الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

MB.01/10

Université de Jijel.

جامعة جيجل.

Faculté des sciences exactes et science de la nature et de la vie.

كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة .

Département de Biologie Moléculaire et cellulaire.

قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية.

Mémoire De Fin D'études Pour L'obtention Du Diplôme Des études supérieures en biologie.

Option : Microbiologie.

Intitulé :

Utilisation des champignons en industrie alimentaire.

مكتبة الكلية

Présenté par :

- **Mlle : Krioui Abderrahmane.**

Membre du jury :

- **Examinatrice : Melle Bourad D.**
- **Encadreur : Melle Akroum S.**

مكتبة الكلية

Année universitaire :

2OO9/2010

Remerciements

Je remercie les enseignons : Melle Bourad D et Melle Akroum S, pour avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et l'examiner.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements et mon profond gratitude à Melle Akroum S qui n'a Jamais cessé de me témoigner et de me prodiger avec ses précieux conseils.

Enfin, que soient remerciés bien vivement tous ceux qui chacun à sa manière, m'a aidé dans ce travail.

Sommaire

SOMMAIRE :

Introduction.....1

Chapitre I : généralité sur les mycètes.

I. Présentation des mycètes.....2

1.1. Les Champignons.....2

1.1.1. La reproduction des champignons 2

1.1.2. Le cycle de vie des champignons.....2

1.1.3. Types trophiques des champignons 2

1.1.4. Exemples d'associations plantes / mycorhizes.....3

1.1.5. La symbiose mycorhizienne.....3

1.2. Les levures 4

1.2.1. Définition 4

1.2.2. Caractéristiques structurelles.....4

1.2.2.1. Paroi cellulaire.....6

1.2.2.2. Membrane cytoplasmique.....6

1.2.2.3. Noyau.....6

1.2.2.4. Mitochondries.....6

1.2.3. Cycle de reproduction.....6

1.2.4. Métabolisme et conditions de croissance.....7

1.2.4.1. Processus énergétiques.....7

1.2.4.2. Respiration aérobie.....7

1.2.4.3. Fermentation alcoolique.....8

1.2.5. Conditions de croissance.....8

1.2.6. La sensibilité aux agents chimiques.....8

1.3. Les moisissures.....9

1.3.1. Définition.....9

1.3.2. Le développement des moisissures 9

1.3.2.1. Mode de développement.....9

1.3.2.2. Conditions de développement... 10

A). Les éléments nutritifs 10

B). Les facteurs de l'environnement 11

1.3.4. La multiplication des moisissures 11

1.3.5. Dispersion des moisissures.....12

II. Exemples de quelques utilisations industrielles des moisissures et des levures.....13

2.1. Les moisissures.....13

2.1.1. *Penicillium camembertii*.....13

2.1.2. *Penicillium roqueforti* 13

2.1.3. *Penicilium nalgiovense* 14

2.1.4. *Aspergullis niger*.....14

2.1.4. *Aspergullis niger*.....15

2.2. Les levures.....16

2.2.1. Fermentation de pain.....16

2.2.2. Fermentation du vin.....16

2.2.3. Production spontanée.....16

2.2.3.1. Fermentation du cidre 16

Chapitre II : utilisation des champignons en industrie alimentaire.

I. Présentation de quelques champignons.....17

1.1. Champignons comestibles.....17

1.1.1. Champignons utilisés comme condiment.....17

1.1.1.1. *Amanita rubescens*.....17

1.1.1.2. *Pleurotus ostreatus* 18

1.1.1.3. *Clitocybe odora*.....18

1.1.2. Champignons savoureux.....19

1.1.2.1. *Pholiota mutabilis*.....20

1.1.2.2. *Agaricus arvensis* 20

1.1.2.3. *Boletus edulis*.....21

1.1.2.4. *Cantharellus cibarius*.....22

1.1.2.5. *Cantharellus tubaeformis*.....23

1.2. Champignons toxiques..... 24

1.1.1. *Amanita phalloïdes*.....24

1.1.2. *Omphalotus olearius* 25

1.1.3. *Paxillus involutus*.....26

II. La culture des champignons.....26

2.1. La culture des champignons de couche ou champignons de paris.....27

2.1.1. Culture sur potager..... ..27

2.1.2. Culture à grand échelle 28

2.1.3. La culture traditionnelle 29

2.2. La culture des pleurotes.....31

Abréviations :

ADN : Acide DésoxyriboNucléique.

ARN : Acide. RiboNucléique.

ATP : Adénosine triphosphate.

Aw : water activity (activité de l'eau).

C°: Degré Celsius (centésimal).

CO_2 : Dioxyde de Carbone.

Cu : Cuivre.

Fe : Fer.

KH_2PO_4 : Monopotassium phosphate.

MATa : Mating Type a.

MATα : Mating Type α.

Mg SO_4 : Sulfate de magnésium.

O_2 : Oxygène.

Ph : potentiel d'hydrogène.

SO_2 : Sulfite.

Zn : Zinc.

Les champignons sont appelés aussi mycètes. Un champignon est un organisme eucaryote, uni ou pluricellulaire, dépourvue de chlorophylle (ce qui le distingue nettement des végétaux). Sa structure est constitue d'un thalle (ou mycélium) même si certains restes unicellulaires (levures). Le champignon est un organisme hétérotrophe. Il se nourrit par absorption. Sa paroi est riche en chitine et/ou en cellulose, ce qui lui assure une certaine résistance aux contraintes des milieux extérieurs. La reproduction se fait selon un mode asexué, mais certains champignons, dits parfaits, ont aussi un mode sexué dans certaines conditions. Les champignons restent, comme les végétaux, des êtres immobiles qui compensent ce handicap apparent par la production d'un nombre considérable de spores habituellement non flagellées.

Il n'est pas besoin d'observer longtemps les champignons dans la nature pour instinctivement les assimiler, a tort, à des espèces végétales. Ces champignons bien visibles (macromycètes) à cause de leur carpophore (l'organe reproducteur appelé communément « chapeau ») abondants dans les sols à certaines saisons. De même, ce que l'on appelle couramment « moisissures » qui recouvre des substrats divers (fruit ou végétaux en décomposition, vieux murs, tapisseries, etc.) est en fait un agglomérat d'espèces filamenteuses microscopiques dont l'abondance permet l'observation macroscopique (champignons micromycètes). Les moisissures comme les levures (champignons unicellulaires) ont des caractéristiques physiologiques et constitutives très similaires. Notamment, le type trophique, la constitution de la paroi, les conditions de croissance… En réalité, la principale différence entre les moisissures et les levures est l'organisation cellulaire : les levures se présentent sous forme unicellulaire même si certaines se transforment en pseudo-mycélium dans certaines conditions (exemple : *Candida albicans*). Par contre, les moisissures sont toujours sous forme filamenteuse.

En réalité, les champignons sont avant tout des organismes invisibles le plus souvent, qui ont colonisé l'ensemble de la biosphère. Malgré l'aspect du mycélium (agglomérat de filaments) dont l'organisation évoque les extrémités des racines de plantes, les champignons ne sont pas des végétaux. En effet, contrairement à ces derniers, les champignons sont dépourvus de pigments chlorophylliens et ne peuvent de ce fait pas incorporer directement le carbone minéral dans leurs cellules. Comme les animaux, ils dépendent pour cette nutrition carbonée, de matières organiques préformées, c'est-à-dire déjà présentes et produites par d'autres organismes vivants. On parle d'hétérotrophie. On comprend mieux ainsi que les champignons dans la nature (macro ou micromycètes) colonisent avant tout les organismes morts ou en décomposition (végétaux ou animaux), trouvant dans cette source les nutriments essentiels à leur vie (carbone, azote, sels minéraux, etc.).

Dans ce travail, nous nous somme intéressés aux champignons macroscopiques (ascomycètes et basidiomycètes) pouvant représenter un intérêt en industrie agroalimentaire. Tout d'abord, nous avons commencé par les situer par rapport aux autres champignons (moisissures et levures) en décrivant leur morphologie, mode de reproduction, cycle de vie et mode de nutrition. Puis, nous avons présenté quelques espèces appartenant à différents groupes afin de marquer la différence entre les champignons comestibles et toxiques. Et enfin, dans un dernier temps, nous avons élucidé les différentes méthodes de culture utilisées pour la production de ces champignons macroscopiques (Dominique et *al.* 1999).

Chapitre I :

Généralité sur les mycètes.

I. Présentation des mycètes :

1.1. Champignons :

1.1.1. La reproduction des champignons :

À l'origine du mycélium est la germination d'une spore, qui prend naissance sous le chapeau du champignon, entre les lamelles ou les aiguillons, ou bien à l'intérieur des tubes ; dans une couche de cellules fertiles qui s'appelle l'hyménium. À maturité, des milliards de spores sont lâchées, mais ce n'est qu'un très faible nombre d'entre elles qui germent et donnent la vie au mycélium primaire, réduit à un simple filament.

La reproduction des champignons peut être végétative, sexuée, ou bien une combinaison des deux. La plupart de ceux qui nous intéressent traverse une phase de reproduction sexuée curieuse et assez particulière. Les mycéliums primaires qui résultent de la germination de ces spores se développent, et quand deux filaments de types compatibles se rencontrent, ils fusionnent pour former un mycélium secondaire qui continue à son tour de se répandre. Chacune de ses cellules contient désormais deux noyaux, mais pour le moment ils restent distincts. Quand les conditions environnementales nécessaires sont réunies ce qui peut se traduire par la survenue d'un choc thermique ou hygrométrique (qu'il perçoit comme une menace à sa survie), le mycélium secondaire réagit en produisant subitement le champignon apparent, appelé "sporophore", qui contient de nouvelles cellules fertiles dans son hyménium. Ce n'est qu'à cette étape-là que la fécondation a lieu (et tout va très vite...) : les paires de noyaux dans les cellules fertiles fusionnent pour en former un seul, et leurs chromosomes se réunissent, mais le nouveau noyau se divise aussitôt (trois fois de suite), pour produire une fois de plus des spores mononucléaires. (Lee et *al.* 2010).

1.1.2. Le cycle de vie des champignons :

Le champignon adulte possède des spores qui se déplacent avec le vent ou des animaux : c'est la sporulation. Ces derniers peuvent survivre longtemps avant de rencontrer des conditions d'humidité et de température favorables à leur développement. Une fois ces conditions remplies, ils 'germent'. Un fin cordon, l'hyphe, se développe, il contient la moitié du matériel génétique nécessaire à la formation du champignon adulte. Lorsque deux spores complémentaires et compatibles se rencontrent, elles échangent leur matériel génétique. Un réseau filandreux commence à s'étendre : le mycélium.

Ce réseau va se développer et accumuler de la nourriture puis, lorsque les conditions d'humidité et de température le lui signalent, il va former des "nœuds" d'où vont se développer les champignons adultes (qui ne sont en fait que du mycélium concentré) qui vont à nouveau pouvoir sporuler. La boucle est bouclée. Le problème est que dans la nature les spores ne sont pas seules à vouloir profiter d'un milieu riche en nourriture : ils sont souvent envahis ou mangés par d'autres êtres vivants qui pullulent : les bactéries, virus, larves, spores d'autres champignons ... Ces autres êtres vivants sont dits "compétiteurs" ou "contaminants". La nature contourne ce problème en semant des milliards de spores par champignon, afin d'augmenter les chances de survie de l'espèce (Cushion and Stringer. 2010).

1.1.3. Types trophiques des champignons :

Faute de chlorophylle ils ne peuvent synthétiser la lumière. Contrairement aux végétaux qui "s'alimentent" grâce à la lumière du soleil et au gaz carbonique, les champignons sont en fait de simples consommateurs, qui prélèvent le carbone qui leur est indispensable sur d'autres organismes, ou d'autres substances. On parle d'organismes hétérotrophes.

Selon le mode de vie des champignons, on peut citez les principaux types suivants:

Les saprophytes : Ils s'attaquent à la matière organique morte : bois, humus, fruit, cadavre, ils digèrent tout, et participent activement au nettoyage de la forêt. Ex : coprins, agarics des prés .

Les parasites : Il suffit d'une blessure ou d'une faiblesse sur un arbre pour qu'ils s'y installent. Ils pénètrent dans les cellules, s'attaquent aux tissus vivants, et y puisent tout ce dont ils ont besoin en entraînant la mort de leur victime.
Ex : polypores, fistuline hépatique …

Les symbiotes : Les champignons vivent sur les racines de certains arbres. Ils s'apportent mutuellement des avantages qu'ils n'auraient pas les uns sans les autres. Certains arbres ne peuvent vivre dans un sol neuf sans leurs champignons, comme les cèpes.
Grâce à ces trois modes de vie, il est plus simple pour les mycologues de trouver telle où telle variété de champignons, selon le type d'endroit, de sol, ou d'essence de l'arbre (Tedersoo et al 2010).

1.1.4. Exemples des associations plantes / mycorhizes :

Sous les Mélèzes :
On trouve *Lactarius porninsis* (Lactaire du Mélèze), *Suillus grevillei* (Bolet élégant), *Suillus viscidus* (Bolet visqueux), *Hygrophorus lucorum* (Hygrophore de Mélèze), *Boletinus cavipes* (Bolet à pied creux).

Sous les Hêtres : On trouve *Russula fellea* (Russule de fiel), *Lactarius pallidus* (Lactaire pâle).

Sous les Bouleaux : Se trouve *Lactarius torminosus* (Lactaire à toison), *Lactarius glyciosmus* (Lactaire à odeur de noix de coco), *Leccinum scabrum* (Bolet rude).

Sous les Chênes : Se trouve *Lactarius quietus* (Lactaire tranquille), *Hygrophorus russula* (Hygrophore russule).

Sous les Charmes : On trouve *Leccinum carpini* (Bolet des Charmes).

Sous les Cèdres : On trouve *Geopora sumneriana* (Géopore des Cèdres).

Sous diverses espèces du genre Pinus (Pins) : On trouve *Suillus luteus* (Nonette voilée).

Sous divers résineux : On trouve *Tricholoma equestre* (Tricholome équestre)
Enfin, de nombreuses espèces de champignons sont peu exigeantes et s'accommodent d'arbres divers, comme exemple *Boletus edulis* (Cèpe de Bordeaux) qui vient sous divers feuillus ou résineux. (Hibbett et *al.* 2000).

1.1.5. La symbiose mycorhizienne :

Les cèpes sont des champignons Mycorhiziens, c'est à dire qu'ils vivent en symbiose avec l'arbre hôte. La jonction entre les racines de l'arbre et le mycélium du champignon s'appelle une Mycorhize. C'est par ce manchon que se font les échanges de nourritures, d'eau et de sels minéraux entre l'arbre et le champignon (voir schéma 1). (Hata et *al.* 2010).

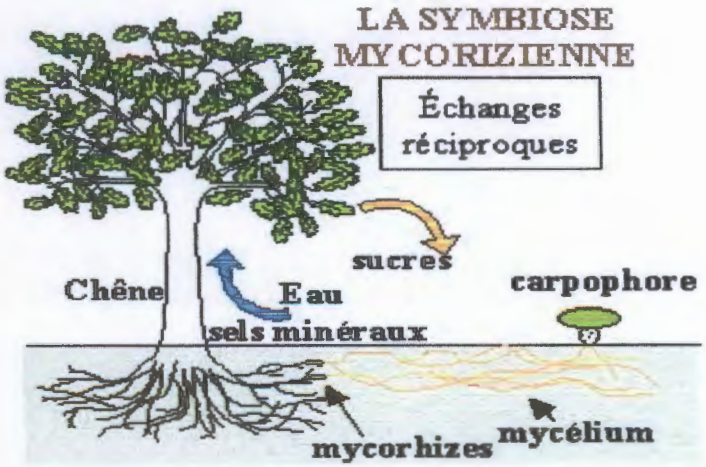

Schéma 1: La symbiose mycorhizienne.

Exemples des principaux mycorhizes :

Lorsque les champignons s'associent à des arbres, la structure symbiotique qu'ils élaborent ensemble porte le nom de mycorhize. Les filaments mycéliens sont reliés étroitement aux racines de la plante. S'ils se contentent d'édifier un étroit manchon autour de racines, ce sont des ectomycorhizes. Si le champignon pénètre dans les racines et jusque dans les cellules de son hôte, ce sont des endomycorhizes. Mais il existe bien d'autres types de mycorhizes. Contre une partie des sucres élaborés par photosynthèse, les champignons assurent les besoins en eau et en sels minéraux (phosphore, azote, cuivre, zinc…) de la plante en lui faisant profiter de son propre réseau mycélien, beaucoup plus grand que toutes les racines de la plante réunies.

Le cèpe appelé communément « tête de nègre » *Boletus aereus* et la truffe noire du Périgord *Tuber melanosporum* sont ainsi souvent associés aux chênes et les amanites tue-mouches *Amanita muscaria* aux pins et aux bouleaux. Il n'est pas rare qu'un arbre soit associé à plusieurs dizaines d'espèces de champignons en même temps, et ces associations changent tout au long de sa vie. Les champignons, eux, sont plus spécifiques, surtout en Europe tempérée où les forêts ne sont pas très diversifiées. Il y a trente ans, on comptait près de cinq mille espèces de champignons impliqués dans des mycorhizes avec des arbres des forêts boréales et tempérées. Cette symbiose particulière est également très répandue sous les tropiques.

Ces associations sont très recherchées par les forestiers : en répertoriant les champignons susceptibles d'établir des mycorhizes avec une espèce d'arbre précis, ils cherchent à améliorer le rendement de l'association et à faire pousser des arbres dans des zones moins favorables. (Hata et *al*. 2010).

1.1. Les levures :

1.1.1. Définition :

Une levure est un champignon unicellulaire (voir photo 1) apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales. Les levures sont employées dans la fabrication du vin, de la bière, des spiritueux, des alcools industriels, du pain et d'antibiotiques.

Photo 1 : Photo représentative de *Saccharomyces cerevisiae.*

Ces microorganismes, de forme variable selon l'espèce (sphérique, ovoïde, en bouteille, triangulaire ou apiculée, c'est-à-dire renflée à chaque bout comme un citron) mais généralement ovales, d'environ 6 à 10 microns et jusqu'à 50 microns, se multiplient par bourgeonnement ou par fission (scissiparité). Ils sont souvent capables d'accomplir une sporulation soit dans un but de dormance en milieu défavorable, soit dans un but de dispersion.

La dénomination levure découle de l'observation des fermentations et tout particulièrement celle qui a lieu durant la fabrication du pain : on dit communément et depuis longtemps que le pain lève. Ce n'est pas, à proprement parler, une dénomination scientifique actuelle. Mais l'importance des levures dans le domaine des fermentations conduit à conserver ce terme générique qui continue à être correctement perçu.

Les levures sont capables de se multiplier selon deux modes différents : le mode sexué et le mode asexué.

Les ascomycètes qui se reproduisent par un processus sexué dans un asque résultant de la transformation d'une cellule après méiose.

Les basidiomycètes qui réalisent une reproduction sexuée avec formation de basidiospores sur une baside.

Les deutéromycètes regroupent l'ensemble des levures ne présentant pas de mode connu de reproduction sexuée.

Pour la plupart des levures la multiplication asexuée (mitotique) est la forme majeure de multiplication. Il existe 2 types de division mitotique chez les levures : par bourgeonnement (cas des Saccharomyces), ou par scission (cas des Schizosaccharomyces).

(Aponte et *al.* 2010).

1.1.2. Caractéristiques structurelles :

Les levures sont des micro-organismes eucaryotes, ainsi elles possèdent les caractéristiques structurelles propres à ce type cellulaire et d'autres plus spécifiques aux levures elles-mêmes (Isola et *al.* 2009) :

1.1.2.1. Paroi cellulaire : entourant la membrane plasmique et protégeant la levure des agressions physico-chimiques du milieu extérieur. Elle est constituée d'une couche externe de mannoprotéines, associés à des glucanes et une couche interne de glucanes associés à une petite quantité de chitine (Paulovicová et *al.* 2008).

1.1.2.2. Membrane cytoplasmique : composée principalement de phospholipides double couche (partie hydrophile à l'extérieur et partie lipophile à l'intérieur). Elle contient aussi de nombreux complexes protéiques intrinsèques et extrinsèques dont les rôles sont variés, par exemple des enzymes appelées protéases mènent les transports de substances du milieu extérieur vers le milieu intracellulaire et/ou inversement avec ou non transformation du substrat durant le passage (Noda and Yoda. 2010).

1.1.2.3. Noyau : contenant l'information génétique du génome chromosomique de la levure.

A. Chromosomes : les levures sont des organismes eucaryotes et possèdent un noyau avec des chromosomes linéaires. Chez les Saccharomyces, les chromosomes sont au nombre de 16 simples ou 16 paires selon la forme haploïde ou diploïde de la cellule. Il existe des gènes de structure à information continue comme chez les bactéries, et des gènes à information discontinue (introns et exons) comme chez les Organismes supérieurs. Par ailleurs, les gènes de régulation sont spécifiques des levures (Holmes-Hampton et *al.* 2010).

B. Plasmides : à côté des chromosomes, il existe dans le noyau des petites molécules d'ADN circulaire d'environ 6 000 paires de bases, les plasmides, présents entre 50 et 100 exemplaires par cellule. Ces plasmides sont autoréplicables et autotransférables sans affecter la viabilité de la cellule. Ils portent l'information génétique de quelques caractères non essentiels à la viabilité de la levure. Ils ont un rôle considérable dans toutes les opérations de génie génétique.

1.1.2.4. Mitochondries : qui jouent un rôle important dans la respiration aérobie de la levure et la production d'ATP.

Chaque mitochondrie renferme plusieurs molécules circulaires d'ADN qui portent l'information de certaines enzymes de la chaîne respiratoire (Holmes-Hampton et *al.* 2010).

Remarque : Certaines souches de *Saccharomyces* renferment dans leur cytoplasme deux virus à ARN. Le matériel génétique du « petit virus » code une toxine exocellulaire capable de tuer d'autres levures et une protéine de résistance à cette même toxine pour empêcher les levures « killer » de se tuer entre elles. Le « grand virus » est nécessaire à la multiplication et au maintien du « petit virus » dans le cytoplasme (Isola et *al* 2009).

1.1.2. Cycle de reproduction : Exemple *Saccharomyces cerevisiae*

La levure de laboratoire a un cycle biologique particulier. Elle est capable de se multiplier sous deux formes : une forme diploïde (2n = 32 chromosomes) et une forme haploïde (1n = 16 chromosomes).

Les cellules haploïdes se multiplient en bourgeonnant : la cellule mère bourgeonne une cellule fille plus petite (mitose), mais possédant la même information génétique. Il existe des cellules haploïdes « *a* » et des cellules haploïdes « *α* » qui correspondent à des signes sexuels distincts. Ces deux types de cellules ne se distinguent pas morphologiquement mais par la phéromone qu'elles produisent : MATa ou MATα. Les phéromones libérées permettent l'amorce du processus de fécondation en se liant à un récepteur spécifique. Ensuite c'est la fusion entre une cellule « *a* » et une « *α* » qui donne naissance à une cellule diploïde « *a/α* ». Tant que

l'environnement est favorable, le diploïde se multiplie par bourgeonnement. Si les nutriments viennent à manquer, la cellule repasse en phase haploïde par un processus de méiose. On obtient finalement quatre noyaux haploïdes qui sont inclus dans les spores (ascospores) contenues dans un sac appelé asque. L'enveloppe de l'asque se rompt à maturité et libère alors deux cellules « *a* » et deux cellules « *α* » qui peuvent recommencer le cycle (voir schéma 2).

Les souches industrielles sont souvent polyploïdes (3, 4, 5n Chromosomes) et donc possèdent plusieurs gènes pour un même caractère. Elles sont donc plus stables génétiquement car difficiles à faire muter. La plupart de ces souches sont incapables de sporuler dans les conditions de culture industrielle et se reproduisent par bourgeonnement (Niu et *al* 2008).

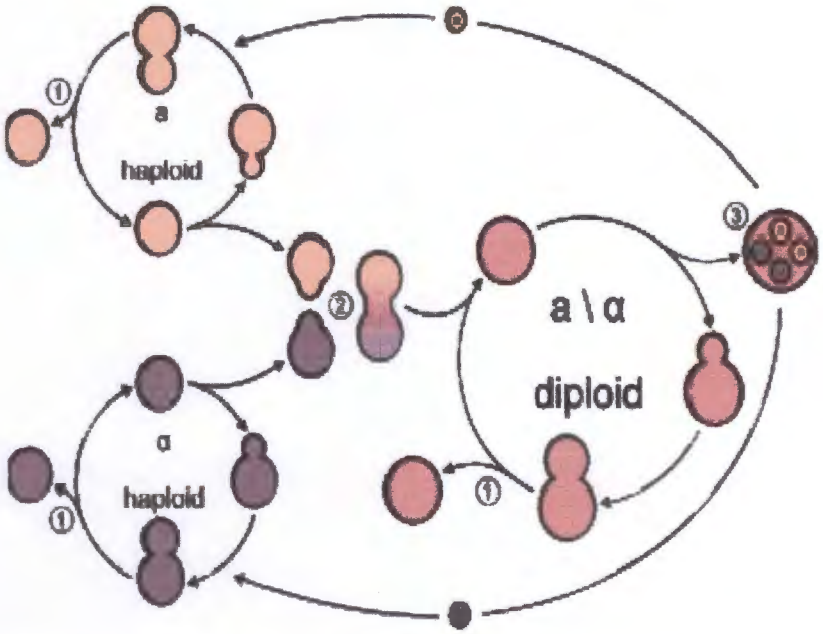

Schéma 2 : Représentation du cycle de reproduction de *Saccharomyces cerevisiae.*

1.2.4. Métabolisme et conditions de croissance :

1.2.4.1. Processus énergétiques :

Les deux principaux processus énergétiques connus chez les hétérotrophes sont la respiration et les fermentations. Pour leur développement ces levures ont besoin :

- De composés carbonés source de carbone et d'énergie.
- De composés azotés réduits sous forme d'ammonium ; quelques levures peuvent cependant utiliser des composés oxydés (comme les nitrates) ou organiques pour la synthèse de protéines et d'acides nucléiques.
- D'éléments minéraux variés, vitamines et facteurs de croissance qui varient selon les levures.

Toutes les levures sont capables de dégrader le glucose, le fructose et le mannose en présence d'oxygène, par un métabolisme oxydatif, conduisant à la formation de CO_2 et H_2O (Neira and Jeison).

1.2.4.2. Respiration aérobie :

$C_6H_{12}O_6$ (glucose) + $6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + énergie utilisable.

Cette voie métabolique est très énergétique et permet aux cellules de subir une multiplication avec un rendement cellulaire élevé (le rendement étant défini par le quotient de la quantité de cellules fabriquées par le substrat sucré consommé). En plus des sucres simples,

certaines levures peuvent utiliser d'autres glucides (mono, di ou trisaccharides, voir des polysaccharides comme l'amidon) mais aussi des alcools, des acides ou des alcanes. D'une manière plus générale, elles ont une capacité hydrolytique bien moindre que les moisissures.

En plus du métabolisme oxydatif, certaines levures peuvent privilégier une dégradation des glucides par un métabolisme fermentatif qui conduit à la formation d'éthanol et de CO_2 suivant la réaction (Spor et *al.* 2009).

1.2.4.3. Fermentation alcoolique : $C_6H_{12}O_6$ (glucose) $\rightarrow$ $2CO_2 + 2CH_3CH_2OH$ (éthanol) + énergie utilisable.

En plus de ces composés majoritaires, des alcools supérieurs, des aldéhydes, des esters, des acides… sont formés en plus petites quantités et participent qualitativement de façon importante et complexe à la formation des flaveurs des boissons fermentées. Ce métabolisme est moins énergétique que le métabolisme oxydatif, et le rendement de la multiplication cellulaire en est affecté bien que la vitesse de croissance puisse être nettement plus rapide que dans le processus oxydatif. Ce processus fermentaire peut fonctionner en présence ou en absence partielle ou totale d'oxygène c'est-à-dire en anaérobiose. On évoquera, dans le paragraphe suivant, l'apparition d'un processus fermentaire en présence d'oxygène en excès, décrit comme l'effet Crabtree et très important dans l'industrie de production des levures de boulangerie (Alonso et *al.* 2010).

1.2.5. Conditions de croissance :

La température : La température optimale de culture des levures se situe en général entre 25 °C et 30 °C, mais comme les autres micro-organismes, les levures peuvent être classées en levures psychrophiles, mésophiles et thermophiles. D'une façon générale, les levures ne sont pas thermorésistantes. La destruction cellulaire commence dès 52 °C (contre 120 °C pour les bactéries thermophiles hors archées). Les levures sont aussi sensibles à la congélation et à la lyophilisation avec une grande variabilité selon les genres et espèces, et selon la phase de croissance (les cellules en phase exponentielle résistent moins que les cellules en phase stationnaire).

Activité de l'eau : La plupart des souches ne peuvent se développer pour une activité de l'eau inférieure à 0,90 ; mais certaines tolèrent des pressions osmotiques plus élevées, correspondant à une activité de l'ordre de 0.60, en ralentissant leur métabolisme ; ces levures sont dites xérotolérantes.

L'oxygène : toutes les levures sont capables de se développer en présence d'oxygène : il n'y a pas de levure anaérobie stricte. Certaines levures sont aérobie strictes (comme les Rhodotorula). Les autres sont aéro-anaérobie facultatives avec parmi elles : des levures préférant un métabolisme soit fermentaire soit respiratoire même en présence d'oxygène.

Le pH : Les enveloppes cellulaires sont imperméables aux ions H_3O^+ et OH^-. Les levures tolèrent donc des gammes de pH très larges, théoriquement de 2,4 à 8,6 (Amaral et *al.* 2010).

1.2.6. La sensibilité aux agents chimiques :

Les acides organiques : ils ont un effet inhibiteur sous leur forme dissociée car ils peuvent pénétrer dans la cellule et la sensibilité de la levure dépend de sa capacité à les métaboliser. C'est pour cette raison que les acides sorbiques et propioniques sont plus inhibiteurs que les acides acétique, citrique et lactique.

L'éthanol : Les plus résistantes sont les Saccharomyces bayanus que l'on utilise dans les procédés de fermentation alcoolique pour l'élaboration des boissons ou d'éthanol industriel.

Le sulfite : Le SO_2 a un effet inhibiteur plus prononcé sur les bactéries que sur les levures, même si parmi les levures des sensibilités existent.

Les Antibiotiques : La sensibilité à la cycloheximide (actidione) est variable et on peut distinguer 3 groupes de levures :

- Levures inhibées dès 1 µg/ml (ex : *Saccharomyces*).
- Levures inhibées à 25 µg/ml (ex: *Schizosaccharomyces*).
- Levures tolérantes à 1 mg/ml (ex: *Zygosaccharomyces*).

Le Chloramphénicol inhibe la synthèse de protéines mitochondriales mais pas celle des protéines cytoplasmiques. Seules les levures capables de fermenter peuvent alors cultiver en présence de chloramphénicol (Fai and Grant. 2009).

1.3. Les moisissures :

1.3.1. Définition :

Le terme de "moisissures" désigne tous les champignons microscopiques filamenteux dont certaines espèces intéressent l'économie et l'environnement humains, de façon bénéfique ou néfaste.

Les moisissures sont donc des champignons et ont fondamentalement, les caractères de ces organismes.

Ce sont des eucaryotes avec des noyaux typiques entourés d'une membrane et contenant des chromosomes. Ce caractère les différencie des bactéries qui sont des procaryotes avec un chromosome libre à l'intérieur de la cellule.

Elles sont hétérotrophes car elles ne peuvent pas, comme les plantes vertes, synthétiser la matière organique à partir du gaz carbonique atmosphérique. Elles doivent donc puiser dans le milieu ambiant l'eau, les substances nutritives et les éléments minéraux nécessaires à la synthèse de leur propre matière qu'elles absorbent à travers la paroi de leur appareil végétatif. On dit qu'elles sont hétérotrophes (Marie. 1997).

Toutes les moisissures se développent sur et au détriment de matériaux inertes très variés (papiers, bois, aliments...). Certaines peuvent être "opportunistes", c'est à dire que, bien que naturellement saprophytes, elles peuvent dans certains cas se comporter en parasites, se développer sur des organismes vivants animaux ou végétaux dont les défenses sont affaiblies, pouvant les tuer et finalement passer à un développement saprophyte.

Le développement normal d'une moisissure comprend une phase végétative de croissance et de nutrition, et presque simultanément une phase reproductive au cours de laquelle se forment des spores qui assurent la dispersion et la dissémination. La germination des spores est à l'origine de la forme végétative (mycélium) (Marie. 1997).

1.3.2. Le développement des moisissures:

1.3.2.1. Mode de développement :

L'appareil végétatif, qui permet la croissance et le développement, est composé de filaments appelés « hyphes » dont l'ensemble constitue un réseau dit « mycélium ». Celui-ci est parfois visible sous forme de petites tâches colorées à la surface de substrats moisis. Il va à la recherche de ses aliments et dégrade le support par émission d'enzymes et d'acides exocellulaires, en transformant les composants à l'intérieur des hyphes et rejette les déchets à l'extérieur, ou les stocke. La dégradation du substrat peut être infime ou considérable, selon l'adaptation spécifique du champignon, la durée et les conditions de son développement. Cette activité de dégradation est la cause de la détérioration des supports.

La colonisation du substrat est donc réalisée par extension et ramification des hyphes. L'accroissement de celles-ci s'effectue par le sommet, ou apex, où s'effectue l'essentiel des réactions de synthèse et dégradation du métabolisme dit "primaire", indispensable à la construction de la cellule du champignon. Les régions apicales des hyphes sont caractérisées par la présence de nombreuses vésicules cytoplasmiques contenant les enzymes et les précurseurs de synthèses de nouveaux polymères. Les produits du métabolisme "secondaire" non indispensable

au fonctionnement de la cellule ; ils sont plutôt stockés en région subapicale. Les plus connus étant les pigments, les antibiotiques et les mycotoxines.

Les hyphes sont appliqués sur le substrat ou parfois immergées dans celui-ci. Elles absorbent, à travers leur paroi, l'eau, les substances nutritives et les ions qui y sont contenus. On parle alors de rhizoïdes. Cette fonction implique une perméabilité pariétale qui diminue de l'apex vers les zones plus âgées.

Au point de vue structural ce sont des sortes de tuyaux contenant le cytoplasme, les noyaux et autres organites intracellulaires. Ces tuyaux (mycéliums) sont cloisonnés ou siphonnés. Dans les parties jeunes du mycélium les cloisons sont percées de pores qui permettent le passage du contenu cellulaire d'un compartiment à l'autre. Dans les parties les plus âgées, les cloisons sont fermées, isolant les parties en voie de dégénérescence des parties actives (voir schéma 3).

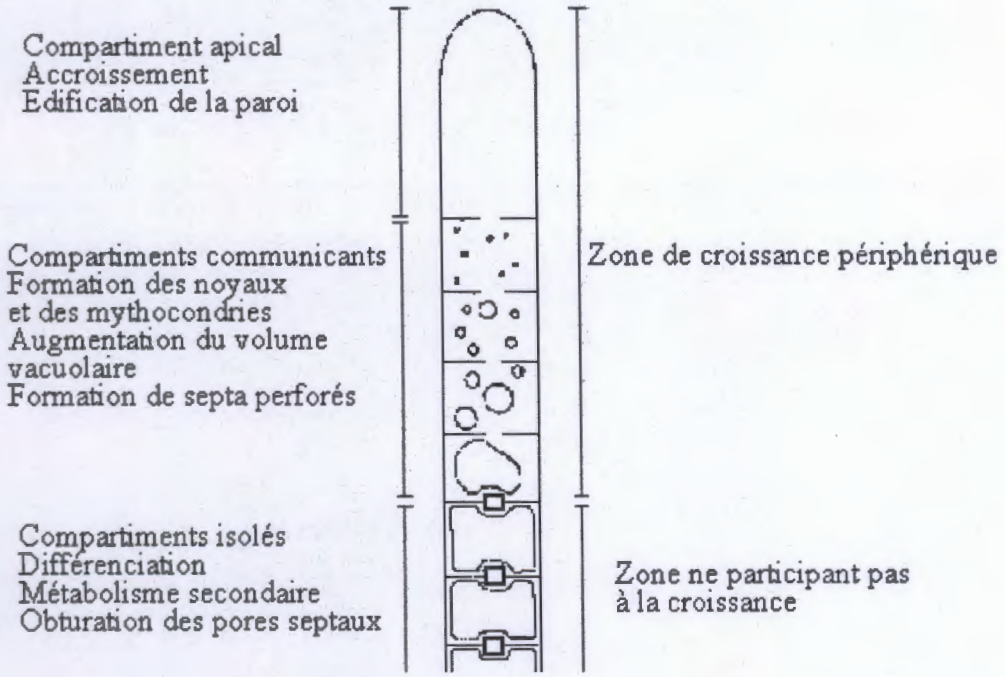

Schéma 3: Représentation schématique des différents compartiments de l'hyphe et de leur contribution à son développement fonctionnel (Cooke and Whipps. 1993).

1.3.2.2. Conditions de développement :

Bien qu'elles soient relativement peu exigeantes, un certain nombre de facteurs, nutritifs et environnementaux, doivent être réunis pour que les moisissures se développent.

Les principaux facteurs de développement sont :

A). Les éléments nutritifs :

Les plus importants sont le carbone et l'azote, utilisés sous forme de composés organiques, et des ions minéraux (potassium, phosphore, magnésium ...) en quantités très faibles.

Certains produits, les acides aminés par exemple, peuvent pénétrer dans la cellule sans transformation tandis que d'autres tels que l'amidon, la cellulose et les protéines doivent être transformés préalablement par le champignon avant d'être absorbés. Cette transformation nécessite, de la part de la moisissure, un équipement enzymatique adapté, souvent caractéristique des espèces. Un *Trichoderma* par exemple dégradera la cellulose tandis qu'un *Scopulariopsis* sera plus actif sur un support de nature protéique. Mais de manières générales, les quantités nécessaires et suffisantes au développement des moisissures sont extrêmement faibles.

B). Les facteurs de l'environnement :

L'humidité :

À la différence des substances nutritives qui sont toujours beaucoup plus abondantes que ne le nécessite le développement des moisissures, les facteurs physiques de l'environnement (humidité, température, oxygène...) constituent un élément déterminant pour leur croissance. Parmi ceux-ci, le plus important est l'humidité.

Il est connu que les moisissures apparaissent après un accroissement accidentel de l'humidité. En effet, la quantité d'eau disponible dans le substrat et les conditions environnementales sont très importantes pour initier leur développement. Il y a échange permanent entre l'environnement et le support jusqu'à atteindre un point d'équilibre à la surface de ce dernier où pourra se développer la moisissure (pour les aliments, cette valeur est définie comme étant l'activité de l'eau ou aw qui est approximativement inverse de l'humidité relative).

L'humidité relative minimum pour que commencent à se développer certaines moisissures peu nombreuses, dites xérophiles, est de 65-70 % (exemple : *Eurotium* et *Aspergillus*). 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. La seule façon d'éviter le développement de contaminants fongiques est donc bien de maintenir une hygrométrie faible dans l'environnement.

Température :

La plupart des champignons, surtout les moisissures, sont des mésophiles. C'est-à-dire, qu'ils se développent autour de 20- 25°C, température moyenne habituelle des aires de stockage non climatisées sous les latitudes européennes. 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.

Oxygène :

Les champignons sont des organismes aérobies. Cependant, certains tolèrent des quantités relativement faibles d'oxygène et peuvent même dans certaines conditiond particulières se développer en anaérobiose avec production d'éthanol et d'acides organiques. Le métabolisme des champignons peut être modifié selon la teneur en oxygène environnemental; par exemple la production de mycotoxines (patuline et acide penicillique) décroit considérablement en conditions d'oxygénation faible (Samson et *al.* 1988).

pH :

Les champignons sont peu sensibles au pH du milieu. Ils se développent entre 4,5 et 8 avec un optimum entre 5,5 et 7,5. Certaines espèces comme *Aspergillus niger* peuvent se développer jusqu'à 1,7 et 2. Cette faculté de se développer en milieu acide permet de les séparer des bactéries pour l'isolement.

1.3.4. La multiplication des moisissures :

Après un certain temps de développement, les moisissures comme tous les champignons et autres êtres vivants, doivent se reproduire, puis se propager pour aller coloniser d'autres substrats.

Elles se multiplient par des spores qui sont de minuscules particules vivantes (3-5 mm pour la plupart) d'origine sexuée et/ou asexuée. Les spores sont des cellules déshydratées au métabolisme réduit, entourées de parois protectrices épaisses qui les isolent du milieu ambiant. Elles sont produites en très grand nombre; par exemple un sporophore de *Serpula lacrymans* (plus connue sous le nom de mérule) peut produire en moyenne 3000 spores par mm^2 et *Puccinia graminis* champignon microscopique parasite des graminées, produit $2,5.10^7$ spores par m^2 (Gregory and Gerald. 1961). Elles peuvent survivre très longtemps, de plusieurs mois à plusieurs

années. C'est sous cette forme que les moisissures se dispersent puis se déposent sur des supports nouveaux. Lorsque les conditions environnementales deviennent favorables (augmentation de l'humidité principalement), elles germent et redonnent un mycélium qui reformera, à son tour, des spores. Certaines nécessitent un stimulus, généralement thermique, pour germer (Madelin. 1966). Il est aussi nécessaire de préciser que même de simples petits fragments peuvent également se régénérer et redonner un nouveau mycélium.
Les spores se forment à partir du mycélium selon des processus plus ou moins différenciés mais en tous cas très variés. Elles peuvent être solitaires, groupées en chaînes ou en têtes, portées à la surface du mycélium ou contenues dans des enveloppes cellulaires.

Dans la mesure où toutes les espèces n'ont pas les mêmes caractères physiologiques ni les mêmes exigences écologiques, leur identification précise est très importante; elle peut donner des indications précieuses sur l'origine de la contamination et par suite permettre d'adapter un traitement efficace.

1.3.5. Dispersion des moisissures :

Les spores sont donc formées par le mycélium en grand nombre. Le moindre petit choc, frôlement, ou courant d'air les détache et les emporte. L'ambiance extérieure comme celle des locaux d'habitation, contient toujours des spores en suspension, en quantité plus ou moins grande selon la saison, la présence d'objets ou de murs moisis, ... émettant des spores. Les principales espèces atmosphériques appartiennent aux genres *Penicillium, Aspergillus* et *Cladosporium*.

Cependant, des travaux récents que nous avons menés dans des bibliothèques et réserves d'objets d'art montrent que les espèces présentes dans l'ambiance ne correspondent pas toujours à celles qui sont sur les objets.

Tableau 1 : Différents contaminants rencontrés dans l'atmosphère et sur les supports.

	Atmosphère	Papiers	Peintures	Cuirs	Bois peint	Autres
Aspergillus niger	*	*				
Aspergillus penicillioides	*	*	*	*	*	
Aspergillus versicolor	*					*
Penicillium aurantiogriseum	***	*		*		
Penicillium brevicompactum	*	*				
Penicillium chrysogenum	***	*			*	
Penicillium citrinum	*					
Penicillium corylophilum	*					
Penicillium expansum	*	*				
Penicillium glabrum	***					
Penicillium spinulosum	*		*			
Penicillium viridicatum	*	*				
Alternaria tenuissima	*					
Cladosporium herbarum	*					
Cladosporium cladosporioides	*					
Mucor racemosus	*					*
Trichoderma harzianum	*					
Chaetomium globosum		*				*
Doratomyces sp						*
Fusarium sp						*
Humicola fuscoatra						*
Phoma herbarum						*
Paecilomyces variotii						*
Phialophora richardsiae						*
Sporotrichum aurantiacum						*

II. Exemples de quelque utilisations industrielles des moisissures et des levures :

2.1. Les moisissures :

2.1.1. *Penicillium camembertii* :

Cette espèce de moisissures est de couleur blanche ou légèrement grise est responsable du feutrage de surface des fromages a pâte molle et à croute fleurie, on parle du camembert. Ce champignon a une vitesse de croissance relativement faible par rapport à celle d'autre espèce de *Penicillium*. Il peut se développer entre 4°C.et 30°C avec un optimum à 22°C. Le pH optimum de croissance se situe entre 4,0 et 5,0 mais les variations de 3,0 à 8,0 ont peu d'influence sur le développement des souches commerciales. Il faut noter que les souches sauvages sont en général plus acidophiles que les souches industrielles. Des taux en chlorure de sodium de 0 à 20 % permettent la croissance avec un optimum vers 2% et une inhibition à partir de 5 à 6 %. Cette moisissure est strictement aérobie et produit des enzymes protéolytiques et lipolytiques dont le rôle est capital pour l'affinage du fromage. Le biotope original de cette espèce est inconnu. Les premières souches ont été isolées sur des fromages (Botton et *al.* 1990).

Les enzymes protéolytiques de cette espèce sont exocellulaires :

- Deux endopeptidases : une protéase acide de pH optimum 5,0 sur la caséine et une métalloprotéase de pH optimum 6,0 sur caséine.
- Une carboxypeptidase de pH optimal 4,0 à 6,0.
- Une aminopeptidase de pH optimal 7,5 à 8,5.

Les modifications de texture et l'apparition d'arôme que son développement entraîne lors de l'affinage du camembert. Ces transformations sont généralement attribuées à l'importance de ses activités protéolytiques et lipolytiques. Cependant, *Penicillium* provoque également une remontée du pH au sein du caillé. Celle-ci est due, d'une part à la consommation par la moisissure de l'acide lactique produit par les bactéries lactiques, et d'autre part à la formation d'ammoniac comme produit azoté final de la dégradation des protéines sous l'action de désaminases. L'importance de cette «désacidification» sur certains phénomènes qui accompagnent la maturation n'a pratiquement pas été étudiée. Elle est pourtant susceptible de modifier l'activité des protéases dans le caillé et de participer, par le biais de modifications physico-chimiques, au changement de texture (Pierre. 2007).

2.1.2. *Penicillium roqueforti* :

Cette espèce est *une* moisissure allant du gris bleu au gris vert. Elle est utilisée pour la fabrication des fromages à pate persillée du type roquefort. *Penicillium roqueforti* tolère des atmosphères pauvres en oxygène et riches en gaz carbonique comme on en trouve dans les déchirures du caillé de fromage auxquelles il confère cet aspect marbré caractéristique. Cette espèce a une vitesse de croissance rapide et supporte des températures de 4°C à 32°C ; avec un optimum vers 25°C et une inhibition totale au-dessus de 32°C à 35°C. Elle support également de très grandes variations de pH (pH= 3,0 à pH=9) avec un optimum vers 4,5 à 6,0 et tolère de fortes concentrations en sels, jusqu'à 22 % avec un optimum vers 5%. (Botton et *al.* 1990)

Elle produit des enzymes protéolytiques et lipolytiques qui ont un rôle prépondérant dans l'affinage du produit. Cette espèce possède deux endopeptidases, une protéase acide (pH optimum = 5,5), une carboxypeptidase acide (pH optimum = 3,5 à 4,0) et une aminopeptidase alcaline (pH optimum = 8 ,0) (Botton et *al.* 1990).

Les fromages sont piqués avant d'être expédiés vers les caves naturelles à Roquefort, ou ils seront affinés à une température moyenne de 11°C pendant environ trois semaines. Affinés, les

fromages sont mis sous feuille d'étain et stockés à température dirigée (Frédéric and Collectif. 2008).

2.1.3. *Penicilium nalgiovense* :

Cette espèce est le champignon utilisé pour la production des charcuteries. C'est une moisissure à croissance relativement rapide, supportant une très large gamme de pH avec un optimum vers 7,0 mais la croissance varie peu entre pH 4,0 et pH 7,0. La croissance est possible de 4°C à 30°C environ avec un optimum vers 25°C. Ce champignon supporte des taux de sels de 0 à 25 % avec un net optimum à 4%. (Botton et *al.* 1990).

Le saucisson est trempé dans un bain de « fleur de surface » ou pulvérisé avec cette solution. Ceci permet d'orienter le développement de « la fleur de saucisson ». Cette étape est réalisée en dehors de la salle d'embossage. Les ferments se présentent en sachets lyophilisés, achetés à un producteur (Alain and Marie-Madeleine. 2007).

En réalité, plusieurs souches de champignons sont utilisées comme fleur industrielle associées ou non à *Penicillium nalgiovense.* Il s'agit de : *Penicillium camembertii, Penicillium caseicolum* et *Penicillium chrysogenum.* La solution eau plus *Penicillium* est reconstituée sur place. Une douchette est reliée au bac contenant la solution de « fleur de saucisson » et permet d'arroser l'ensemble du cadre contenant les saucissons.

La fleur sauvage croit de façon plus ou moins régulière, elle est difficile à maitriser. Selon son épaisseur et sa couleur elle peut donner un aspect par fois peu engageant et peut avoir une odeur agréable mais par fois désagréable.

Suite à l'ensemencement, le produit de charcuterie peut être étuvé d'une manière classique, par exemple à des températures comprises entre 15°C et 35°C pendant 1 à 8 jours et à une humidité relative comprise entre 60 et 100%. L'étuvage permet l'acidification et la coloration de l'article de charcuterie et une première élimination d'eau (Alain and Marie-Madeleine. 2007).

2.1.4. *Aspergullis niger* :

Chaque année, plus de 55.000 tonnes de dattes de faible valeur marchande sont perdues (Anonyme. 1992). Par ailleurs, la richesse de la datte en sucres et en éléments minéraux offre à celle-ci, la possibilité d'être valorisée par des procédés technologiques en divers bioproduits, en l'occurrence l'acide citrique. Le champignon du genre *Aspergillus niger* représente le micro-organisme de choix pour la production de cet acide organique étant donné.

Sa stabilité génétique, ses rendements élevés, sa capacité d'utilisation de matériel à bon marché et l'absence de métabolites indésirables (Skouri-Gargouri and Gargouri. 2008).

Aujourd'hui 99 % de la consommation mondiale en cet acide est produite par bioconversion (Helena et *al.* 1992). Le substrat de fermentation le plus utilisé est la mélasse. L'acide citrique produit de première importance en industrie alimentaire, trouve des applications dans les industries des boissons et pharmaceutique, le tannage, la teinture, etc. L'Algérie continue de nos jours à importer cet acide organique (Touzi et *al.* 1992).

Les milieux enrichis avec le Mg SO_4, KH_2PO_4 et l'urée donnent des productions maximales en cet acide, notamment quand le pH est ajusté à 3,5. De même que certains autres oligo-éléments (Cu, Fe, Zn) semblent favoriser l'utilisation de l'azote et du phosphore (Benyahia. 1992). Cela nous laisse supposer que le champignon profite de l'enrichissement du milieu pour favoriser sa croissance au détriment de la synthèse du citrate.

2. 2. Les levures :

Saccharomyces cerevisiae :

Saccharomyces cerevisiae est un microorganisme, une levure particulière parmi tous les ferments, levains, levures. Elle est utilisée depuis l'aube de l'humanité dans l'élaboration du pain, du vin. La température optimale est de 32 degrés pour sa reproduction. Sa taille varie de 6 à 12 µm pour la longueur et de 6 à 8 µm pour la largeur.

La fermentation réalisée par cette espèce est mise en jeu dans la fabrication de produits tels que le pain, le vin, le cidre. On parle de la fermentation alcoolique. (Richard Dickinson and Michael. 2004).

2.2.1. Fermentation de pain :

Le pain est un produit fermenté d'origine végétale à base de blé. La pâte est composée uniquement de farine de blé (ou de seigle dans certains cas), d'eau potable et de sel de cuisine. Pour la faire fermenter, on ajoute de la levure de boulanger *Saccharomyces cerevisiae* ou du levain, mélange de farine et d'eau déjà fermenté naturellement. Dans la pâte, en absence d'O_2, les levures dégradent les sucres présents dans la farine (glucose et saccharose essentiellement) pour produire l'énergie qui est nécessaire à leur vie (Photos 2 et 3). Cette dégradation s'accompagne d'une libération de CO_2 qui provoque la levée caractéristique de la pâte. De l'alcool est aussi produit, qu'il s'évapore totalement au cours de la cuisson. Les produits issus en très faibles quantités d'un certain nombre d'autres fermentations participent au goût et à l'arôme du pain. Lorsqu'on ne met pas de levures dans la pâte, le pain ne lève pas et on obtient un pain dit « azyme » (Donalies et *al.* 2008).

Photo 2 : La pâte de pain avant la fermentation.

Photo 3 : La pate de pain après la fermentation.

2.2.2. Fermentation du vin :

Elle met en jeu deux types de fermentation : alcoolique et malolactique. Dans un premier temps, le sucre dégradé par les levures (essentiellement le glucose qui se trouve dans le jus de raisin), est transformé en alcool éthylique et en CO_2. Les levures responsables de cette fermentation peuvent être celles qui se trouvent naturellement dans la peau du raisin, mais dans la pratique on rajoute souvent des levures sélectionnées au laboratoire pour leur efficacité. Outre l'alcool éthylique, un grand nombre de produits sont fabriqués au cours de la fermentation, en particulier de l'acide malique; sa présence est le plus souvent ressentie comme un défaut du vin. Pour éliminer cet acide malique, on procède à une deuxième fermentation qui transforme l'acide malique en acide lactique. On fait subir quasi systématiquement cette fermentation malolactique aux vins rouges. Pour les blancs, cela dépend du résultat désiré, selon que l'on souhaite obtenir un vin sec et frais ou un vin plus gras et capable de vieillir (Erten and Tanguler. 2010).

2.2.3. Production spontanée :

La production de certains aliments ne nécessite pas l'ajout d'un agent fongique mais se fait spontanément. C'est le cas d'une certaine catégorie de cidre.

2.2.3.1. Fermentation du cidre :

La fermentation est la transformation du sucre en alcool et en gaz carbonique sous l'action de la levure. Le contrôle de la fermentation permet de connaître la quantité de sucre qu'il reste dans le cidre. Un cidre à la fabrication peut renfermer une densité de 1048 à 1064 ce qui correspond après fermentation à 6-8 degré d'alcool. La quantité de sucre présente dans le cidre dépend en partie des conditions atmosphériques rencontrées lors de la maturité des pommes. Effectivement, une année sèche ou humide produit des fruits plus ou moins riches en sucre. Les variétés de pommes influent également sur la quantité de sucre. Une pomme acidulée ou aigre produit en général plus de jus qu'une pomme douce ou amère mais son jus contient moins de sucre que ces dernières.

La température ambiante influe énormément sur le processus de fermentation. Ainsi, lors de la fabrication si le jus sort de la presse à plus de 12°C il entre en fermentation active instantanément. Dans ce cas, la défécation ne peut pas se produire naturellement, Il faut avoir recours à l'adjonction d'enzymes dès la sortie de la presse qui dégradent la pectine. L'opération se réalise dans les douze heures après la sortie de la presse. Pour que le cidre fermente bien il ne faut pas que la température dépasse les 8° à 10°C. C'est pourquoi on a recours à des caves climatisées à température constante (Suárez et *al.* 2007).

Chapitre II :

Utilisation des champignons en industrie alimentaire.

I. Présentation de quelques champignons :

1.1. Champignons comestibles :

1.1.1. Champignons utilisés comme condiment :

1.1.1.1. *Amanita rubescens :*

Cette espèce est communément appelée amanite rougissante (Photo 4).

Photo 4 : *Amanita rubescens*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 5 à 15 cm de forme convexe puis étalé, sa cuticule se pèle aisément. Il est de couleur très variable, allant du blanc jusqu'au brun foncé en passant par le brun ochracé, le brun noirâtre etc... Sa surface est recouverte de plaques écailleuses ou de petites verrues plus ou moins soyeuses, blanchâtres ou gris brunâtre pâle. La marge est non sillonnée sauf par vétusté.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 6 à 22 cm avec un diamètre de 1,5 à 3,5 cm et de couleur blanche se teintant de brun pourpre vineux, surtout à la base ou dans les parties érodées. Il est légèrement bulbeux sans rebord et peu parfois montrer des débris du voile général. Il est muni d'un anneau membraneux, ample, pendant, blanc, ou jaunâtre avec quelques peluches brunâtres du voile au bord.

La chair de ce champignon est épaisse, tendre et blanche. Les parties dévorées par les limaces ou les insectes, ou exposées à l'air, prennent une teinte lie de vin plus ou moins foncée, surtout dans le bulbe. L'odeur est faible et peu typique. La saveur est fréquemment un peu âcre.

Habitat :

Cette espèce est rencontrée communément sous les feuillus et les conifères, sur tous types de terrain. Elle est facilement reconnaissable au rougissement que prend sa chair à la cassure.

Cette espèce est un très bon comestible utilisé comme condiment. Mais, son utilisation nécessite d'ôter par épluchage la cuticule du chapeau qui lui donne une légère amertume et surtout la cuisson. Car en effet, la consommation crue peut être toxique. (Axel and Michel. 2007).

1.1.1.2. *Pleurotus ostreatus* :

Cette espèce est communément appelée pleurote en forme d'huitre (photo 5).

Photo 5 : *Pleurotus ostreatus.*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 4 à 20 cm en forme d'éventail avec une structure charnue, de couleur très variable (beige crème, gris bleuté, bleu acier à brun violacé) ayant un hyménium blanc à crème à arêtes ondulées, décurrentes. Les spores de cette espèce sont de couleur grisâtre.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 1 à 2 cm avec un diamètre de 1 à 2 cm. Il est donc court et latéral.
La chair de ce champignon est blanche. Odeur et saveur fongique.

Habitat :

Ce pleurote pousse en touffes volumineuses de mi-octobre à décembre, parfois même de janvier à février sur le bois mort et vivant d'arbres feuillus (hêtres, chênes, tilleuls, noyers, peupliers, arbres fruitiers, pins, marronniers, bouleaux et saules), exceptionnellement sur les conifères où il pousse en touffes serrées. Il est également cultivé sur des substrats de paille.

Cette espèce est comestible très savoureuse même si elle est utilisée comme condiment. (Didier and Christian. 2004).

1.1.1.3. *Clitocybe odora* :

Cette espèce est communément appelée Clitocybe odorant (photo 6).

Photo 6 : *Clitocybe odora.*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 5 à 8 cm, il est lisse et aplati. Il a une forme convexe au début un peu bossue. Il peut avoir tendance à se déprimer avec l'âge et devient souvent mamelonné. La marge est ondulée, quelques fois lobée. Sa cuticule est sèche quand le temps est au beau et visqueuse par temps humide. Il est glabre de couleur vert bleuâtre, vert-de-gris ou bleu vert s'éclaircissant avec l'âge. Les lamelles sont adnées, moyennement serrées, sont à peine décurrentes, blanchâtres, avec des reflets gris-verdâtre, souvent sales à la fin.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 3 à 8 cm avec un diamètre de 0,5 à 1,2 cm. Il est court, de forme cylindrique, tenace et fibrilleux. Il a une base enflée qui est recouverte d'un duvet blanchâtre. Il est de couleur nettement plus pâle que le basidiocarpe et perd ses nuances verdâtres avec l'âge.

La chair de ce champignon est ferme, tendre dans le basidiocarpophore et tenace dans le pied. Elle est blanche ou légèrement teintée de gris verdâtre, exhalant une forte odeur d'anis pure. C'est d'ailleurs grâce à cette forte odeur caractéristique qu'on peut repérer cette espèce. Sa saveur est donc un peu aromatique.

Habitat :

Cette espèce originale par sa couleur et son parfum pousse d'août à novembre dans les bois (hêtres, châtaigniers ou conifères) parmi les feuilles mortes ou les aiguilles.

Cette espèce est un bon comestible, très parfumée. Elle est utilisée en condiment après dessiccation ou accompagnant des plats dont le goût sera ainsi relevé (Gérard. 2004).

1 .1.2. Champignons savoureux :

1.1.2.1. *Pholiota mutabilis* :

Cette espèce est communément appelée agaric à soupe (photo7).

Photo 7 : *Pholiota mutabilis.*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 3 à 8 cm, il est de forme convexe puis déployé et est souvent un peu mamelonné. La marge est délicate enroulée au début puis étalée. Sa surface est humide, lisse plutôt hygrophane, marron cannelle, se ternissant avec la sécheresse et l'âge. La plupart du temps la marge est très foncée. Les lames de l'hyménium se trouvant sous le carpophore sont serrées, adnées, souvent doucement décurrentes, de couleur blondasse puis cannelle ou marron rouillé.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 4 à 10 cm avec un diamètre de 0,5 à 0,8 cm. Il est central, mince, tubulaire, souvent courbé, creux, ferme et plutôt résistant. Il est dégradé de marron très clair au sommet, et se décline à la base en marron foncé. Il est pourvu de sa base jusqu'à l'anneau de mèches retroussées, de couleur marron foncé. Il comporte une bague de peau ou un amas discret de fibres, large, remontant au début et se frangeant ensuite sur son pourtour en retombant. Les spores tombées des basides sont marron.

La chair de ce champignon est peu épaisse, blanche et compacte avec une saveur douce, parfum fort, mais agréable.

Habitat :

Cette espèce est très commune ; elle se trouve toute l'année, principalement d'avril à novembre. Elle pousse en touffes, sur les vieilles souches de feuillus (charmes, chênes, hêtres).

Cette espèce est un champignon comestible utilisé principalement pour la préparation des soupes, d'où son nom (Steve and Joe. 2009).

1.1.2.2. *Agaricus arvensis* :

Cette espèce est communément appelée Agaric des jachères (Photo 8).

Photo 8 : *Agaricus arvensis.*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 5 à 20 cm de couleur d'abord d'un blanc neigeux, mais jaunit par frottement et avec l'âge mais cela n'a rien de comparable au jaunissement des psalliotes indigestes. La surface du basidiocarpe est lisse et sans aucune ornementation. Ce champignon est très charnu, sub-globuleux à l'état jeune, puis devient concave au milieu et étalé sur les côtés. L'hyménium est de couleur rose soutenu, rose clair quand il est jeune, et devient rose foncé terne pour finir noirâtre.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 6 à 15 cm avec un diamètre de 0,8 à 2,5 cm, avec une forme cylindrique et de couleur blanc jaunissant. Il est de taille inférieure au diamètre du basidiocarpe, épais, ferme, et dispose d'un anneau simple, ténu, membraneux, dont la partie inférieure est pourvue de flocons en forme de roue dentée, bien visible sur les exemplaires où la collerette recouvre encore l'hyménium.
La chair de ce champignon est blanche jaunissante. Elle sent agréablement l'anis.

Habitat :

La cueillette de cette espèce se fait de juin à octobre. Elle est peu répandue et se trouve dans les prairies et les terrains vagues herbeux.

Ce champignon est l'un des comestibles les plus gros, certains dépassent le kilogramme.
Il est délicieux, mais perméable a la pollution et en particulier par les métaux lourds. Il est donc préférable de pas le consommer régulièrement en grosses quantités (David and Spahr 2009).

1.1.2.3. *Boletus edulis* :

Cette espèce est communément appelée cèpe de bordeaux (Photo 9).

Photo 9 : *Boletus edulis.*

Description :

Le basidiocarpe : Il est de couleur brun clair à brun noisette, son diamètre va de 8 à 25 cm et a une allure lisse et brillante, de texture visqueuse par l'humidité. Il a une marge très claire avec revêtement séparable. Les tubes de couleur blancs puis vert olive.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 5 à 15 cm et un diamètre de 3 à 10 cm. Il est blanchâtre à brun clair, massif, obèse puis presque cylindrique, avec un fin réseau blanc souvent limité à la partie supérieure.
La chair de ce champignon est blanche, immuable, brun-rose sous le revêtement. Il donne une odeur agréable et une saveur de noisette.

Habitat :

Elle pousse dès le début d'août, surtout en septembre, jusqu' en novembre. Les étés chauds accompagnés de pluies orageuses sont propices à son développement. On le trouve sous les feuillus (hêtres, chênes) également sous les conifères (épicéas) sur sols acides.

Boletus edulis est l'un des meilleurs champignons de la forêt et peut-être considéré comme le plus recherché de tous les champignons comestibles savoureux. (Didier and Christian 2004)

1.1.2.4. *Cantharellus cibarius* :

Cette espèce est communément appelée chanterelle girolle (Photo 10).

Photo 10 : *Cantharellus cibarius.*

Description :

Le basidiocarpe, communément appelé « chapeau» : Il est de couleur jaune orangée plus ou moins pâle, allant de 3 à 10 cm. Il est de forme convexe puis déprimée sur les extrémités. Sa bordure est irrégulière. Il a une marge enroulée qui devient étalée avec l'âge et de forme ondulée. L'hyménium apparait chez cette espèce sous forme de plis décurrents fourchus, concolores ou un peu plus pâles que le basidiocarpe. Sporée ochracée.

Le carpophore ou **basidiocarpophore** : communément appelé « pied » : il a une hauteur allant de 3 à 8 cm et un diamètre de 0,8 à 1,5 cm. Il est concolore au basidiocarpe, de texture charnue, lisse, atténué à la base et s'élargie en hauteur.
La chair de ce champignons est blanc crème. Il donne une odeur fruitée (abricot ou mirabelle) et une saveur douce à un peu piquante.

Habitat :

On trouve généralement cette espèce sous des feuillus et sous des conifères, dans des périodes allant du printemps à l'automne.
Valeur culinaire : bon comestible. (Didier and Christian. 2004).

1.1.2.5. *Cantharellus tubaeformis :*

Cette espèce est communément appelée chantharelle en tube (Photo 11).

Photo 11: *Cantharellus tubaeformis.*

Description :

Le basidiocarpe: Sa couleur va du brun jaune au brun rouillé puis au brun ochracé à maturité. Son diamètre va de 2 à 6 cm. Il est mince et élastique avec une forme ressemblant à un clou lorsque le champignon est jeune et se transformant en un mince entonnoir par la suite, percé en son milieu d'un trou communiquant avec le pied qui est également creux. Il a une cuticule sèche, lisse légèrement pelucheuse avec l'âge, et avec une marge qui reste enroulée assez longtemps puis devient festonnée. L'hyménium apparait sous formes des plis larges, épais, décurrents, irréguliers, espacés et en général ramifiés. Ils sont souvent colorés en jaune vif à l'état jeune, puis jaunâtres et enfin grisâtres pâles en vieillissant.

Elle est extrêmement vénéneuse car elle contient une dizaine de toxines, dont principalement les anatoxines qui détruisent les cellules du foie.

Cette espèce est d'autant plus dangereuse que les premiers malaises ne se manifestent que 48 heures après l'ingestion. Un seul petit carpophore contient une dose mortelle de poison (Bernard Boullard. 1997).

1.2.2. *Omphalotus olearius* :

Cette espèce est communément appelée Clitocybe de l'olivier (Photo 13).

Photo 13 : *Omphalotus olearius.*

Description :

Le basidiocarpe : Allant de 6 à 12 cm, il est de forme sub-globuleux à convexe à l'état jeune, puis devenant étalé et légèrement concave en vieillissant. Il a une cuticule lisse, sèche, ornée de fibrilles brunes incrustées. Couleur typiquement gris beige, mais bien blanche sur les jeunes exemplaires. Les lames de l'hyménium sont d'abord d'un jaunâtre très clair (jaune de buis), devenant rose saumon à maturité, échancrées près du pied. La sporée est rose pâle.

Le carpophore : Il a une hauteur allant de 6 à 15 cm avec un diamètre de 0,8 à 1,5 cm. Il est très robuste, élancé mais épais et dur ; et est très souvent irrégulier, courbé et bosselé. Il ne porte pas d'anneau. Il est de couleur blanche.

La chair de ce champignon dégage à l'état frais une bonne odeur de farine.

Habitat :

Cette espèce pousse de juillet à octobre, en touffes sur les bois morts de châtaigniers, oliviers et chênes. Elle provoque une pourriture blanche et peut être facilement confondu avec le clitocybe nébuleux.

Cette espèce est très toxique et provoque des troubles gastro-intestinaux pouvant être sévères, accompagnés de vertiges, et de quelques désordres nerveux et des troubles cardiaques (bradycardie, hypotension) ou neurosensoriels (myosis, agitation, confusion) (Jean-Louis and Jean-Marie. 2005).

1.2.3. *Paxillus involutus* :

Cette espèce est communément appelée Paxille enroulé (Photo 14).

Photo 15: *Agaricus bisporus.*

Ces champignons ont été cultivés pour la première fois dans le potager du roi Louis XIV vers 1670 et les shiitakes appelés aussi champignons parfumés pour l'extrême Orient qui ont été cultivés depuis 1200 environ.

Les champignons de couche et les pleurotes se cultivent sur un substrat ligno-cellulosique brut. La truffe qui est cultivée surtout en Chine a besoin d'une plante hôte qui doit être inoculée et transplantée dans un milieu favorable (Peter. 2003).

2.1. La culture des champignons de couche ou champignons de Paris : (Photo 16).

Photo 16 : champignons de Paris.

2.1.1. Culture sur potager :

La culture du champignon de couche est d'origine française et date d'environ 1670. Grâce aux recherches poursuivies depuis plusieurs décennies la production c'est largement améliorée.

Le substrat est à base de fumier de cheval ou de déchets organiques comme la paille, on l'enrichit ou on le rééquilibre selon un cahier des charges très précis.

Le compostage biologique est réalisé en deux phases:

- Fermentation en tas avec retournement.
- Fermentation contrôlée en chambre de pasteurisation.

Pour ces secondes phases le compost peut être traité en tas ou en caisses, il doit être hautement nutritif et spécifique pour les champignons de couche.

L'inoculation s'effectue à partir de blanc produit dans des laboratoires, il se trouve sous forme de plaquette. Le mélange est alors mis en sacs ou en caisses, l'envahissement du mycélium s'effectue en chambre d'inoculation à 24 °C. Lorsque le substrat est complètement envahi, on procède au recouvrement avec une terre dite de gobetage, nécessaire à la fructification. Les sacs sont ensuite amenés dans des caves ou dans d'anciennes carrières aménagées, la température doit être de 16°C, sans lumière avec une humidité saturée et une très bonne aération. La récolte dure de 8 à 12 semaines, le substrat peut ensuite servir d'engrais en agriculture. Le champignon de couche est très riche en protéines et pauvre en lipides, il contient de nombreuses vitamines et oligo-éléments. C'est le champignon le plus cultivé, la production mondiale dépasse les 1 400 000 tonnes dont 300 000 tonnes pour la France (photo). (Dai et al 2010).

2.1.2. <u>Culture à grande échelle</u> : (photo17).

Photo 17 : Culture à grande échelle.

Endroit : Pour cultiver des champignons, il faut disposer d'un local sain qui bénéficie d'une température constante comprise entre 10 et 16°C (12°C à 14°C est idéale). Son aération doit être facile à doser sans courants d'air. Les anciennes carrières, caves, sous-sols sont le plus souvent utilisés.

Fumier : Le fumier doit être de préférence chaud. Celui de cheval est le meilleur mais ceux d'âne ou de mulet peuvent être utilisés. On peut additionner 1/3 de fumier de mouton à condition que le mélange soit bien homogène. Le fumier doit être bien imprégné d'urine et de crottin, les autres fumiers sont à proscrire.

Préparation du fumier : C'est un point capital, pour obtenir une fermentation correcte, il faut traiter au moins 1 m^3 de fumier à la fois. Faire un tas d'un mètre de haut en couche successives, en secouant énergiquement le fumier pour déliter les mottes et obtenir un mélange parfait des parties sèches et humides. Battre chaque couche avec le dos de la fourche pour tasser la couche. Après avoir terminé le tas tasser énergiquement puis arroser copieusement.

Fermentation : La fermentation fait rapidement monter la température dans des chambre de pasteurisation pu de grandes étuves, il faut la contrôler avec un thermomètre spécial, après 4 ou 5 jours elle doit atteindre 70 ° environ. Lorsqu' elle commence à redescendre après 6 à 8 jours le fumier est bon pour la première retourne.

Cette opération consiste à démolir le tas pour le reconstruire de la même façon en plaçant sur les bords ce qui était au centre et réciproquement. Bien secouer le fumier et arroser modérément les parties paraissant sèches. La fermentation repart un peu moins fort en suivant la même courbe, montée en température puis descente, un second retournement peut être nécessaire mais le plus souvent le fumier est près après 6 à 8 jours.

Les caractéristiques de fumier préparé sont alors :
- Absence de l'odeur d'ammoniaque qui devient une odeur de champignon.
- La paille qui présente un aspect huileux, elle se brise facilement.

A ce stade le fumier est prêt, il faut l'employer sans délai (Akavia et *al.* 2009).

2.1.3. La culture traditionnelle : (voir photo 18).

Confection des meules :

Les meules sont formées en dos d'âne de 50cm de base et de hauteur ou accotées contre un mur. Il faut monter les meules en petites couches successives en tassant fortement, puis peigner les meules avec la fourche pour rendre la meule bien régulière. Une autre solution est de mettre le fumier dans des caisses d'une vingtaine de centimètre de haut. Ces caisses peuvent avoir des pieds et être empilables pour gagner de la place. Laisser ensuite au repos en contrôlant la température interne, si elle dépasse 30 ° il faut faire quelques trous avec un bâton pour évacuer la chaleur. Quand la température se stabilise entre 20 et 25 °, le fumier est prêt à être ensemencé.

Ensemencement :

Cette opération appelée aussi 'lardage' consiste à insérer sous la meule le blanc de champignon. Diviser les plaquettes de blanc en tablettes de 4x4 cm (les 'mises') et placer parallèlement à la surface de la meule en les enfouissant de 3 à 4 cm. Chaque ligne espacée des autres de 20 cm sont montées en quinconce, en caisse on peut rapprocher les lignes à 15 cm.

Dix jours après l'ensemencement les 'mises' doivent commencer à émettre des filaments blancs dans le fumier, remplacer celles qui ne manifesteraient pas de signes de reprise.

Après 8 à 10 jours le blanc doit avoir envahi toute la meule. Retirez alors les mises et les jeter, elles ne sont plus utiles. Retisser la meule à la main en lissant les flans.

Gobetage :

Cette opération consiste à recouvrir d'une couche uniforme de 2cm la meule d'un mélange terreux spécial. Les champignonnistes emploient la pierre de carrière broyée, mais on peut utiliser une terre argilo-sableuse ou du sable argileux additionné de 10% de plâtras broyés. On peut aussi incorporer 10% de tourbe horticole. Ces matériaux tamisés sont humidifiés sans excès. Une excellente précaution consiste à les débarrasser d'éventuels germes de maladies en additionnant l'eau de 2 litres d'extrait d'eau de javel à 50° Baumé par mètre cube de terre. Le mélange est utilisable quelques jours après la désinfection. La réalisation du gobetage demande un petit tour de main, il faut projeter la terre sur les flans de la meule puis immédiatement tasser sans excès. On commencera par le bas en remontant vers le sommet. Le plus souvent on utilise une pelle en bois ou une truelle pour faire cette opération mais on peut aussi utiliser une planche pour tirer la terre vers le sommet de la meule. Le gobetage est beaucoup plus simple pour la culture en caisse où il suffit d'étaler le mélange. Lorsque la terre semble sèche, arroser légèrement en utilisant un arrosoir avec une pomme fine pour éviter les risques de ruissellement (Bram. 2007).

Récolte :

Le délai avant récolte est variable en fonction de la saison, la température, les champignons commencent à apparaitre un mois après le gobetage. Cueillir régulièrement, dès que le bord du chapeau commence à se décoller du pied. Opérer délicatement en appliquant un mouvement de rotation pour détacher le champignon de sa base. Reboucher les trous avec de la terre à gobetage, la récolte peut durer 3 mois (Lindequist et *al.* 2010).

Photo 18 : La culture traditionnelle des champignons.

2.2. La culture des pleurotes :

La culture des pleurotes date des années 1970 en Europe alors qu'en Asie en particulier au Japon cette culture est connue de longue date, elle est souvent considérée plus simple à réaliser que la culture des champignons de couche. Les pleurotes sont cultivés sur de la paille humidifiée enrichie par un additif azoté puis rapidement pasteurisée entre 60° et 70°. Le support peut être préparé en 3 à 4 jours au lieu d'une vingtaine de jour pour les champignons de couche. Il existe de nombreuses variétés, on en trouve des gris, jaunes, roses, ardoise, brun etc. L'incubation mycélienne s'effectue en 15 à 20 jours de façon à ce que la température dans le substrat n'excède pas 27 (Sánchez. 2010).

Les pleurotes ont besoin de lumière pour fructifier, il faut adapter la température en fonction de la souche utilisée, par exemple 10° à 14° pour les pleurotes ostreatus alors qu' ' il faut 18° à 20° pour les pleurotes cornucopiae. La fructification a lieu en 8 à 15 jours après la fin de l'incubation, la récolte peut durer 1 à 4 mois.

La culture s'effectue en sacs de 20 kg fermés après l'ensemencement, puis empilés les uns sur les autres ou mis sur des étagères.

Les pleurotes roses et jaunes peuvent facilement être cultivées en amateur dans un jardin ou dans un local non chauffé, sur de la paille ou de sciure. Par contre la production restera irrégulière (Sánchez. 2010).

Discussion et Conclusion

Les mycètes se divisent en trois groupes principaux : les champignons développés communément appelés «champignons macroscopiques», les moisissures ayant une structure mycélienne et les levures qui sont de forme unicellulaire.

Les champignons auxquels nous nous sommes intéressés dans ce travail appartiennent aux basidiomycètes et aux ascomycètes, ils sont caractérisés par un basidiocarpe ou ascocarpe, selon les espèces ; ce dernier est communément appelé « le chapeau » et par un carpophore, communément appelé « le pied ».

Selon leurs utilisations culinaires, on peut les diviser en trois catégories principales :

1- Les champignons savoureux utilisés comme éléments principaux des plats cuisinés ; au même titre que les autres végétaux (légumes et fruits).
2- Les champignons utilisés comme condiment, leur rôle n'est pas de constituer un plat, mais seulement d'en relever le goût.
3- Les champignons toxiques qui sont pour la majorité mortels, même s'ils ont des odeurs savoureuses et agréables.

Cette différenciation est en réalité basée sur la constitution elle même des champignons. En effet, certains ont les enzymes nécessaires pour la production d'un grand nombre de molécules aromatisantes comme *Agaricus bisporus* qui est muni d'une tréhalose phosphorylase, une quinone oxydoréductase et une pyranose déshydrogénase [Wannet et al. 1999, Volc et al. 2001]. Tandis que d'autres, comme *Amanita phaloïdes,* ont plutôt la caractéristique d'avoir plusieurs voies de biosynthèse aboutissant à la formation de toxines. Les plus importantes, étant les anatoxines, l'alpha-amanitine et L-aminoacide oxydase (Stasyh et *al.* 2010, Magdalan et *al.* 2010).

En temps normal, ces champignons sont cueillis des forêts et prairies. Mais certains, considérés comme étant les plus utilisés, sont cultivés afin d'augmenter leur disponibilité.La culture est alors réalisée de trois manières :

- Sur potager pour avoir de faibles quantités généralement pour une seule famille.
- Culture traditionnelle dans des dos d'ânes, pour avoir des quantités suffisantes pour la commercialisation locale.
- Culture à grand échelle, qui se fait dans de grands locaux et permettant d'avoir des tonnes de champignons prêts à une grande commercialisation (généralement internationales).

D'après plusieurs recherches, nous sommes arrivés à déterminer les intérêts de l'utilisation des champignons en industrie alimentaire. En effet, ces derniers sont caractérisés par leur faible valeur énergétique (calorique) et par leur richesse en vitamines et minéraux (Weil et *al.* 2006, Mattila et *al.* 2001). Selon les besoins, nous pouvons trouver différents champignons riches en vitamine A, vitamines du groupe B, vitamine C, manganèse, sélénium ...etc. (Frengova and Beshhova. 2009, Jeong et *al.* 2010).

Comme conclusion de ce travail, nous pouvons dire que les champignons représentent un groupe très vaste des mycètes. De ce fait, ils peuvent avoir différentes caractéristiques culinaires qui permettent de les classer en produits comestibles (savoureux et/ou condiments) ou toxiques.

Le grand intérêt de l'utilisation des champignons est leur facilité de culture ainsi que leur valeur nutritive : ils peuvent être cultivés selon différentes méthodes et sans aucune exigence particulière, si ce n'est la température et l'humidité. Pourtant, ils représentent une grande source nutritive riche en oligoéléments, en vitamines et en minéraux. Les autres champignons non cultivés mais plutôt cueillis représentent le plus grand pourcentage des espèces utilisés en industrie alimentaire. Comme tous les autres mycètes (moisissures et levures), ils sont reconnus

grâce à leur morphologie. D'où l'intérêt de bien caractériser une espèce avant son utilisation car le risque serait alors de tomber sur une espèce toxique, voire mortelle.

Références bibliographiques

Références bibliographjques :

Akavia E; Beharav A; Wasser S.P; Nevo E. 2009. 29:(5):1622-7. Disposal of agro-industrial by-products by organic cultivation of the culinary and medicinal mushroom Hypsizygus marmoreus. Waste Manag.

Alain Branger; Marie-Madeleine Richer; Collectif; Sébastien Roustel. 2007. Microbiochimie et alimentation. Éducardier edition.

Amaral P.F; Coelho MA; Marrucho IM; Coutinho JA. 2010. 672:236-49.Biosurfactants from yeasts: characteristics, production and application. Adv Exp Med Biol.

Anonyme. 1992:24-25.Transformation et Valorisation des Dattes et Sous-produits des Dattes, Symposium de la Datte.

Aponte M ; Pepe O; Blaiotta G. 2010. 93:(6):2358-61.Short communication: Identification and technological characterization of yeast strains isolated from samples of water buffalo Mozzarella cheese. J Dairy Sci.

Axel Ghestem; Michel Botineau. 2007. Limousin, terre de champignons. Pulim.

B. Botton ; A Breton ; M Fevre ; S Sauthier ; Ph. Guy ; J.J Sanglier,Yvayssier, P Vean. 1990: 352. 2e édition Masson.

B. Botton ; A. Breton; M. Fevre; S Sauthier; Ph Guy, J.J Sanglier; Yvayssier; P Vean. 1990: 357. 2e édition Masson.

B. Botton; A Breton; M Fevre ; S Sauthier; Ph. Guy; J.J. Sanglier; Yvayssier; P Vean. 1990: 353. 2e édition Masson.

B. Botton; A. Breton; M. Fevre; S. Sauthier; Ph. Guy; J.J. Sanglier; Yvayssier; P Vean. 1990: 351. 2e édition Masson.

Bernard Boullard. 1997. Dictionnaire : Plantes et Champignons.

Bram van Nieuwenhuijzen. AD41F 2007 Culture à petite échelle de champignons – 2.

Cushion M.T; Stringer J.R. 2010.Stealth and Opportunism: Alternative Lifestyles of Species in the Fungal Genus Pneumocystis. Annu Rev Microbiol.

Dai Y.C; Zhou L.W; Cui B.K; Chen Y.Q; Decock C. 2010. Current advances in Phellinus sensu lato: medicinal species, functions, metabolites and mechanisms. Appl Microbiol Biotechnol.

David L. 2009. Spahr. Edible and Medicinal Mushrooms of New England and Eastern Canada. North Atlantic Books.

Didier Borgarino; Christian Hutado. 2004:121. Le guide pratique des champignons.edisud.

Didier Borgarino; Christian Hutado. 2004:204. Le guide pratique des champignons.edisud.

Didier Borgarino; Christian Hutado. 2004:95. Le guide pratique des champignons.edisud.

Donalies U.E; Nguyen H.T; Stahl U; Nevoigt E. 2008.111:67-98. Improvement of Saccharomyces yeast strains used in brewing, wine making and baking. Adv Biochem Eng Biotechnol. Review.

Erten H; Tanguler H. 2010.50:(5):474-9.Influence of Williopsis saturnus yeasts in combination with Saccharomyces cerevisiae on wine fermentation. Lett Appl Microbiol.

Fai P.B; Grant A. 2009. 75:(3):289-96.A comparative study of Saccharomyces cerevisiae sensitivity against eight yeast species sensitivities to a range of toxicants. Chemosphere.

Frédéric Hugot ; jean-Claud Vidal ; Nicolas Maset ; Jean-Paul Labourdette ; Dominique Auzias ; Delphine Cohen ; René Lepoultier. 2008. Le petit futé Aveyron. Edition du castelet.
Gérard Houdou. 2004:46. Le grand livre des champignons.

Gregory Michael Mueller; Gerald F. 1961. Bills Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods.

Hata S; Kobae Y; Banba M. 2010.281:1-48. Interactions between plants and arbuscular mycorrhizal fungi. Int Rev Cell Mol Biol.

Hibbett D.S; Gilbert LB; Donoghue MJ. 2000.407:(6803):506-8.Evolutionary instability of ectomycorrhizal symbioses in basidiomycetes. Nature.

Holmes-Hampton G.P; Miao R; Garber Morales J; Guo Y; Münck E; Lindahl PA. 2010.18;49(19):4227-34. A nonheme high-spin ferrous pool in mitochondria isolated from fermenting Saccharomyces cerevisiae. Biochemistry.

Isola M; Isola R; Lantini MS; Riva A. 2009. 47:(3):260-4. The three-dimensional morphology of Candida albicans as seen by high-resolution scanning electron microscopy. J Microbiol.

Jean-Louis Lamaison; Jean-Marie Polèse. 2005:303. Encyclopédie visuelle des champignons. Artémis.

K. Helena ; W. Rynowicz ; Y. Linkoy ; P. Linko. 1992. 12:(3):383-392. Utilisation de la Mélasse de Betterave à Sucres pour la Production d'Acide Citrique par Fermentation, Sciences des Aliments.

Lee S.C, Ni M, Li W, Shertz C, Heitman J. 2010. 74:(2):298-340. The evolution of sex: a perspective from the fungal kingdom. Microbiol Mol Biol Rev.

Lindequist U; Rausch R; Füssel A; Hanssen H.P. 2010. 33:(2):40-8. Higher fungi in traditional and modern medicine. Med Monatsschr Pharm.

Madelin M.F; 1966. The fungus spore. Butterworths Ed. London.

Mme Marie- France Roquebert Professeur. 1997. Les moisissures : nature, biologie et contamination. Muséum national d'histoire naturelle.

Neira K; Jeison D. 2010. 61:(5):1129-35. Anaerobic co-digestion of surplus yeast and wastewater to increase energy recovery in breweries. Water Sci Technol.

Niu W; Li Z; Zhan W; Iyer V.R; Marcotte E.M. 2008. 11:4:(7):e1000120. Mechanisms of cell cycle control revealed by a systematic and quantitative overexpression screen in S. cerevisiae. PLoS Genet.

Noda Y; Yoda K. 2010. 14:285:(20):15420-9. Svp26 facilitates endoplasmic reticulum to golgi transport of a set of mannosyltransferases in Saccharomyces cerevisiae. J Biol Chem.

Paulovicová E; Bystrický S; Machová E; Bujdáková H. 2008. 53:(3):421-8.Immune responsiveness of a novel peptidoglycan conjugate prepared from surface Candida immunogens: mannan and CR3-related protein. FEMS Immunol Med Microbiol.

Peter Oei. 2003. La culture des champignons, Gret.

Pierre Boisard. 2007 :88. Le camembert, mythe français. Odile Jacob. Pulim.

Richard Dickinson; Michael. 2004. Molecular organisation and biogenesis of the cell wall.

S Alonso; Arévalo-Villena M; Ubeda J; Briones A. 2010. Study of Starch Degradation by Yeasts During Fermentation for Using in Animal Feed. Appl Biochem Biotechnol.

Samson R.A.; Hoekstra E.S. 1988. Introduction to food. borne fongi. CBS Ed.

Sánchez C. Cultivation of Pleurotus ostreatus and other edible mushrooms. Appl Microbiol Biotechnol. 2010. 85:(5):1321-37.

Skouri-Gargouri Gargouri. 2008. 29:(11):1871.First isolation of novel thermostable antifungal peptide secreted by Aspergillus clavvatus.pptides.

Spor A; Nidelet T; Simon J; Bourgais A; de Vienne D; Sicard D. 2009. 22:9:296. Niche-driven evolution of metabolic and life-history strategies in natural and domesticated populations of Saccharomyces cerevisiae. BMC Evol Biol.

Steve Trudell; Joe Ammirati. 2009:176-177. Mushrooms of the Pacific Northwest: Timber Press Field Guide.

Suárez Valles B; Pando Bedriñana R; González García A; Querol Simón A. 2007. 103(4):778-86. A molecular genetic study of natural strains of Saccharomyces isolated from Asturian cider fermentations. J Appl Microbiol.

Tedersoo L; May T.W; Smith M.E. 2010. 20:(4):217-63. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. Mycorrhiza.

Z. Benyahia. 1992:33. Amélioration du Rendement de Production de l'Acide Citrique par Aspergillus Niger, Mémoire d'Ingénieur, USTHB,

TITRE : Utilisation des champignons en industrie alimentaire.

Résumé :

Les champignons sont des mycètes macroscopiques, ils se caractérisent par un basidiocarpe en forme de chapeau et un basidiocarpophore en forme de pied. Selon leur utilité en industrie alimentaire, on peut les diviser en deux groupes principaux : les champignons comestibles et les champignons toxiques.

Ces champignons sont en temps normal directement cueillis et utilisés. Néomoins certains, nécessitent d'être cultivés afin d'agrandir leur biodisponibilité comme c'est le cas d'*Agaricus bisporus.* Leur culture se fait alors sur potager, de manière traditionnelle sur des dos d'ânes ou dans de grands espaces ; on parle alors de culture à grand échelle.

Le grand intérêt de l'utilisation des champignons en industrie alimentaire est leur richesse en vitamines, minéraux, oligoéléments et leur pauvreté calorique.

Mots clés : les champignons, définition des champignons, caractérisation des champignons, principaux espèces des champignons, culture des champignons, utilisation alimentaire des champignons

Abstract :

Mushrooms are macroscopic fungi. They are characterized by a basidiocarpe as a hat and a basidiocarpophore as a stalk. According to their use in the alimentary industry, we can devise them into two main groups: comestibles and toxic mushrooms.

Normally,mushroom are directly picked and used. Nevertheless, some ones necessitate being cultivated to enlarge their bioavailability. The best example here is *Agaricus bisporus.* Their culture is so realized in kitchen garden, by traditional manner on reversed bumps or in big spaces; this is called culture en grand scale.

The big interest of the mushroom's use in the alimentary industry is their wealth on vitamins, minerals, oligoelements and their caloricic poverty.

Keywords: mushroom, definition of mushroom, characterization of mushroom, principal species of mushroom, culture of mushroom, alimentary use of mushroom.

ملخص:

الفطريات هي عبارة عن ميسيليومات ماكروسكوبية. ,إنها تتميز بوجود بازيديوكارب في شكل قبعة وبازيديوكاربوفور في شكل رجل.على حساب أهميتها في الصناعة الغذائية, يمكن تقسيمها إلى مجموعتين رئيسيتين :الفطريات التي يمكن أكلها والفطريات السامة.

هذه الفطريات في الوقت العادي تنتقى وتستعمل مباشرة.ومع دلك البعض تتطلب زراعتها لكي يتسع وجودها الحيوي وأحسن مثال على دلك:*Agaricus bisporus*. زراعتها تتم في الحديقة، على الطريقة التقليدية على نتوءات معكوسة ا وعلى مساحات واسعة:نتكلم إذا عن زراعة واسعة المقام.

الفائدة الكبرى من استعمال الفطريات في الصناعة الغذائية هي وفرتها بالفيتامينات، المعادن،العناصر القلوية إضافة إلى فقرها من السعر الحرارية.

الكلمات المفتاحية: الفطريات، تعريف الفطريات، مميزات الفطريات، الأنواع الرئيسية للفطريات،زراعة الفطريات، الاستعمال الغذائي للفطريات.

Date de soutenance : 29/06/2010