées qui prédominent; ces derniers peuvent être nombreux; il s'agit de papules, de papulovesicules, de pustules ou de nodules sous cutanées. L'affection peut se disséminer, entraînant la mort (Saurat *et al.*, 1990).
- ***Histoplasmose américaine***: C'est une maladie endémique d'Amérique du nord, due au champignon parasite *H. capsulatum*, elle ressemble au Kala-azar ou à la tuberculose et est caractérisée par une splénomégalie, une émaciation, de la fièvre et une leucopénie ( figure 14) (Fattorusso et Ritter., 2006).



Figure 14 : Histoplasmose à *Histoplasma capsulatum* (bouche) (Chabasse et Migerville., 2007).

*c- Blastomycose* : C'est une mycose granulomateuse due à *Blastomyces dermatidis* que l'on observe sporadiquement en Amérique du nord et en Afrique. La maladie est transmise par l'inhalation de spores contenues dans la poussière. On observe des formes aiguës, avec atteinte de la peau et des poumons, qui peuvent évoluer vers la dissémination et l'atteinte osseuse, urogénitale et du SNC. Les formes cutanées chroniques se caractérisent par une papule qui s'ulcère et s'étend progressivement pendant des mois ou des années (Fattorusso et Ritter., 2006).

*d- Coccidioïdomycose* : C'est une maladie provoquée par le champignon dimorphique *Coccidioides immitis*. Ce dernier pousse dans les régions au sol alcalin ne connaissant pas de gelés sévères. On le trouve principalement sur le continent américain. *C. immitis* pousse dans le sol à l'intérieur d'un mycélium qui produit plusieurs arthrospores. Ces arthrospores sont résistantes à la dessiccation et extrêmement virulentes. Elles sont inhalées par les humains et se développent en sphérules, lesquelles provoquent une broncho-pneumonie le plus souvent désignée sous le nom de « Coccidioïdomycose primaire ». Si l'infection se prolonge pendant plus de six semaines, elle est appelée « Coccidioïdomycose primaire persistante » et est associée à une pneumonie progressive, la formation de cavernes et des nodules qui peuvent se traduire par une réactivation ou une dissémination hématogène (Duhamel et Harrell., 2007).

*e- Para-coccidioïdomycose* : Elle est due à *Blastomyces brasiliensis* présent à l'état endémique au Brésil. Comme au cours de la coccidioïdomycose pulmonaire, on distingue trois stades: une primo infection, une forme chronique et une forme aigue disséminée avec pour chacun des stades, des aspects radiologiques superposables à ceux de la coccidioïdomycose (Frija et Attal., 2002).

*f- Zygomycoses (mucormycoses)* : Mycoses rares, les zycomycoses pulmonaires appelées aussi « phycomycoses », sont dues à des champignons de la classe des Zygomycètes. Elles sont cosmopolites et n'atteignent que les patients fragiles (diabétiques en acidose, alcooliques, dénutris, malades sous corticothérapie et immunodéprimés). Le poumon, la face (figure 15), les cavités sinusiennes et la peau, sont les sites les plus fréquemment atteints. L'atteinte pulmonaire est spécifique, variable, souvent fatale, et le diagnostic souvent fait à l'autopsie. Il repose sur l'histologie surtout, car le germe est difficile à cultiver (Legmann., 1996).

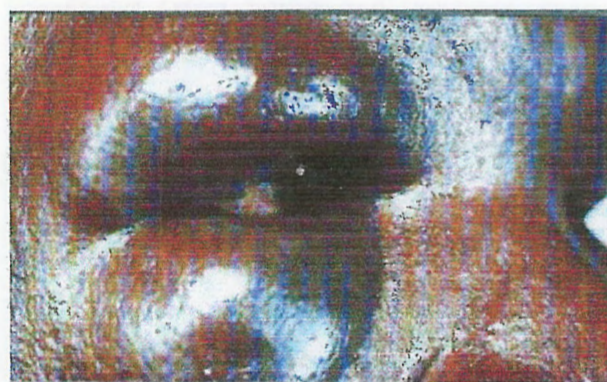


Figure 15 : Zygomycose sous-cutanée de la face (Midgley *et al.*, 2004).



**III.3.5. Démarche diagnostic au laboratoire :****III.3.5.1. Les règles de bon prélèvement :**

- Pour les prélèvements cutanés superficiels : Une toilette avec un savon ventre est recommandée le jour de l'examen afin d'éliminer la contamination par des moisissures de l'environnement ayant sédimenté sur la peau. Elles poussent rapidement sur les milieux de culture et empêchent le développement des colonies de dermatophytes (Feuillade de Chauvin, 1999).
- L'interrogatoire doit être réalisé à la recherche d'un séjour ou voyage, d'un contact animal, etc. Cela présente une aide précieuse pour le mycologue, car l'aspect des souches diffère selon la provenance des champignons géographiques ou animale (Feuillade de Chauvin, 1999).

**III.3.5.2. Prélèvements :**

Squames, ongles, cheveux, fragments de biopsies, sécrétions, produits d'expectorations, de lavage et autres liquides biologiques (Chabasse *et al.*, 2002).

**III.3.5.3. Examen direct :**

L'utilisation d'un éclaircissant facilite souvent la visualisation des éléments fongiques pour les prélèvements de peau ou de phanères (Chabasse *et al.*, 2002).

**III.3.5.4. Culture :**

Les produits pathologiques sont déposés sur le milieu de culture en plusieurs points distincts et enfoncés légèrement dans la gélose. Outre un ensemencement plus aisé, l'utilisation de géloses en boîtes de Pétri facilite l'isolement de l'agent pathogène et les montages à partir des colonies obtenues (figure 16). Des repiquages sur milieux spéciaux sont parfois nécessaires pour favoriser la conidiogénèse et la pigmentation (Chabasse *et al.*, 2002).

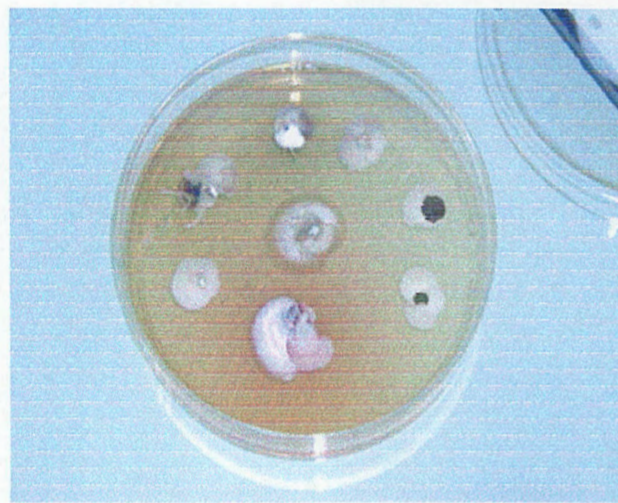


Figure 16 : culture sur gélose en boîte de Pétri (Chabasse *et al.*, 2002).

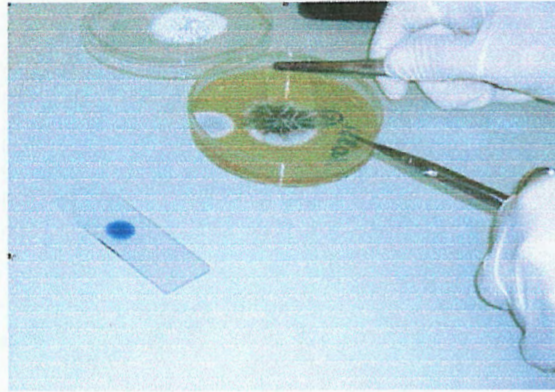
**III.3.5.5. Incubation :**

Habituellement à 22-25°C pour les prélèvements de peau ou de phanères, à 37°C pour les prélèvements issus des liquides biologiques et des tissus profonds (Chabasse *et al.*, 2002).

**III.3.5.6. Examen des colonies fongiques :**

*a- Avec un vaccinostyle :* Un fragment de colonie est prélevé avec un peu de gélose à l'aide d'un vaccinostyle et déposé sur une lame porte-objet dans une goutte de colorant (bleu coton, bleu à l'eau, etc.) il est ensuite dissocié, puis recouvert d'une lamelle couvre-objet qui écrase la préparation (Chabasse *et al.*, 2002).

*b- Avec un morceau de cellophane adhésive transparent ou scotch :* Un petit morceau de scotch est appliqué par sa face collante sur la colonie à l'aide d'une pince (figure 17), puis déposé sur une goutte de bleu coton sur une lame porte-objet. Une deuxième goutte (plus réduite) est alors déposée sur la face supérieure du scotch qui est ensuite recouverte d'une lamelle couvre-objet. Il convient d'éliminer l'excès de colorant autour de la lamelle avec une feuille de papier buvard (Chabasse *et al.*, 2002)



**Figure 17 :** Prélèvement d'une moisissure à l'aide de cellophane adhésive (Chabasse *et al.*, 2002).

**III.3.5.7. culture sur lame :**

*a- Objectif :* Examiner les organes de fructification, souvent difficiles à observer sur les montages classiques (Chabasse *et al.*, 2002).

*b- Préparation du matériel :* Déposer une tige de verre en U dans le fond d'une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre. Sur ce chevalet, placer une lame porte-objet stérile et fixer dessus un petit carré de gélose de Sabouraud d'environ 5 mm d'épaisseur (Chabasse *et al.*, 2002).

*c- Ensemencement :* Inoculer les côtés du bloc de gélose avec de petits filaments de la culture à examiner. Recouvrir l'ensemble d'une lamelle couvre-objet stérile. Puis, verser un peu d'eau distillée stérile dans le fond de la boîte, refermer la boîte de Pétri et placer le tout à l'étuve, habituellement à 20-25°C (figure 18) (Chabasse *et al.*, 2002)

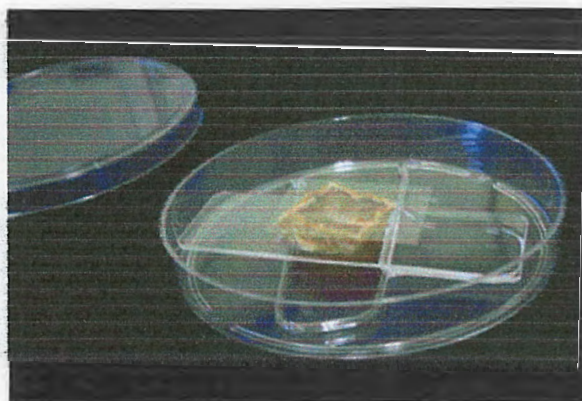


Figure 18 : Culture sur lame pour observation des organes de fructification (Chabasse *et al.*, 2002).

**d- Lecture :** Lorsque la culture est sporulée, prélever la lamelle couvre-objet et la déposer sur une goutte de bleu coton posée sur une lame porte-objet. Si la culture est optimale, éliminer le bloc de gélose ; déposer alors sur la lame une goutte de bleu et recouvrir le tout d'une lamelle. Pour une meilleure conservation, les préparations entre lame et lamelle peuvent être scellées avec du vernis à ongles (Chabasse *et al.*, 2002).

#### III.3.5.8. Interprétation :

Elle revient toujours au biologiste. En dehors d'un prélèvement profond ou de l'isolement d'un pathogène classique à partir d'un prélèvement superficiel, les critères de pathogénicité sont actuellement bien codifiés :

1. Examen direct positif (présence du champignon dans le prélèvement à l'état parasitaire).
2. Isolement du champignon à plusieurs reprises à partir d'un même site.
3. Isolement du champignon en culture pure et/ou à partir de plusieurs points d'ensemencements.
4. Réponse à une thérapeutique spécifique. Toutefois, ce critère n'est pas obligatoire pour affirmer le caractère pathogène de l'isolat.

Dans toutes les situations, l'interprétation sera facilitée par la lecture et l'analyse du dossier médical du patient. La confrontation clinico-biologique, et donc le dialogue avec le clinicien, prennent ici toute leur valeur (Chabasse *et al.*, 2002).

#### III.4. Traitement :

La conception de la triade classique de l'infection : parasite - hôte- antifongique est d'une importance particulière dans la chimiothérapie des mycoses. La thérapeutique antifongique est restée cantonnée à un petit nombre de produits, en particulier pour les mycoses profondes. L'amphotéricine B par voie intraveineuse, chef de file chronologique des antifongiques systémiques, est souvent le plus efficace. La flucytosine, la griséofulvine, puis les dérivés azolés, ont constitué de grandes étapes dans la découverte des molécules antifongiques (figure 19). Aucun produit actuellement disponible n'est fongicide *in vivo*, qualité essentielle dans le traitement des mycoses chez l'immunodéprimé. De nombreux progrès ont été réalisés ces dix dernières années, soit par le recours à de nouvelles formes galéniques, telles que les liposomes

d'amphotéricine B, soit par la découverte de nouvelles molécules aux propriétés microbiologiques ou pharmaceutiques originales : fluconazole, itraconazole, dérivés allylamines et morpholines . Les efforts portent sur la découverte de nouvelles familles, sur la prévention des mycoses et sur l'utilisation d'immunomodulateurs (cytokines) (Boiron., 1996).

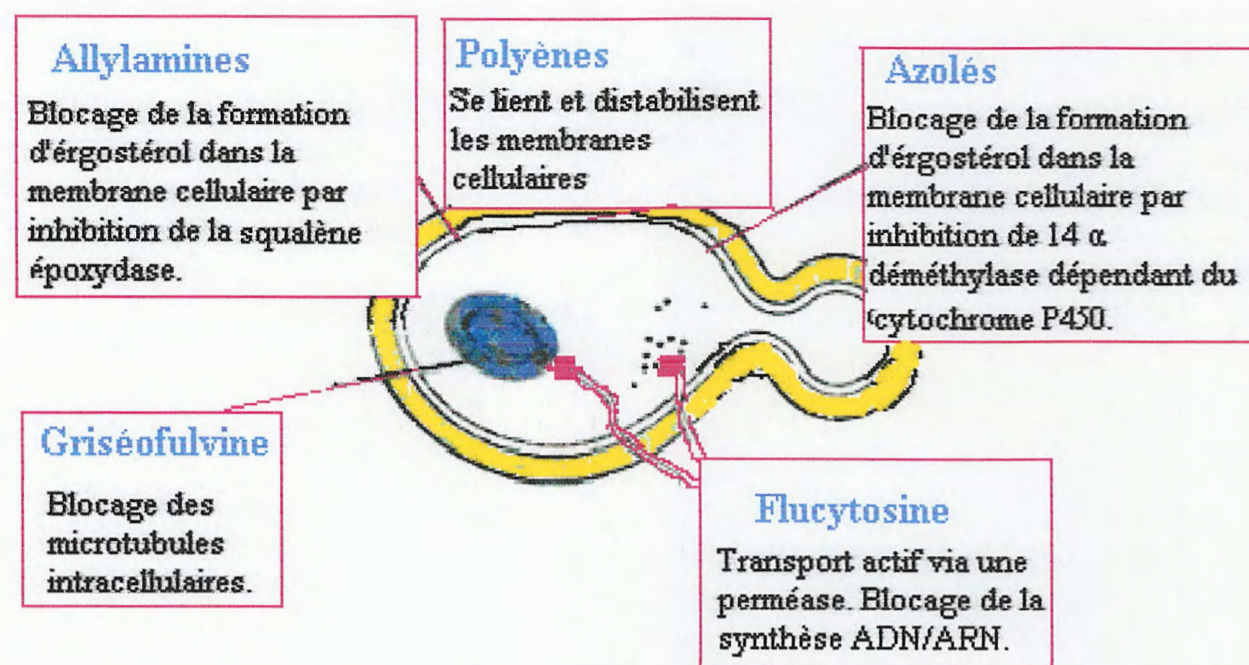


Figure 19 : Sites d'action des médicaments antifongiques (Midgley *et al.*, 2004).

# *Chapitre IV*

*L'intérêt industriel des  
moisissures*

**IV.1. Introduction :**

En compensation des incalculables dommages qu'elles provoquent, les moisissures manifestent une très grande utilité dans de larges secteurs de la vie économique. Bien que leur impact ne soit pas d'égale importance industrielle ou commerciale dans tous les domaines, ceux-ci seront successivement passés en revue sans prétendre être exhaustif, pour illustrer la diversité de ces champignons (Kristansen et Bullock., 1980 ; Gray., 1981 ; Onions *et al.*., 1981 ; Larpent., 1985 ; Vayssier et Veau., 1985 ; Fassatiova., 1986).

**IV.2. Industrie alimentaire :****IV.2.1. Fermentation :**

Dans le domaine de la technologie alimentaire proprement dite, les moisissures ont depuis longtemps un impact important en tant que fermentants, notamment les *Aspergillus* et quelques *Mucorales* en Extrême-Orient, les *Penicillium* en occident (Leveau *et al.* ; 1993). Quelque soit l'espèce considérée et le domaine de l'utilisation, un ferment fongique a trois rôles : Rôle sur l'aspect du produit, rôle dans les processus biochimiques de transformation et rôle dans la lutte contre les pollutions (Botton *et al.*, 1996).

**IV.2.1.1. Produits laitiers :**

La fabrication des fromages affinés par des moisissures connaît depuis longtemps un grand développement. Les plus intéressants sont les moisissures blanches, comme le *Penicillium camembertii*, et les moisissures bleues comme *Penicillium roquefortii*. Il convient de citer également le *Geotrichum candidum* (Vayssier et Veau., 1985).

**a. *Penicillium camembertii* :** La moisissure utilisée pour la préparation des fromages à pâte molle et croûte fleurie (camembert, brie, etc.) est le *Penicillium camembertii*, souvent désigné par les fromages sous le nom de *P. candidum*. Des laboratoires spécialisés préparent les spores qui sont utilisées pour l'ensemencement des fromages. Ces spores sont obtenues dans les cultures en milieu agité dans des fermenteurs de grande dimension ; elles sont séparées du mycélium par centrifugation puis livrées au commerce. Les souches employées en fromagerie possèdent un mycélium dense feutré donnant un thalle velouté, légèrement jaunâtre en vieillissant et qui confèrent aux fromages « bondons » une légère amertume caractéristique (Bourgeois *et al.*, 1996).

*Penicillium camembertii* présente une croissance de vitesse relativement faible par rapport à d'autres espèces de *Penicillium*, il peut se développer entre 4 et 30°C avec une température optimum de 22°C, le pH optimum se situe entre 4 et 5, il supporte une concentration de sel de l'ordre de 2%, la concentration de 6% en NaCl inhibe la croissance de cette moisissure strictement aérobie (Botton *et al.*., 1996). Le rôle essentiel du *Penicillium*, au cours de l'affinage des pâtes, réside dans son aptitude à consommer l'acide lactique et, de ce fait, à désacidifier les caillés, mais, en outre, il libère des enzymes, ce qui modifie l'évolution des saveurs et des arômes des différents fromages (Bourgeois *et al.*, 1996).

**b. *Penicillium roquefortii* :** La moisissure verte, *Penicillium roquefortii* est connue depuis fort longtemps pour la préparation du célèbre fromage de roquefort et

d'autres fromages à pâte dite « persillée ». Contrairement à la majorité des autres moisissures, ce champignon offre la particularité de tolérer une atmosphère appauvrie en oxygène. Il accepte des pH compris entre 3 et 10,5 et paraît stimulé par une ambiance riche en alcool ; il tolère de forte concentration en sel (Bourgeois *et al.*, 1996), peut aller jusqu'à 22% avec un optimum de 5% et supporte des températures comprises entre 4 et 32°C avec un optimum de concentration de 25°C (Botton *et al.*, 1996). Le *Penicillium roquefortii* est généralement ajouté au lait avant emprésurage ; parfois, on l'incorpore au caillé lors de son moulage. La pâte est légèrement aérée par des piquages réalisés à l'aide d'aiguilles (ou récemment à l'aide de certaines bactéries *Leuconostoc* qui assurent de telles ouvertures grâce à la production de gaz). La croissance du champignon devient évidente huit à dix jours après l'ensemencement. Son développement est maximal après affinage de un à trois mois dans des caves spécialement aérées. La moisissure occupe les veines et fissures du fromage, conférant à la coupe un aspect marbré. Cette moisissure intervient dans la maturation des fromages par ces enzymes protéolytiques et surtout lipolytiques. Des acides gras sont libérés, puis oxydés en méthylcétones, elles même parfois réduites en alcools secondaires. Ainsi, obtient on un arôme très particulier des fromages persillés. Il existe dans le commerce plusieurs types de souches de *Penicillium roquefortii* aux activités lipolytiques plus ou moins marquées, adaptées aux divers fromages persillés en fonction de leurs dimensions, de la durée de l'affinage, de la couleur etc. (Bourgeois *et al.*, 1996).

**c. *Geotrichum candidum*** : Cette moisissure d'un crible à gris vert, est utilisée pour la fabrication de fromage à pâte persillée (Botton *et al.*, 1996). Souvent jugé utile en début d'affinage, *G. candidum* neutralise la pâte et favorise le développement des germes caséolytiques, mais si son essor est trop important, il couvre la croûte du fromage d'une couche gluante, grasseuse et peut altérer la saveur du produit fini. On freine son extension par addition de sel et en abaissant la température des salles (au dessous de 15°C) en fin d'égouttage. L'aptitude de *G. candidum* à la protéolyse est variable selon les souches. Indiquons que le *G. candidum* est parfois utilisé pour détoxifier des tourteaux oléagineux et rendre plus digestes des protéines destinées à l'alimentation animale, voir humaine (Bourgeois *et al.*, 1996).

#### IV.2.1.2. Produits carnés (« starters » utilisés en charcuterie) :

Les saucissons secs doivent normalement être recouverts d'une fine « fleur » blanche, liée au développement d'une levure : le *Debaryomyces hansenii*. Malheureusement, les séchoirs sont régulièrement contaminés par des moisissures indésirables, tel le *Penicillium verrucosum*, qui confère aux saucissons une coloration verdâtre ou brun chocolat. Le recours fréquent à un brossage en fin de fabrication n'élimine que provisoirement ces moisissures. Pour y remédier, certains ensemencent, dès leur fabrication, les saucissons avec un « starter », le *Penicillium nalgiovense*, afin de leur conférer la couleur blanche recherchée par le consommateur. La couverture obtenue est épaisse mais elle a tendance à disparaître quand le saucisson se dessèche, laissant apparaître des moisissures indésirables jusque là insidieusement camouflées. Pour le salami hongrois, le *penicillium* commun ou *Scopulariopsis flava*, joue le même rôle (Botton *et al.*, 1996).

**IV.3. Industrie chimique et pharmaceutique :****IV.3.1. Métabolites primaires :**

De nombreux métabolites s'accumulent dans le milieu de culture pendant la phase exponentielle de croissance mycélienne et surtout en fin de culture (« phase en plateau ») : certains acides, vitamines ou alcools sont ainsi produits par voie biotechnologique (Bouchet *et al.*, 2005).

**IV.3.1.1. Acides organiques :**

Beaucoup d'acides organiques sont aujourd'hui fabriqués grâce à des micromycètes divers. Leur biosynthèse provient du métabolisme des oses, ils résultent soit des produits terminaux, soit de l'oxydation incomplète des oses (acides citrique, itaconique, fumarique, oxalique, etc.) (Bouchet *et al.*, 2005).

**a. Acide lactique :** Quelques espèces appartenant au genre *Rhizopus* sont couramment utilisées pour la production industrielle de cet acide. Le champignon estensemencé sur des milieux naturels comme l'amidon, la fermentation est rapide et peu coûteuse, et ne comporte que les inconvénients liés à l'action corrosive de l'acide. L'acide lactique (est aussi produit grâce à divers bactéries du genre *Lactobacillus*) trouve ses utilisations dans les domaines alimentaires (acidifiant des jus de fruits, sirop), pharmaceutique (lactate) et les industries du textile (Bouchet *et al.*, 2005).

**b. Acide citrique :** Isolé autrefois du jus de citron et d'ananas, l'acide citrique revête aujourd'hui une importance économique considérable et fut certainement une des premières grandes applications des *Aspergillus*. Certaines souches sélectionnées d'*Aspergillus niger* sont capables de rendements industriels importants lorsqu'elles sont placées dans des mélasses (le fer, présent naturellement dans ce substrat, doit être chélaté pour augmenter la production). Au bout d'une semaine de croissance à 27°C l'acide citrique est précipité en citrate, puis cristallisé. Actuellement, de nombreuses souches fongiques améliorées génétiquement sont également capables de sécréter cet acide (*Penicillium*, *Mucor*, *Saccharomyces*, *Pichia*) mais *Aspergillus niger* et *Saccharomycopsis lipolytica* semblent avoir la faveur des industries pour cet acide dont les utilisations sont nombreuses dans l'industrie pharmaceutique (comprimés, effervescents, citrate), cosmétique (lotions astringentes, shampooings) et alimentaire (boissons gazeuses, confiseries, conserverie) plus de 400 000 tonnes sont produites annuellement (Bouchet *et al.*, 2005).

**c. Acide itaconique :** Il s'agit d'un diacide pouvant être facilement polymérisé à cause de sa double liaison et utilisé comme résine pour remplacer l'acide acrylique. Des souches mutantes d'*Aspergillus terreus*, cultivées sur mélasse fournissent cet acide qui une fois purifié, intervient dans la fabrication de certaines dents artificielles et de fibres synthétiques (Bouchet *et al.*, 2005).

**IV.3.1.2. Acides aminés :**

Il s'agit de l'un des secteurs où les biotechnologies concurrencent grandement la synthèse chimique, car la production des acides aminés par voie fermentaire - outre le fait que les rendements sont très satisfaisants - donne directement les formes lévogyres (directement assimilable par les mammifères). Alors que la synthèse organique ne fournit



que des racémiques. Les acides glutamiques et aspartiques sont notamment produits par des espèces sélectionnées de *Penicillium*, *Hansenula*, *Rhizopus*, et trouvent leur utilisation comme correcteur de goût (glutamate), en alimentation parentérale humaine ou cosmétologie (Bouchet *et al.*, 2005).

#### IV.3.1.3. Polysaccharides :

Les moisissures produisent une grande variété de polysaccharides : deux d'entre eux sont obtenus industriellement, le pullulane et le scléroglycane. Le pullulane sécrété par *Aureobasidium pullulans*, cet  $\alpha$  D-glucane non toxique, dénué de toute valeur nutritive, est utilisé pour confectionner des films transparents, très résistants, élastiques, peu perméables à l'oxygène, servant notamment à l'emballage des denrées alimentaires. Le scléroglycane est sécrété par *Sclerotium glaucanicum* et *Sclerotium rolfsii*. Ce  $\beta$ -D glucane trouve des applications dans les domaines de l'alimentation, des cosmétiques et de l'industrie pharmaceutique. De nombreux polysaccharides d'origine fongique, issus notamment de Basidiomycètes, ont été reconnus doués d'activité anticancéreuse et étudiés en tant que tels, surtout au Japon, mais, jusqu'à présent, sans dépasser le stade du laboratoire (Leveau *et al.*, 1993).

#### IV.3.1.4. Lipides :

Les végétaux représentent actuellement la source principale de lipides pour l'alimentation humaine. Mais les champignons sont également capables d'en produire d'importantes quantités. De nombreuses espèces fongiques (*Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, etc.), sont capables de produire de telles substances à partir de substrats divers, tels que les n- alcanes, la mélasse, des sucres divers, etc. Les lipides produits peuvent être de composition très diverse, comprenant des tri-, di- et monoacylglycérols, des stérols, des phospholipides, des glycolipides et des acides gras libres ( acide palmitique, acide stéarique, acide oléique, acide linoléique, acide arachidonique, etc.). *Trichoderma reesii* est utilisé pour la production de lipides à partir des déchets agricoles comme *Aspergillus ochraceus*, important producteur d'acide linoléique (Boiron, 1996).

#### IV.3.1.5. Alcools et solvants industriels :

Les principaux alcools, aldéhydes ou cétones utilisés en très grande quantité par tous les secteurs de l'industrie, ne sont pas fabriqués par voies biotechnologiques, car les techniques de production à partir des matières végétales et de la pétrochimie, sont actuellement plus facile à mettre en œuvre, et donnent des rendements supérieurs à ceux qu'on peut attendre de la véritable fermentation biologique. Cependant, des substances à plus grandes valeurs ajoutées (xylitol, dihydroxyacétone), commencent à être produites par des levures améliorées, appartenant aux genres *Candida*, *Saccharomyces*, *Debaryomyces*. Une mention peut être faite d'une dégradation de déchets celluloseux (bois des landes) par *Trichoderma*, puis par des levures, qui donnent un mélange (acétone-butanol-éthanol). Ce dernier peut être ajouté au carburant pour automobiles, augmentant ainsi l'indice d'octane abaissé par la suppression du plomb (Bouchet *et al.*, 2005).

#### IV.3.2. Métabolites secondaires :

Un métabolite secondaire peut résulter de la transformation d'un métabolite primaire, mais il peut aussi être un produit métabolique du milieu de culture originel, fabriqué par le microbe seulement après un nombre considérable de cellules et qu'un métabolite primaire se sont accumulés (Tortora, 2003).

Il s'agit principalement des insecticides biologiques, des alcaloïdes de l'ergot du seigle, des antibiotiques et de quelques molécules thérapeutiques ou intéressant l'industrie alimentaire (Bouchet *et al.*, 2005).

#### **IV.3.2.1. Les alcaloïdes :**

*Claviceps purpureae* fournit plus de 40 alcaloïdes différents, dérivés d'un noyau tétracyclique (ergoline), et aux très nombreux usages thérapeutiques : hémorragie utérines (méthylergométrine), migraine (ergotamine, dihydroergotamine), syndromes orthostatiques, insuffisance veineuse fonctionnelle (dihydroergotamine), perturbations fonctionnelles neuropsychiques et psychomotrices (dihydroergotoxine), certaines stérilités, aménorrhées et galactorrhées (bromocryptine). La production s'effectue dans des cellules riches en lipides, comparables aux cellules du sclérote, obtenues sur milieu riche en glucides, contenant des sels ammoniacaux, des acides carboxyliques et du phosphate (Boiron, 1996).

#### **IV.3.2.2. Les antibiotiques :**

Les trois familles de molécules anti-infectieuses, les plus connues et les plus utilisées sont représentées par :

- Deux antibactériens : les pénicillines (synthétisées par des souches de *Penicillium chrysogenum*) et les céphalosporines (produit par *Cephalosporium ochranium*) ;
- Un antifongique : la griséofulvine (antidermatophytes) secrétée par *Penicillium griseofulvum*.

D'autres espèces fongiques autres que celles ci-dessus, ont la capacité de sécréter des antibiotiques (*Aspergillus*, *Paecilomyces*), mais tout l'intérêt thérapeutique est limité par une toxicité souvent trop importante réservée à l'usage vétérinaire (Bouchet *et al.*, 2005).

#### **IV.3.2.3. Les enzymes :**

En dépit de la concurrence sérieuse des bactéries et des levures, les moisissures occupent une place importante sur le marché des enzymes (tableau 7). Il s'agit presque exclusivement d'hydrolases, dont les producteurs principaux appartiennent aux Zygomycètes (genres *Mucor* et *Rhizopus*) et aux Deutéromycètes (genres *Aspergillus* et *Trichoderma*) (Leveau *et al.*, 1993).

Tableau 7 : Principales enzymes d'intérêt industriel issues des moisissures (Leveau *et al.*, 1993).

Enzymes	Microorganismes producteurs	Utilisations
<b>Hydrolases</b>		
<b>Glucidases</b>		
Glucoamylases	<i>Aspergillus awamori</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. saitoi</i> , <i>A. niger</i> , <i>Rhizopus</i> <i>niveus</i> , <i>R. delemor</i> , <i>Mucor</i> <i>pusillus</i> , <i>M. rouxianus</i>	) Boulangerie industrielle Brasserie Boissons sucrées Sirops de sucre Confiserie (saccharification de l'amidon)
$\alpha$ - Amylases	<i>A. oryzae</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. sojae</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Rhizopus</i> sp.	
$\beta$ -Glucanase	<i>A. oryzae</i> , <i>A. niger</i>	Brasserie (aide à la filtration)
$\alpha$ -Galactosidase	<i>Aspergillus</i> sp. , <i>Mortierella</i> <i>vinacea</i>	Sucrierie (cristallisation du sucre, conversion du raffinose en saccharose)
$\beta$ -Galactosidase (lactase)	<i>A. niger</i>	Transformation du lactosérum Amélioration de la qualité du lait
Dextranases	<i>Penicillium funiculosum</i> , <i>Trichoderma</i> sp.	Sucrierie Santé (élimination de la plaque dentaire)
Pectinases	<i>A. niger</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>Penicillium glaucum</i>	Industries des vins et jus de fruits (clarification, dégradation des pectines)
Pentosanase	<i>A. niger</i>	Industrie du vin (élimination du trouble) Santé (aide à la digestion)
Linamarase	<i>Penicillium steckii</i> , <i>Aspergillus</i> <i>sydowii</i>	Détoxification des glucosides cyanogéniques du manioc
Naringinase	<i>A. niger</i>	Elimination de l'amertume des jus d'agrumes
Cellulases (enzyme C1,	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>P.</i> <i>uniculosum</i> , <i>Trichoderma reesei</i> ,	Industries alimentaires (aide à l'extraction)

β-1,4 glucanases, cellobiases)	<i>T. viride</i> , <i>T. koningii</i>	Santé (aide à la digestion) Dégradation de la cellulose
Lipases et estérases	<i>A. niger</i> , <i>R. delemar</i> , <i>Geotrichum candidum</i> , <i>Mucor javanicus</i> , <i>M. miehei</i> , <i>Absidia butleri</i>	Industries fromagères (facteurs de qualités)
Protéases Protéases acides	<i>M. pusillus</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>Asaitori</i> , <i>A. niger</i> , <i>Trametes sanguineara</i>	Hydrolyse de la protéine du soja Panification (réduction de la viscosité de la pâte) Attendrissement de la viande Affinage des fromages
Présures	<i>Endothia parasitica</i> , <i>M. miehei</i> , <i>M. pusillus</i>	Coagulation du lait
L-Amino-acide acyclase	<i>A. oryzae</i>	Résolution enzymatique des mélanges racémiques d'acides aminés
Oxydases Glucose oxydase	<i>A. niger</i> , <i>P. glaucum</i> , <i>P. notatum</i>	Anti-oxydants (élimination des traces de glucose dans la poudre d'oeufs séchés; stabilisation de la couleur et de la saveur des bières et boissons sucrées) Transformation du glucose en acides gluconique

#### IV.3.2.4. Les insecticides biologiques :

Si les bactéries et les virus viennent en tête des microorganismes utilisés, certaines espèces fongiques permettent de lutter spécifiquement contre tel ou tel agent phytopathogène (*Beauveria*, *Metarhizium*). Récemment, se sont développées des recherches dirigées, non plus uniquement contre des ravageurs, mais aussi contre les vecteurs des grandes maladies parasitaires humaines et animales. Certaines *Ceolomyces*, champignons appartenant aux Chytridiomycètes, sont actuellement à l'étude pour mettre en évidence une activité insecticide contre les moustiques, vecteurs de paludisme, de la dengue et de la filariose (Bouchet *et al.*, 2005).

#### IV.4. Biolixiviation :

L'industrie de l'extraction des minerais se trouve confrontée au problème de la diminution de la richesse des minerais riches, ce qui conduit à forcer des galeries de plus en plus profondes. Alors que l'extraction des métaux à partir de minerais à faible teneur consomme beaucoup d'énergie, l'utilisation de microorganismes permet de les libérer de façon plus écologique. Les procédés utilisés dans l'hydrométallurgie microbiologique

reposent sur l'action solubilisante des agents bactériens ou fongiques ou de leurs métabolites à une pression normale et à une température comprise entre 5°C et 80°C. Parmi les champignons, *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium funiculosum* et *Rhizopus arrhizus* possèdent la propriété d'adsorber de l'uranium à partir du minerai. *Penicillium simplicissimum* extrait près de 80 % du titane à partir de granodiorite et le nickel à partir de la litérie, *Aspergillus niger* extrait près de 90.p.100 du cuivre des minerais carbonatés et silicatés, ainsi que l'aluminium des aluminosilicates, *Penicillium lapidosum* adsorbe le chrome et peut être intéressant dans l'épuration des effluents de tanneries (Boiron, 1996).

# *Conclusion*

**Conclusion :**

Les champignons (ou mycètes), sont des organismes eucaryotes uni- ou pluricellulaires, incluant des espèces macroscopiques et microscopiques, d'aspect filamenteux ou levuriforme. Cosmopolites, ils sont retrouvés partout dans la nature. Ils jouent un rôle essentiel de recyclage des matières organiques en puisant leur énergie à partir des sources carbonées externes (hétérotrophie). (Chabasse *et al.*, 2002).

Dans la classification du monde de vivant, les champignons constituent un règne à part, distinct de celui des plantes et des animaux. Leur particularité morphologique est d'être étroitement liés à leur substrat nutritif grâce à un réseau mycélien très développé. Sur le plan biochimique, les champignons sont caractérisés par la présence d'une paroi constituée essentiellement de polysaccharides, notamment des  $\beta$ -glucanes et de la chitine. Une autre de leurs caractéristiques remarquables est leur reproduction. Ils produisent en effet, un grand nombre de spores, ce qui leur assure un pouvoir de diffusion et de contamination considérable. Ces spores sont issues de plusieurs modalités de reproduction sexuée ou asexuée qui seront la base de leur classification (Chabasse *et al.*, 2002).

Si les macromycètes sont bien visibles à l'œil nu, ils intéressent peu les biologistes médicaux car ce ne sont pas des agents habituels de mycoses. En revanche, les mycètes qui ont fait l'objet de notre étude, peuvent être à l'origine d'infections humaines parfois redoutables. Ces champignons microscopiques, deviennent dans certaines circonstances, visibles dans notre environnement. C'est ce que l'on appelle couramment « moisissures », véritables agglomérats de filaments mycéliens et d'organes fructifères recouvrant des substrats divers, et capables de produire des quantités extraordinaires de spores (Chabasse *et al.*, 2002).

Les moisissures, partout présentes, établissent aussi avec les espèces animales ou végétales des interactions qui vont du saprophytisme au parasitisme, en passant parfois par le commensalisme, ou encore participent à des phénomènes symbiotiques, traduction vraisemblable de leur co-évolution avec les végétaux d'une part, et les animaux d'autre part.

Le pouvoir pathogène des moisissures peut s'exprimer de diverses façons. En produisant des toxines, elles peuvent être à l'origine d'intoxications alimentaires, ou de mycotoxicoses par l'accumulation de ces toxines dans les végétaux et leur consommation par l'homme ou l'animal. Différent est le développement des champignons filamenteux dans l'organisme humain (colonisation, invasion et dissémination) (Chabasse *et al.*, 2002).

La prévention consiste essentiellement à adopter des mesures visant à éviter la prolifération des moisissures, en contrôlant les sources à l'origine de leur croissance, et d'informer le public sur les moyens à prendre pour éviter la survenue de tels problèmes, surtout de l'ordre sanitaire.

Contrairement à ses effets indésirables, les moisissures peuvent avoir des effets bénéfiques sur l'industrie alimentaire, chimique ou encore pharmaceutique et un rôle important dans la lutte biologique contre les insectes nuisibles.

# *Bibliographie*



- Adams M-R., Moss M. (2002).** Toxingenic fungi, In "Food microbiology". RSC, UK, 282-301.
- Apfelbaum M., Roman M., Dubus M. (2004).** Diététique et nutrition, Paris, Masson, 192p:31.
- Backer R., Lumsden J. (2001).** Atlas de cytologie, canines et féline 3<sup>ème</sup> édition, Elsevier Masson, Paris 306 p:24.
- Berthier J., Valla G.** Moisissures - mycotoxines et aliments : du risque à la prévention Université Claude Bernard Lyon I, *Laboratoire de Mycologie : Biosystématique et Nuisances Fongiques*, [www.Handy.univ-lyon1.fr/service/ cours/ mycot.htm] (site consulté le 12 mai 2008).
- Blanc P-J., Laussac J-P., Loret M., Pareilleux A., Prome D., Prome J., Santerre A., Goma G. (1995).** Characterisation of monascidin A from *Monascus* as citrinin, *International Journal of Food Microbiology* 27: 201-213.
- Boiron P. (1996).** Organisation et biologie des champignons, Collection 128, Nathan, 128p:17-97.
- Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy PH., Larpent J-P., Reymond P., Veau P. (1990).** Moisissures, utiles et nuisibles, importance industrielles, 2<sup>ème</sup> édition revue et complétée, Masson, Paris, p: 497, 226-234.
- Bouchet Ph., Guignard J-L, Villard J. (2005).** Les champignons, Mycologie fondamentale et appliquée, Abrégés de Pharmacie, Masson, p : 31-42.
- Bouchet Ph., Guignard J-L., Madulo-Leblond G., Rgli P. (1989).** Mycologie générale et médicale, Masson, Paris, Milan, Barcelone, Mexico, p 127,167.
- Bourgeois U., Mescle J., Zucca J. (1996).** 2<sup>ème</sup> édition, Microbiologie alimentaire, Lavoisier, Paris, London, New York, 523p.
- Boussebuoa H. (2002).** Elément de microbiologie générale, édition de l'université Mentouri, Constantine, Algérie, p : 222-223.
- Bouveron P., Youinou P. (1995).** Immunopathologie, allergologie, maladies infectieuses, parasitologie génitale, 2<sup>ème</sup> édition, Elsevier Masson, Paris, 459p : 326.
- Cahnier Milton F-L., (1984).** Les mycotoxines connaissances actuelles et risque pur la santé publique dans la chaîne alimentaire, p : 14.
- Cahagnier B., Dragacc S., Frayssinet C., Hennebert G-L., Lesage-meessen L., Multon J-L., Richard-Molard D., Roquebert M-F. (1998).** Moisissures des aliments peu hydrates, Lavoisier Tec&Doc, France. p : 182.

- Chabasse D., Guiguen C., Contet-Audonnea P. (1999).** Mycologie médicale, Masson, 324p.
- Chabasse D., Bouchara J-P., Gentile L., Brun S., Cimon B., Penn P. (2002).** Cahier de formation N°25, Bioforma -Les moisissures d'intérêt médicale, ouvrage réalisé par le laboratoire de parasitologie et mycologie du CHU d'Angers, Paris, 159p :15-18, 128-131.
- Chabasse D. (2003).** Mycoses d'importation, Elsevier Masson, Paris, 110p :p32.
- Chabasse D., Miegerville M. (2007).** Parasitologie médicale, 2° cycle des études médicales, 3ème édition, Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie ANOFEL, France, 262p : 185-235.
- Cole R- J., et al. (1977).** Development factors of mould, *Journal Science Food Agricultural*, p: 826-830.
- Duhamel D-R., Harrell J-H. (2007).** Atlas clinique des maladies des voies aériennes, endoscopie, radiologie, Elsevier Masson, Paris, p 131.
- Ei-Banna A-A., Pitt J-I., Leistner L. (1987).** Production of mycotoxins by *Penicillium* species, *Systematic and Applied Microbiology*, **10**: 42-46.
- Fassatiova O. (1986).** Industrial and economic significance of microscopic fungi, p: 9-12.
- Fattorusso V., Ritter O. (2006).** Vademecum clinique du diagnostique au traitement, Elsevier Masson ,2047p :177.
- Feuillade de chauvin M. (1999).** Mycoses cutanées : Fiches pratiques, Laboratoire de parasitologie et mycologie, hôpital Saint louis, Paris Novartis, p 33-34.
- Frija J., Attal P. (2002).** Radiologie du thorax, Masson, Paris ,651p : p420.
- Frisvad J-C., Viuf T-B. (1986).** Comparison of direct and dilution plating for detecting *Penicillium viridicatum* in barley containing ochratoxin. Dans King, A. D., Pitt, J. I., Beuchat, L. R. & Corry, J. E. L. (eds). Methods for the mycological examination of food. *Plenum Press*, New York.
- Gary W-D. (1981).** Food technolgy and industrial mycology, In: Kendrick.B, Col.G., (1981).Biology of conidial fungi , Edward Arnold, London, **2**:51-77.
- Gayraud M., Lartholary O. (2006).** Maladies infectieuses, VIH soins infirmiers, Masson, Paris, 213p :121.
- Guiraud J-P. (2003).** Microbiologie alimentaire, Technique de laboratoire, Paris, Dunod, 652p.

**Hart T., Shears P. (1997).** Atlas de poche de microbiologie, 1<sup>ière</sup> édition, Flammarion, Paris, 313p.

**Hetherington A-C., Raistrick H. (1931).** Studies in biochemistry of micro-organism XI, On the production and chemical constitution of a new yellow colouring matter, citrinin, produced from glucose by *Penicillium citrinum* Thom. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B—*Biological Sciences*, **220**: 269–297.

✕ **Ingold C., Huson H-J. (1993).** The biology of fungi. Avec la permission de Kluwer Academic publishers. p:10.

**Issac S. (1991).** Fungal plant interaction .Avec l'aimable permission de Kluwer Academic publishers, p: 10.

**Jelinek C., Pohland A., Wood G. (1989).** Worldwide occurrence of mycotoxins in food and feeds- An update. J. Assoc. Off. Anal. Chem., **72** , 223-230.

**Jorgensen K. (2005).** Occurrence of ochratoxin A in commodities and processed food – a review of EU occurrence data, *Food Additives and Contaminants* **22** (Suppl. 1): 26–30.

**Kristiansen B., Bulock J-D. (1980).** Developpements in industrial fungal biotechnology, In: Smith. J-E, Berry. D-O, Kristiansen.B.,(1980). Fungal biotechnology ,Academic press, London, p 203-223.

**Kurata H. (1990)** .Mycotoxins and mycotoxicoses. In: A.E. Pohland, V.R. Dowell and J.L. Richards, Editors, Microbial toxins in foods and feeds. *Plenum Press*, New York, USA, 249–259.

**Lanier L., Bondoux P., Joly P., Bellemere A., Bourgin G. (1978).** Mycologie et pathologie forestières, Tome I, Masson, Paris, P : 19-26.

**Larpent J-P. (1985).** Moisissures utiles II, Synthèse des métabolites et biotransformation, In : Botton.B *et al.* Moisissures, utiles et nuisibles, importance industrielles, Masson, Paris, P: 292-321.

**Larpent J-P., Coordinateur. (1997a).** Microbiologie alimentaire, technique de laboratoire, Lavoisier TEC et DOC, New York, Paris, 1073p.

**Larpent J-P., Gourgaud M-L. (1997b).** Mémento technique de microbiologie, 3<sup>ème</sup> édition, Lavoisier, Technique et document, Paris, New York, Londres, 1039p : 202.

**Legman P. (1996).** Scanner thoracique, guide pratique, Masson, Paris, 265p : 233.

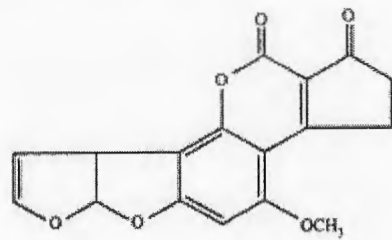
**Lemaitre C., Pébère N., Festy D. (1998).** Biodétérioration des matériaux, EDP Sciences, Paris, 328p

- Leveau J., Bouix M. (1993).** Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel, Technique et document, Lavoisier, Paris, p : 36-41.
- Meyer A, Deiana J, Lecter J. (2001).** Cours de microbiologie générale, Nouveau programme, Paris, Doin, 365p.
- Midgley G., Clayton Y-M., Hay R-J. (2004).** Atlas de poche de mycologie, Préface à l'édition française, Flammarion, Paris, 150 p.
- Mollard R. (1986).** Suivi des microorganismes en relation avec Aw (sur aliment polluée), p : 13.
- Moss M. (1996).** Mycotoxins. *Mycological Research* **100**: 513-523.
- Nguyen-Minh-Tri M. (2007).** Identification des espèces de moisissures, potentiellement productrices de mycotoxines dans le riz commercialisé dans cinq provinces de la région centrale du Vietnam - étude des conditions pouvant réduire la production des mycotoxines, le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse, p :24-30.
- Nicklin J., Graeme-cook J., Paget T., Killington R. (2000)** .Essentiel en microbiologie, Paris, Berti, 365p.
- Olsen M., Jonsson N., Maga N., Bank J., Fanelli C., Rizzo A., Haikar A., Dobson A., Frisvad J., Holmes S., Olkku J., Persson S-J., Börjesson T. (2003)** . Prevention of Ochratoxin A in Cereals. Final Report. Quality of Life and Management of Living,Resources. Project No. QLK1-CT-1999-00433.
- Onions A-H-S., Allsopp D., Eggins H-O-W. (1981).** Industrial uses of fungi,P:347-361.
- Pelhate J. (1987).** Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation, p : 72.
- Pitt J-I., Basilico J-C., Abarca M-L., Lopez C. (2000).** Mycotoxins and toxigenic fungi.*Medical Mycology*, **38**: 41-46.
- Pohland A-E., Nesheim S., Friedman L. (1992).** Ochratoxin A: areview. *Pure and Applied Chemistry*, **64**: 1029-1046.
- Prescott L-M., Harley J-P., Klein D-A., Bacq-Calberg M., Ducart J. (2007).** Microbiologie, Boeck université, Bruxelles, 1164 p.
- Règlement (CE) N° 1881/2006** de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.
- Roquebert M-F. (2002).** Les contaminants biologiques des biens culturels, Elsevier Masson, Paris, 419 p.

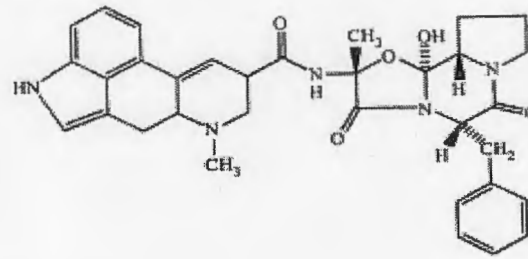
- Roquebert M-F, Professeur – Muséum national d'histoire naturelle. (1997).** Les moisissures : nature, biologie et contamination, p : 65.
- Saurat J-H., Grosshans E., Laugier P., Lachapelle J-M. (1990).** Dermatologie et vénéréologie, 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée, Masson, Paris, Milan Barcelone, Mexico, p:369.
- Schneweis I., Meyer K., Hörmansdorfer S., Bauer J. (2001).** Metabolites of *Monascus ruber* in silages. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **85** (1-2) : 38-44.
- Scott P-M. (1988).** Detection of mycotoxins in foods. *In: Developments in food microbiology - 4.* Ed. R.K. Robinson, New York and London, 47-76.
- Scriban R. (1999).** Biotechnologie, Technique et document, 5<sup>ème</sup> édition, London, Paris, New York, P : 238-290.
- Smith D-F., Lynch G-P. (1972).** Mycotoxins, *Journal of Dairy Science* **56**: 828-829
- Smith J-E., Lewis C-W., Anderson J-G., Solomons G- L. (1994) .** Mycotoxins in human nutrition and health. *Research and Development European Commission.*
- Tortora Funk-Case. (2003).** Introduction à la microbiologie, Canada, Erpi ,945p
- Vayssier Y., Veau P. (1985).** Moisissures utiles I, Moisissures des denrées alimentaires, In : Botton.B *et al* .Moisissures, utiles et nuisibles, importance industrielles, Masson, Paris, p : 276-291.
- محمد علي أحمد، محمد عبد الرزاق النواوي. (1999). الفطريات الصناعية, الطبعة الأولى، الدار العربية للنشر والتوزيع، مدينة نصر، مصر، ص:13 .

# *Annexes*

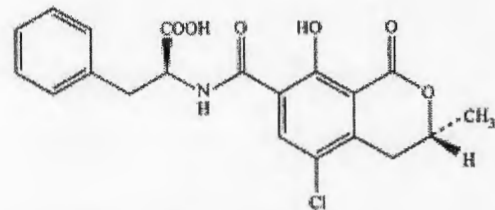
## 1. Différents types de mycotoxines (Moss., 1996).



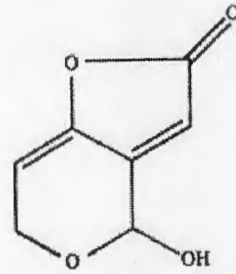
Aflatoxine B1



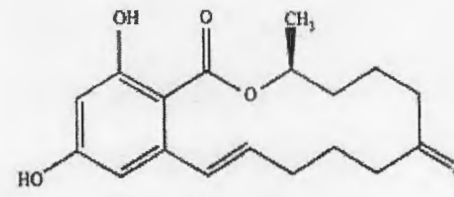
Ergotamine



Ochratoxine A



Patuline



Zéaralénone

## 2. Eclaircissants :

Les éclaircissants sont indiqués pour les examens direct (on peut aussi accélérer l'éclaircissement de la préparation en passant les montages sur lame dans la flamme de la veilleuse du bec Bunsen quelques secondes sans faire bouillir).

Tous ces produits sont à conserver en flacons bruns à l'abri de la lumière, de préférence au réfrigérateur.

**Lactophénol d'Amann**

Phénol cristallisé pur	10	g
Acide lactique	10	g
Glycérine	20	g
Eau distillée	20	ml

Dissoudre le phénol et l'acide lactique dans un peu d'eau avant de faire le mélange.

**Chloral-lactophénol**

Hydrate de chlore	20	g
Phénol cristallisé pur	10	g
Acide lactique	10	g

### 3. Colorant des cultures :

#### Bleu au lactophéno

Phéno cristallisé pur	10	g
Acide lactique	10	g
Glycérine	20	g
Bleu coton C4B (ou Bleu de méthyle)	0.25	g
Eau distillée	10	ml

### 4. Milieux d'isolement :

#### Sabouraud-Chloramphénicol

Peptone	10	g
Glucose	20	g
Agar	20	g
Chloramphénicol	0.5	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml
pH : 5-5.6		

#### Milieu à l'extrait de Malt

Extrait de malt	15	g
Agar	15	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml

pH : 6.2-6.5 pour les levures, 7 pour les moisissures

### 5. Autre milieux utilisés en mycologie :

#### Milieu PDA

Potato Dextrose Agar (Difco)	39	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml
pH : 5.6		
Favorise la production du pigment		



**Milieu peptone à 3% (Sabouraud conservation)**

Peptone	30	g
Agar	20	g
Eau distillée	1000	ml

**Eau gélosée à 2%**

Agar	20	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml

Milieu pauvre, l'eau gélosée à 2% favorise la sporulation pour de nombreux moisissures.

**Milieu Czapek (Identification des *Aspergillus*)**

Saccharose	30	g
NaNO <sub>3</sub>	3	g
K <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1	g
MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0.5	g
KCl	0.5	g
FeSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0.01	g
Agar	20	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml
pH : 7.3		

**Milieu pommes de terre glucose**

Pulpe de pomme de terre	200	g
Glucose	10	g
Agar	20	g
Eau distillée	q.s.p	1000 ml

Ramollir la pulpe de pommes de terre dans 300 ml d'eau distillée en chauffant. Ajouter ensuite le glucose et l'agar. Porter à ébullition pour solubiliser l'agar, puis filtrer sur gaze, et compléter à 1 litre avec de l'eau distillée.

**Dichloran 18 % glycerol agar (DG 18)**

Glucose	10	g
Peptone	5	g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1	g
MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0.5	g
Glycérol, A.R	20	g
Agar	15	g
Dichloran (0,2% p/v dans l'éthanol, 1ml)	2	mg
Chloramphénicol	100	mg
Eau distillée	1	litre

Tous les ingrédients sont mélangés sauf le glycérol avec 800ml d'eau distillée. Faire fondre l'agar et ajouter de l'eau distillée. Ajouter le glycérol (concentration finale 18 % p/p). Stériliser à l'autoclave 121°C pendant 15 mn. L' $a_w$  finale de ce milieu est 0.955 et le pH est de 5,5 à 5,8.

Date de soutenance le 22 /06/2008 à 10 :00<sup>h</sup>

Examinatrice : M<sup>me</sup> BENHAMADA W.  
Encadreur : M<sup>elle</sup> LAGGOUNE S.

Présenté par : BOUAKAZ Fella  
GUIATNI Asma  
LADJEROUD Hayet

Thème :

**LES MOISSURES DANS LES MILIEUX NATURELS ET LEUR  
IMPACT SUR LA SANTE HUMAINE**

**Résumé :**

Les moisissures sont des champignons microscopiques ubiquistes regroupant des milliers d'espèces. On Les retrouve partout dans divers milieux naturels tels que les écosystèmes naturels, les produits alimentaires, etc. Certaines espèces, sont parasites et pathogènes, elles provoquent plusieurs maladies fongiques chez l'homme (mycoses des ongles, aspergillose, etc.). La prévention consiste à informer le public et contrôler les sources à l'origine de leur croissance. De nombreuses moisissures sont utilisées par l'homme dans la fabrication de divers produits alimentaires, pharmaceutiques... etc.

**Mots-clés :** Moisissures ; Champignons ; Microscopique ; Ubiquiste ; Pathogène ; Parasites ; Mycose ; Aspergillose.

**Abstract :**

The moulds are microscopic mushrooms ubiquist gathering thousand species. We finds them everywhere in various natural environments such as the natural ecosystems, the food products, etc. Some species, are parasitic and pathogenic, they cause several fungie diseases to man (mycosis of the nails, aspergillosis, etc). The prevention consist to inform the public and to control the sources at the origin of their growth. Many moulds are used by man in the manufacture of various products (food, pharmaceutical, etc).

**Key words:** Meulds; Mushrooms; Microscopic; Ubiquist; Pathogenic; Parasitic; Mycosis; Aspergillosis.

**الخلاصة**

الأعفان هي فطريات مجهرية تتضمن آلاف الأنواع نجدها في أماكن مختلفة، مثل الأوساط الطبيعية، المواد الغذائية... الخ. بعض هذه الأنواع يكون طفيلي و ممرض، يحدث عدة أمراض فطرية (ميكوزات الأظافر، أسبرجيلوز... الخ). تكون الوقاية بتوعية الناس ومراقبة مصادر نموها. العديد من الأعفان تستعمل من طرف الإنسان في صناعة مختلف المواد الغذائية و الصيدلانية الخ.

**الكلمات المفتاحية:** الأعفان؛ فطريات؛ مجهري؛ ممرض؛ طفيلي؛ ميكوزات؛ أسبرجيلوز