

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/2021



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Présenté par :

Merzouk Amina & Hamoudi louiza

Thème

**Synthèse bibliographique des principaux microorganismes
exploités en industrie agroalimentaire**

Soutenu le: 14/07/2021

Devant le jury composé de

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
Mme Ammouche	MAA	Univ. de Bouira	Président
Mme Iazzourene	MCB	Univ. de Bouira	Promotrice
Mme Moudache	MCB	Univ. de Bouira	Examinatrice

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement

Nous remercions en premier lieu, Allah le tout-puissant, de nous avoir donné le courage et la confiance en nous-mêmes pour pouvoir mener à terme présent travail.

Nous remercions notre promotrice **Madame IAZZOURENE** , pour nous avoir fait l'honneur de nous confier la réalisation de ce sujet et nous avoir permis de travailler sous sa responsabilité en nous guidant et nous encourageant, et aussi qui nous a guidé et aidé durant la réalisation de ce mémoire qu'elle trouve dans ces mots l'expression de nos vifs remerciements.

J'exprime aussi mes sincères reconnaissances à tous mes enseignants de L'SNV pour leurs efforts fournis durant toute la période d'étude ainsi qu'à tous ceux qui ont collaboré d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce travail .

Enfin, nous remercions, tous ceux qui de près ou de loin , ont contribué à la réalisation de ce travail .

Dédicace

Je dédie ce travail à Mes chers parents :

Ma chère Mère pour l'affection et l'amour qui m'ont donné le courage et la force dans les moments les plus difficiles.

Mon très cher père pour son soutien moral et ses conseils les plus précieux qui m'ont servi dans ma vie et son encouragement sans limite

À ma très chère sœur Chahinaz.

À mes sœurs Rabah et Zouhir.

À mon grand-père et ma grand-mère.

À Toute ma famille, surtout ma tante Nora.

À tout mes amis et mes collègues.

Amina

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Houria.

A mon père Louanes l'école de mon enfance, qui a été mon ombre durant

Toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie

À m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les garde et les protège.

A mes très chères sœurs Fatima, Djamila et ses petits Mohamed, Amel, Nina, Riade, et Basma.

A mes chère frères Hakim, Azzedine, Said, Mouloud, Djilali, Ali que dieux vos protège.

A tout la famille Hamoudi, surtout ma tante Dalila, ainsi que la famille Balgaceme.

A tout mes amies surtout Marwa.

A tous ceux que j'aime et tout la promotion 2021.

LOUIZA

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	1
Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Les bactéries lactiques	
1. Généralités.....	2
2. Découverte des bactéries lactiques.....	2
3. Définition	2
4. Classification des BL.....	3
5. Caractérisation des principaux genres des bactéries lactiques.....	4
5.1. Le genre <i>Lactobacillus</i>	4
5.2. Le genre <i>streptococcus</i>	5
5.3. Le genre <i>Enterococcus</i>	5
5.4. Le genre <i>Lactococcus</i>	6
5.5. Le genre <i>Pediococcus</i>	6
5.6. Le genre <i>Leconostoc</i>	7
5.7Le genre <i>Bifidobacterium</i>	7
6. Intérêt des bactéries lactiques dans le domaine alimentaire.....	7
7. Application industrielle des BL.....	9
8. Facteurs qui influencent la croissans des BL.....	10
Chapitre II : Les champignons	
I.Les levures.....	12
1. Définition.....	12
2. Caractères des leveurs.....	13
3. Classification.....	14
3.1. Levures <i>Ascomycètes</i>	14
3.2. <i>Basidiomycètes</i>	14
3.3.Levures <i>Deutéromycètes</i>	14
4. Physiologies et croissance	16
4.1. Besoin nutritif.....	16
4.2 Conditions de croissances physico-chimiques.....	17

5. Intérêt des levures dans l'industrie agro-alimentaire	18
5.1. Panification	18
5.2. Produits laitiers.....	19
5.3. Affinage des fromages.....	19
5.4. Boissons alcoolisées.....	20
II. Les moisissures.....	21
1. Généralités.....	21
2. Les principales moisissures.....	21
2.1. Le genre <i>Penicillium</i>	21
2.2. Le genre <i>Aspergillus</i>	22
2.3. Le genre <i>Fusarium</i>	23
2.4. Le genre <i>Mucorales</i>	23
3. Facteurs de développement.....	24
3.1. La température.....	24
3.2. L'humidité.....	24
3.3. Le PH.....	25
3.4. La composition gazeuse (oxygénation).....	25
3.5. Les interactions.....	26
4. Rôle des moisissures	26
4.1. Actions bénéfiques des moisissures dans l'industrie alimentaire.....	26
Chapitre III : Des exemples sur les principales souches des microorganismes utilisés dans l'industrie agroalimentaire	
1. <i>Sterptococcus thermophilus</i>	29
2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	30
3. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
4. <i>Penicillium camemberti</i>	34
Conclusion	35
Référence bibliographique	

Liste des abréviations

AND: Acide Désoxyribonucléique.

ADNr: Acide désoxyribonucléique ribosomique.

ARNr : Acide Ribonucléique messenger.

BL : Bactéries lactiques.

CO2: Dioxyde de Carbone.

C°: Degré Celsius.

EMP: D'Emden-Meyerhof-Parnas.

En: Enterococcus.

Eps: Exopolysacchrides.

Gram + : Gramme positive.

Gram - : Gramme négative.

G+C: Guanine+ Cytosine.

Lb : Lactobacilles.

Lc: Lactococcus.

MRS: de Man-Rogosa et Sharp.

Na Cl : Chlorure de sodium.

PCR: Polymérase Chain réaction.

PFGE: Pulsed-Field Gel Electrophoresis.

PH: Potentiel d'hydrogène.

PP: pentose phosphate.

RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphisme.

Sc : Streptococcus.

Listes des figures et des tableaux

Figure 1 :	Distance phylogénétique entre le principal genre constituant les bactéries lactiques basé sur la séquence des ARNr 16s.....	4
Figure 2 :	Présentation d'une cellule de levures.....	13
Figure 3 :	Schéma d'un pénicille.....	22
Figure 4 :	Schéma d'un Principaux caractères morphologiques des <i>Aspergillus</i>	22
Figure 5 :	Observation microscopique de l'appareil de Fusarium.....	23
Figure 6 :	Appareil reproducteur des mucorales.....	24
Tableau 1 :	Classification des levures.....	15

INTRODUCTION

Introduction

De nombreux produits de consommation quotidienne sont élaborés grâce à l'activité précieuse et importante de microorganismes tels que les fromages, les yaourts et les produits laitiers fermentés. Aussi les boissons alcoolisées sont élaborées grâce à l'activité de fermentation des levures et mettent en jeu une importante activité industrielle.

Les produits alimentaires doivent être présentés sous une forme saine et salubre aux consommateurs. Aussi, les microorganismes jouent un rôle important en industrie alimentaire. Il faut noter avant tout que le conditionnement de tels produits met en jeu d'énormes investissements. Les industries de conservation, de congélation et de conservation à sec des aliments doivent être ainsi maîtriser afin d'éviter toute détérioration de ces produits durant le stockage et jusqu'à la consommation.

Toutes ces applications des microorganismes en industrie agro-alimentaire sont très anciennes. Actuellement, l'activité des microorganismes est sollicitée pour l'élaboration de boissons douces et diététiques, tels le fructose produit par dégradation de l'amidon de maïs par des microorganismes, l'aspartame, constitué par la combinaison de deux acides aminés obtenus par un procédé microbiologiques et enfin ; l'acide citrique, largement utilisé pour avoir un goût relevé et de la saveur, est élaboré par un champignon.

Cependant les bactéries, les levures, ainsi que les moisissures sont utiles et nécessaires pour la fabrication de certains aliments. Différents procédés, qui utilisent les microorganismes dans l'alimentation, existent. Dans le cadre de notre projet, nous nous intéresserons uniquement à la fermentation. **(WWW. Magazinescience-com. Cdn. Ampproject. Org).**

L'objectif de notre travail est de réaliser une synthèse bibliographique sur les principaux microorganismes utilisés en industrie agroalimentaires et leurs rôles. Cette étude a été scindée en trois parties :

Le premier chapitre concerne les bactéries notamment lactiques et leur intérêt dans le domaine alimentaire. Le deuxième chapitre porte sur les champignons et leur rôle dans l'industrie agroalimentaire. Enfin le troisième chapitre qui consiste à une étude bibliographique des principaux genres des microorganismes les plus utilisés à l'échelle industrielle dans le domaine alimentaire.

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Les bactéries lactiques

1. Généralités

Les bactéries lactiques forment un groupe hétérogène composé de coques et de bacilles, dont la principale caractéristique est la production d'acide lactique à partir de la fermentation des sucres. Non pathogènes, ces bactéries à coloration de gram positive (Gram+) ont un métabolisme anaérobie facultatif et ne produisent pas de catalase. Leur utilisées également dans la fabrication des aliments comme les fromages, les boissons fermentées, le pain, les produit litières ect. **(Anonyme, 2000).**

Les BL sont très fréquentes dans la nature. Elles sont ubiquistes et on les trouve dans différentes niches écologiques. Elles se trouvent généralement associées à des aliments riches en sucres simples. Elles peuvent être isolées, des produits laitiers, du poisson fermenté, des eaux usées. **(Konig et Frohlich, 2009).**

2. Découverte des bactéries lactiques :

Le terme bactéries lactiques est intimement associé aux bactéries impliquées dans la fermentation des aliments pour l'homme et l'animal. La première culture pure était des *Bacterium lactis* probablement des *Lactococcus lactis*, obtenu par Lister en 1873. Historiquement, les premiers germes à être décrits sont : *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus* ; les genres ci-après : *Aerococcus*, *carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella* sont considérés comme les principaux bactéries lactiques du point de vue technologique **(Guiraud, 2003 ; Limsowtin et al., 2004).**

3. Définition

Les BL sont responsables de la fermentation des produits alimentaires ; c'est pourquoi on les appelle aussi « ferments lactiques ». Il s'agit de souches de bactéries non pathogènes ou non toxigène qui sont à la base des fermentations des produits laitiers et carnés crus **(Guiraud, 1998 ; Garry et Guern, 1999).**

4. Classification des bactéries lactiques

Traditionnellement, les BL ont été classées sur la base des caractères phénotypiques : la morphologie, le type de fermentation du glucose, la croissance à différentes températures, l'isomère de l'acide lactique produit et la fermentation des différents hydrates de carbone (**De Roissart et Luquet, 1994 ; Holzapfel et al., 2001**). La première classification des bactéries lactiques a été établie en 1919 par Orla-Jensen sur divers critères morphologiques et physiologiques (activités catalase et nitrite réductase, type de fermentation) (**Stiles et Holzapfel, 1997**). Cependant, les études basées sur la comparaison des séquences de l'ARN ribosomal 16S ont montré que certains taxons générés sur la base de la caractérisation phénotypique ne concordent pas avec les relations phylogénétiques suggérées. (**Gevers, 2002**). Par conséquent, les méthodes de typage moléculaire telles que l'électrophorèse en champ pulsé (PFGE), la réaction de polymérisation en chaîne utilisant des éléments répétés (rep-PCR), ainsi que les Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) sont extrêmement précieux pour la caractérisation et la détection des BL (**Holzapfel et al., 2001**).

Sur la base des données de séquençage de 16S et 23S de l'ADNr, les bactéries Gram positives forment deux embranchements (figure 1). Un embranchement composé de bactéries Gram positives avec un pourcentage G+ C inférieur à 50% (*Clostridium*) et un autre formé de bactéries ayant une teneur en G+C supérieure à 50% (Actinomycètes) (**Holzapfel et al., 2001 ; Gevers, 2002**). Les BL typiques ont une teneur en G+C inférieure à 50% alors que le genre *Bifidobacterium* qui, d'un point de vue physiologique, fait partie des BL, appartient à la branche des Actinomycètes qui comprend aussi *Propionibacterium* et *Brevibacterium* (**Vandamme et al., 1996**). Il y a peu de corrélation entre la classification traditionnelle et la parenté phylogénétique des BL. Des genres morphologiquement distincts, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* et *Pediococcus* sont phylogénétiquement entremêlés (**Schlefer et Ludwig, 1995 ; Gevers, 2002**).

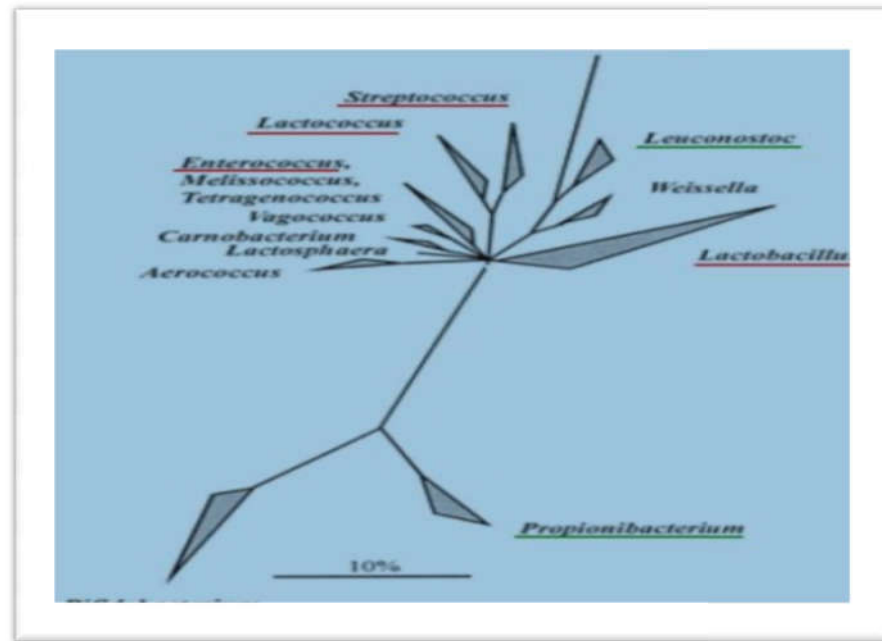


Figure 1 : Distance phylogénétique entre le principal genre constituant les bactéries lactiques basé sur la séquence des ARNr 16s (Schleiter et Ludwig, 1995).

5. Caractéristiques des principaux genres de bactéries lactiques

5.1. Le genre *Lactobacillus*

Le genre *Lactobacillus* c'est les plus importantes bactéries dans l'industrie alimentaire, plusieurs espèces de ce genre sont utilisées comme ferments dans la biopréservation des aliments (produits laitiers, boissons alcooliques...). Elles sont de plus exploitées comme probiotiques. Les *lactobacilles* se présentent en forme de bâtonnets (parfois incurvés) ou en coccobacilles, isolés ou groupés en chaînes (quelque fois très longues), représentés par l'espèce type *Lactobacillus delbrueckii*, sont connus pour leur acidophilie (PH optimal entre 5.5 et 6.2 mais peuvent tolérer des PH allant de 3 à 8) et pour leur aptitude de croissance dans un large spectre de températures allant de 2°C à 53°C (de Roissant et Luquet, 1994 ; Salvetti et al., 2012).

Les *lactobacilles* sont subdivisées en trois sous-groupes, selon le type fermentaire (Salvetti et al., 2012) :

***Groupe I « *Thermobacterium* » :** représenté par les *lactobacilles* homofermentaires obligatoires *thermophiles*. Il est principalement connu par les espèces : *Lb. Helveticus*, *Lb.*

Delbrueckii, *Lb. Acidophilus* ;souvent utilisées en industrie laitière. Ce groupe ne fermente que les hexoses en acide lactique via la voie d'Embden-Meyerhof-Parnas (EMP ou glycolyse).

***Groupe II « *Streptobacterium* » :** comprenant les *lactobacilles* hétérofermentaires facultatifs et mésophiles.

Il connu par les espèces : *Lb. Plantarum*, *Lb.casei*, *Lb. Rhamnosus*, *Lb. Graminis*...., est caractérisé par la capacité à fermenter les hexoses en acide lactique via la voie EMP ; et à dégrader les pentoses et le gluconate par la voie du pentose phosphate (PP).

***Groupe III « *Betabacterium* » :** englobant les *lactobacilles* hétérofermentaires stricts ; les bactéries de ce groupe transforment, exclusivement, les hexoses et les pentoses en acide lactique, éthanol (ou acide acétiques) et CO₂ à travers la voie du phosphogluconate. Il connu des espèces à faible capacité acidifiante (0.5% d'acide lactique) comme : *Lb. Brevis*, *Lb.Buchneri*, *Lb. Fermentum*,ect.

5.2. Le genre *Streptococcus*

Ces bactéries sont Gram positives, en forme de coques (habituellement 1µm de diamètre), groupe en longues chaînes, non mobile. Arrangées souvent par paires ou en chainettes, non sporulantes, la capsule est souvent présente. Elles sont anaérobies facultatives, catalase négatif. Les sucres sont consommés le plus souvent sans formation de gaz. Les *streptococcus* sont cultivés dans le milieu **M17** à un **PH 6,8** (Krzysciak et al., 2013).

Les espèce de ce genre sont : *Sc.Pneumoniae*, *Sc. Salivarius*, *Sc. Thermophilus*.....Ces bactéries sont spécialement caractérisées par une réaction hémolytique sur gélose au sang (Hardie et Whiley, 1997).

5.3. Le genre *Enterococcus*

Le genre *Enterococcus* peuvent croître à **45°C** avec un pourcentage en NaCl égale à 6,5% et un **PH 9,6** dans le milieu MRS. Ce sont des commensaux de l'intestin de l'homme, les espèces rencontrées dans l'alimentation sont essentiellement *En. Faecalis*. Plusieurs études sur la microflore des fromages traditionnels des pays méditerranées ont montré que les entérocoques jouaient un rôle important dans la maturation des fromages, on se trouvés dans l'aliment comme les olives. De nombreuse espèces appartiennent à ce genre comme :

En. Ternitis, En. Haemoperoxidus, En. Roltae, En. Columbae, et En. Dispar (Hardie et Whiley, 1997)

5.4. Le genre *Lactococcus*

Les *lactocoques* se présentent sous forme de coques en paires ou en chaînes de longueur variable. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives homofermentaires ne produisant que de l'acide lactique L(+), leur température optimale de croissance est proche de 30°C, elle capable de se développer à 10°C mais pas à 45°C. Quelques espèces produisent des exopolysaccharides et des bactériocines. Elles sont capables à se développer à 3% de bleu de méthylène et d'hydrolyser l'arginine (Tamime, 2002).

Généralement se développent à 4% de NaCl et à un PH proche de la neutralité, leur croissance s'arrêtant lorsque le PH du milieu atteint 4,5 (Zhang et Cal, 2014).

Le genre *Lactococcus* comprend cinq espèces, *Lactococcus lactis* et l'espèce la plus connue avec ses trois sous-espèces : *Lc. Lactis ssp. Lactis*, *Lc. Lactis ssp. Cremoris* et *Lc. Lactis ssp. Hordniae* (Pot et al., 1996 ; Pot, 2008). Et selon Guiraud 1998, elle représenté l'espèce suivantes : *Lc. Lactis ssp. Cremoris*, *Lc. Lactis ssp. Lactis* et *Lc. Diacetylactis*. La sous espèce *Streptococcus Lactis ssp. Diacetylactis* est remplacé par la sous espèce *Lactococcus Lactis ssp. Lactis*. *Lactococcus lactis* est l'espèce la plus étudiée et la plus fréquemment détectée dans les laits crus (Corroler et al 1998 ; Dalmaso et al., 2008).

5.5. Le genre *Pediococcus*

Ce sont des cellules sphériques, disposées le plus souvent en tétrades et sont rarement isolées. Selon les espèces, la températures de croissance se situent entre 25°C et 40°C. N'ayant pas le pouvoir de métaboliser le lactose, la plupart d'entre elles sont incapables d'acidifier et de coaguler le lait. Ces bactéries se distinguent des autres bactéries lactiques par leur sensibilité à la température, au PH et à la concentration en NaCl et sont représentées par l'espèce type : *Pediococcus damnosus* (Pederson, 1949).

5.6. Le genre *Leuconostoc*

Les cellules de ce genre sont conoïde ou ovoïde, elles se distinguent des autres coques par leur métabolisme hétérofermentaire, ne produisent pas d'ammoniaque à partir de l'arginine et forment à partir du glucose de l'acide lactique de forme D(-). Leur température de croissance entre de 1 à 30°C, avec une température optimale de 25 à 30°C. Il représenté par l'espèce modèle *Leuconostoc mesenteroides* (Bjorkroth et Holzapfel, 2006).

5.7. Le genre *Bifidobacterium*

Ce genre est considéré comme partie du groupe des bactéries lactiques grâce à la similarité de ses propriétés physiologiques et biochimiques et à sa présence dans le même habitat écologique. Les bifidobactéries se caractérisent par leur forme très irrégulière souvent en forme V mais pouvant être coccoides, elle permet de fermenter les hexoses en produisant de l'acide acétique et de l'acide lactique. Leur température de croissance varie de 36 à 43°C

(Pilet et al., 2005).

6. Intérêt des bactéries lactiques dans le domaine alimentaire

L'utilisation des bactéries lactiques pour une application industrielle donnée est déterminée par leurs propriétés fonctionnelles et technologiques. Celles-ci recouvrent les propriétés suivantes : activité acidifiante, propriétés enzymatiques (activité protéolytique, peptidasique et lipolytique), production de métabolites d'intérêt telle que la peroxyde d'hydrogène, les acides organiques et les bactériocines (Belyagoubi, 2014).

6.1. Pouvoir texturant

La capacité des BL à synthétiser des exopolysaccharides (EPS) joue un rôle important pour la consistance et la rhéologie des produits transformés (Welman et Maddox, 2003 ; Ruas-Madiedo et al., 2002). Ces composés polymères sont généralement considérés comme des agents épaississant naturels en industrie alimentaire.

Les *Lb. Delbrueckii ssp. Bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* produisant des EPS sont utilisés en tant que starters fonctionnels dans la fabrication des yaourts, et améliorent la texture, évitent la synérèse et augmentent la viscosité des produits finis (Durlu-Ozkaya et al., 2007 ; Amatayakul et al., 2006).

6.2 Pouvoir aromatisant

Certaines BL sont capables de produire des composés d'aromes qui participent aux qualités organoleptiques des fromages. La plupart des composés d'arome sont issus du métabolisme du citrate : l'acétoïne et le diacétyl sont les plus importants (**Tamime, 1990**). La production de diacétyl est généralement associée à la fermentation du citrate (**Vignola, 2002**). Les lactobacilles (*Lb. Helveticus*, *Lb. Bulgaricus*) synthétisent de l'acétaldéhyde. La teneur en acétaldéhyde est à la fois fonction de son degré synthèse et du rythme de sa dégradation (**Vignola, 2002**).

6.3. Pouvoir acidifiant

La fonction acidifiante constitue la propriété métabolique la plus recherchée des BL utilisées dans l'industrie alimentaire. Elle se manifeste par la production de l'acide lactique à partir de la fermentation des hydrates de carbones au cours de la croissance bactérienne (**Mayra-Makinen et Bigret, 2004 ; Monnet et al., 2008**). *L. lactis subsp. Lactis, ssp. Cremoris* et biovar. *Diacetylactis*, sont les trois bactéries les plus fréquemment citées pour leurs rôles majeurs différents, respectivement pour l'aptitude acidifiante (**Casalta et al., 1995 ; Lafarge et al., 2004**).

6. 4 Pouvoir antibactérien

Les BL constituent un moyen biologique efficace pour la préservation des qualités hygiéniques des aliments, du fait de leur aptitude inhibitrice vis-à-vis des microorganismes nuisibles (**Caridi et al., 2003**). Les BL produisent de nombreux métabolites aux propriétés antimicrobiennes, comme des acides organiques, du peroxyde d'hydrogène, du dioxyde de carbone, de la reutérine, du diacétyl et des bactériocines (**Dortu et Thonart, 2009**).

Le peroxyde d'hydrogène, produit en présence d'oxygène, s'accumule en l'absence de catalase ; son pouvoir oxydatif provoque l'oxydation des lipides et la libération des acides nucléiques (**Block, 1991**). Les acides organiques, élaborés lors de la fermentation des glucides, peuvent inhiber des levures, des moisissures et des bactéries. En diffusant à travers les couches lipidiques de la membrane bactérienne, ils provoquent un abaissement du PH interne par libération de protons, déstabilisant ainsi le fonctionnement de la cellule bactérienne (**Booth, 1985**).

7. Application industrielles des bactéries lactiques

7.1 La culture starter

C'est une préparation microbienne contenant au moins un microorganisme à être ajouté à une matière première pour produire un aliment fermenté ceci par l'accélération de son processus de fermentation. Les BL occupent un rôle central dans ces processus, et ont une histoire longue dans la production d'aliments et boissons fermentés vu leur production d'acides organiques, composés aromatiques, exopolysaccharides, et plusieurs enzymes, ce qui améliore la texture, et contribue au profil sensoriel agréable du produit final (**Leroy et Devuyst, 2004**).

7.2 Rôle technologique

La fermentation des aliments par les BL est la conversion des hydrates de carbone en acides organiques et dioxyde de carbone dans des conditions d'anaérobiose en utilisant des intermédiaires organiques comme donneurs d'électrons et accepteurs d'électrons (**Von Wright et Axelsson, 2011**). Dans la fabrication des aliments, ces bactéries sont utilisées comme agents aromatisants et texturants. Elles produisent plusieurs composants comme l'acétate, l'éthanol, le diacétyle... qui peuvent améliorer la texture, l'arôme et la saveur des produits fermentés (**Badel et al., 2011**).

7.3. Biopréservation des aliments

Les additifs alimentaires chimiques comme le nitrite, le sulfite, l'acide sorbique et l'acide benzoïque sont couramment appliqués dans les technologies de préservation des aliments (**Smith, 1993**). L'activité antimicrobienne exercée par les BL aide à lutter contre les contaminations microbiennes (**Lucke, 2000**). Les BL produisent différentes substances antimicrobiennes comme les acides organiques, dioxyde de carbone, éthanol, bactériocine. L'acide acétique, par exemple, contribue à l'arôme et empêche la détérioration des levains par les moisissures (**Messens et Devuyst, 2002**). Plusieurs études ont montré que les BL utilisées dans les cultures starter ont la capacité de produire des bactériocines dans les aliments ce qui inhibe la croissance des souches pathogènes et les souches d'altération (**Leroy et Devuyst, 2004**).

8. Facteurs influençant la croissance des BL

8.1 Milieu culture

Les BL sont des bactéries d'un point de vue nutritionnel. Plusieurs études ont montré leurs exigences en bases azotés, en vitamines indispensables à leur croissance, en acide aminés.... Etc. Donc leur croissance nécessite des milieux de culture riches et complexes (**Monnet et al. 2008**).

8.2 La température

La température influence de façon importante le métabolisme des bactéries car elle intervient dans la catalyse de nombreuses enzymes. Les BL regroupent des espèces mésophiles, dont la température optimale de croissance est proche de 30°C, et des espèces thermophiles, la température optimale est proche de 42°C. (**Monnel et al., 2008**).

8.3. Le PH

Le PH du milieu influence fortement la croissance des BL. Des changements même faibles du PH interne des BL de l'ordre du dixième d'unité peuvent avoir des influences importantes sur leurs activités métaboliques, on cite le transport des nutriments, la synthèse des protéines, la synthèse des acides nucléiques. L'aptitude des BL à réguler le PH intracellulaire est un élément physiologique important car, lors de leur culture, elles acidifient le milieu ce que entraîne une baisse de leurs taux de croissance, jusqu'à l'arrêt complet surtout pour celles qui ne sont pas aptes à maintenir un PH voisin de la neutralité (**Canteri, 1997**). Le contrôle du PH au cours de la culture, permet d'une part de stabiliser le PH intracellulaire à une valeur supérieure à la valeur critique de la bactérie (**Cachon et al., 1998**).

8.4. Le potentiel redox

Les BL sont des germes microaérophiles. Elles ne tolèrent que de faible quantité d'oxygène. L'oxygène et les composés qui en sont issus (péroxyde d'hydrogène, radicaux O₂) ralentissent ou inhibent la croissance en endommageant certaines enzymes, les lipides membranaires et l'ADN (**Païrd et Desmazeaud, 1991**). L'addition de composés capable de dégrader le peroxyde d'hydrogène (catalase, extrait de levure) permet souvent une amélioration de l'aérotolérance des BL (**Monnet et al., 2008**).

Chapitre II : Les champignons

Moisissures et levures appartiennent au règne des mycètes (fungi). La classification des champignons est très complexe du fait du nombre ainsi que de la diversité des espèces. De se fait, en agroalimentaire, la distinction est simplifiée à leurs types morphologique (micromycètes), il peut être muqueux (levures) ou filamenteux (moisissures). Néanmoins, on note des exceptions, certaines levures peuvent être capables de former des structures filamenteuses (*pseudomycélium*) dans certaines conditions (*Candida*, *Trichosporon*).

Ces organismes ont des capacités d'adaptation élevées, et se trouvent généralement à des pH acides (beaucoup sont acidophiles) .leur gamme de développement de température est large, elle aussi, et atteint des températures basses, proche de 0°C. Pour l'activité de l'eau, les micromycètes ont la capacité de supporter des aw faible.

Ces particularités physiologiques leur permettent de se développer dans des conditions difficiles et leur offrent donc une très forte compétitivité, expliquant qu'on les retrouve dans tous les milieux. (Duque et al., 2009).

I. Les levures

Les levures sont les premiers micro-organismes utilisées par l'homme depuis des millénaires, en particulier dans la fabrication des boissons alcoolisées et de pain par fermentation (Bouix et Leveau, 1991 et Pol, 1996). Elles sont également les premiers micro-organismes à être observés au microscope par A. Van Leeuwenhoek en 1680 qui les a dessinées. Ce n'est qu'avec les travaux de Pasteur (1866-1876) que le rôle des levures dans la fermentation alcoolique a été mis en évidence. A la même époque, la levure fut à l'origine du développement de la biochimie avec notamment les travaux de Büchner. A l'heure actuelle, les levures constituent un matériel expérimental de choix en raison de leur double état de micro-organismes et d eucaryotes (Pol, 1996).

1. Définition

Le mot levure, selon Phaff et al., (1968), provient du mot latin « levare » qui se traduit par «soulever».Type de cellules de champignons. Au sens propre, les levures sont des cellules capables par fermentation oxydative des glucides, de produire du dioxyde de carbone faisant «lever» les pâtes .Elles présentent la particularité d'émettre des bourgeons polaires ou latéraux, générateurs d'autres cellules, identiques à la cellule mère (Euzéby, 2008).

Les levures sont des champignons unicellulaires sur une partie ou sur l'ensemble de leur cycle végétatif. Certaines peuvent former des associations cellulaires, ou se présenter sous forme filamenteuse à certains stades de leur vie (**Bouix et Levea, 1991**).

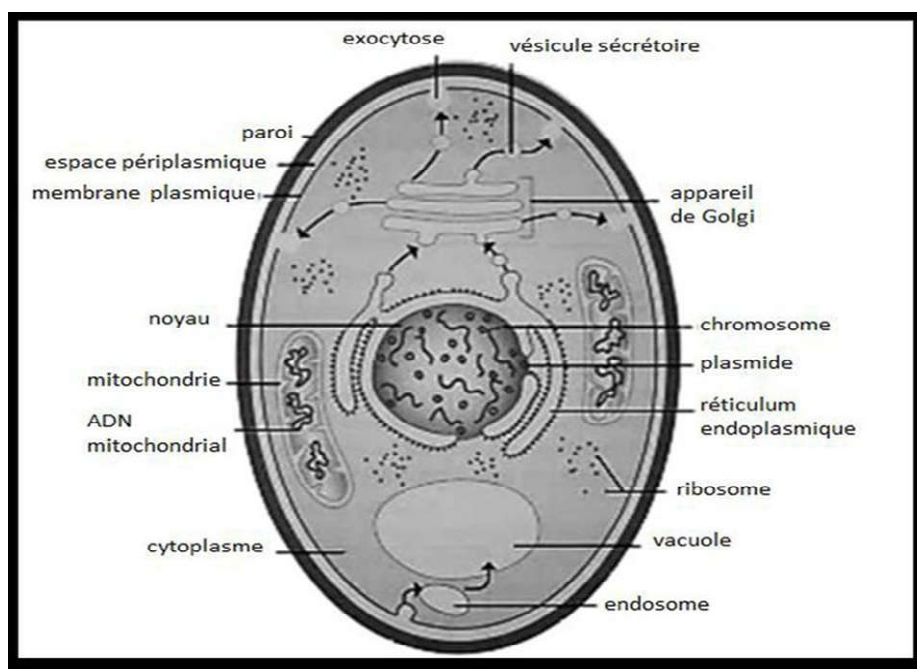


Figure 2. Présentation d'une cellule de levures (**Manyri, 2005**).

2. Caractères

Les levures peuvent être définies comme des eucaryotes microscopiques. Elles sont des hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leur caractère unicellulaire et l'absence de vrai mycélium (au moins dans la plus grande partie de leur cycle biologique) (**Guiraud, 1998**).

Les levures se développent, soit en surface, soit en profondeur des aliments (milieux solides ou liquides). Certaines levures sont cultivées industriellement et commercialisées pour leurs propriétés particulières de fermentation des sucres et de transformations partielles de ceux-ci en alcool et en gaz (production de bière et d'autres boissons alcoolisées fermentées, production de pain en utilisant la levure de boulangerie). En général, les levures ne provoquent pas de dangers pour la santé, même si certaines altèrent les aliments en les rendant impropres à la consommation (**FAO, 2007**).

3. Classification

Les levures appartiennent au groupe des champignons supérieurs et se essentiellement en trois classes (**Tableau 1**) :

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

* **Les *Basidiomycètes*** : 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, ne se multipliant que par reproduction végétative.

La classification de référence est actuellement celle de (**Kreger, 1984**) qui présente des changements sensibles par rapport à la précédente classification de (**Lodder, 1971**). En particulier, de nouveaux critères taxonomiques comme la composition en bases de l'ADN, la structure de la paroi. La classification actuelle répertorie 60 genres et 500 espèces (**Labrecque, 2003**)

Tableau I : Classification des levures (Alphonse et *al.* 2004).

Classes	Ordres	Familles	Sous-familles	Genres
Ascomycètes	Endomycétales	Spermophthoraceae Saccharomycetaceae	Shizosaccharomycetoideae Nadsoniodeae Lipomycetoideae Saccharomycetoideae	<i>Shizosacchromyces</i> <i>Hanseniaspora</i> <i>Lipomyces</i> <i>Debaryomyces</i> <i>Hansenula</i> <i>Kluyveromyces</i> <i>Pichia</i> <i>Saccharomyces</i> <i>Coccidiascus</i>
Basidiomycètes (reproduction sexuée avec basidiosopores)	Ustilaginales Tremellales	Filobasidiaceae Levures à téliospores Sirobasidiaceae Tremellaceae		<i>Filobasiddium</i> <i>Leucospiridium</i> <i>Sirobasidium</i> <i>Tremella</i>
Deuteromycètes	Blastomycetales	Cryptococcaceae Sporobolomycetaceae	Cryptococcoideae RhodotoruloideaeTrichosp Oroideae	<i>Brettanomyces</i> <i>Candida</i> <i>Cryptococcus</i> <i>Torulopsis</i> <i>Rhodotrula</i> <i>Trichosporon</i> <i>Sporobolomyces</i>

4. Physiologies et croissance

Pour se maintenir, croître et se reproduire, la levure doit trouver dans son milieu externe, les éléments nécessaires à la synthèse cellulaire et des conditions physicochimiques favorables.

4.1. Besoin nutritif

Les sources carbonées sont d'une grande importance pour les levures puisqu'elles fournissent le carbone nécessaire pour la biosynthèse de constituants cellulaires et l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Les levures utilisent fréquemment des glucides, en particulier des monosaccharides (ex. le glucose, le fructose), des disaccharides (ex. le maltose, le saccharose), et des trisaccharides (ex. le maltotriose) comme source principale de carbone et par conséquent d'énergie. D'autres levures particulières utilisent des sources de carbone non conventionnelles ; elles sont capables d'oxyder des acides organiques (ex. citrate, lactate) et des alcools (éthanol, glycérol) (**Otengyang, 1984**).

L'azote est le deuxième constituant important, jouant un rôle capital puisqu'il entre dans la composition de plusieurs molécules, essentielles au fonctionnement cellulaire allant des plus simples comme les acides aminés, les sucres aminés, les nucléotides, les coenzymes et les vitamines jusqu'aux macromolécules, telles que les protéines, les acides nucléiques et la chitine (**Sanchez, 2008**). La plupart des levures sont capables d'utiliser les sources azotées minérales simples sous forme d'ion ammonium qui sont apportés dans le milieu par le chlorure d'ammonium, le nitrate d'ammonium, le phosphate d'ammonium et surtout le sulfate d'ammonium, meilleur composé car il apporte en même temps du soufre nécessaire à la synthèse de certains acides aminés. L'azote peut être apporté également par des composés organiques divers tels que les acides aminés, les peptides ou des polypeptides dont la taille nécessite pour leur utilisation une hydrolyse par des peptidases intracellulaire.

Certaines levures, en particulier les *Hansenula*, *Pachysolen*, *Citeromyces* et certaines espèces de *Candida* et de *Trichosporon* sont capables d'utiliser les nitrites et les nitrates. Généralement, les espèces qui utilisent les nitrates utilisent les nitrites, mais l'inverse n'est pas toujours vrai, ainsi *Debaryomyces hansenii* et *Pichia pinus* utilisent les nitrates mais pas les nitrites. Chez *Brettanomyces bruxellensis* et *B. intermedius*, l'utilisation des nitrates est une caractéristique stable au moins à l'intérieur de l'espèce ce qui en fait un outil utilisé à des fins taxonomiques (**Lodder, 1970 ; Kreger Van Rij, 1984 et Moore et al., 1988**). Enfin l'urée en

association avec la biotine et les bases puriques et pyrimidiques peut aussi être utilisée comme source d'azote (**Rezki-Bekki, 2014**).

Pour leur croissance, les levures ont besoin également de sels minéraux et d'oligoéléments nécessaires à de très faibles concentrations (**Larpen et Sanglier, 1992**). De plus, d'autres facteurs sont essentiels comme les vitamines (la biotine, la thiamine et l'acide pantothénique), qui interviennent lors des réactions enzymatiques, comme des coenzymes (**Botton et al., 1990**).

4.2. Conditions physico-chimiques

*Température et pH

En général, les levures se développent à une gamme de température optimale située entre 25°C et 30°C. Comme les autres microorganismes, les levures peuvent être classées en levures psychrophiles, mésophiles et thermophiles. D'une façon générale, les levures ne sont pas aussi tolérantes, telles que les bactéries, aux températures élevées. Les levures se développent surtout en milieu acide : leur optimum de pH se situe entre 4.5 et 6.5 mais elles tolèrent des valeurs entre de 2.5 et 8.0 (**Labrecque, 2003**).

En dessous de pH 5.5, les levures entrent facilement en compétition avec les bactéries et la plupart d'entre elles supportent des acides organiques et sont inhibées par les acides acétique, citrique et lactique (**Larpen, 1990 ; Gournier et al., 1994 ; Bourgeois et al., 1996**).

*Pression osmotique et activité de l'eau

L'activité de l'eau (a_w) est le rapport de la pression osmotique (PO) de la vapeur d'eau du milieu sur la pression d'eau distillée à la même température. C'est donc l'état d'équilibre qui s'établit entre l'atmosphère et le produit. La plupart des levures ne peuvent se développer à des $a_w < 0.9$, mais certaines tolèrent des pressions osmotiques plus élevées, correspondant à un a_w de l'ordre de 0.6, en ralentissant leur métabolisme. Ce sont des levures xérotolérantes ou osmotolérantes (**Bouix et Leveau, 1991 ; Guiraud, 1998**). Leur mécanisme de résistance se manifeste par l'accumulation de polyols afin de minimiser la différence de pression osmotique entre la cellule et le milieu et d'hydrater les polymères intracellulaires (**Schobert, 1977**).

***Besoin en oxygène**

Toutes les levures peuvent se développer en présence d'oxygène : il n'y a pas de levures anaérobies strictes. Cependant, quelques espèces orientent leur métabolisme vers la fermentation même en présence d'oxygène (Saccharomyces) et d'autres préfèrent un métabolisme respiratoire (Candida et Kluyveromyces) (Leveau ; Bouix, 1993).

5. Intérêts des levures dans l'industrie agro-alimentaire

De nombreux produits de consommation quotidienne sont élaborés grâce à l'activité précieuse et importante des micro-organismes. Les levures, par leur activité de fermentation assurent des caractéristiques bien particulières de texture et d'arôme, mais aussi une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits.

Les Levures qui en sont responsables sont toutes regroupées sous la même appellation de bactéries lactiques. Depuis des siècles jusqu'à l'avènement des biotechnologies, où la biologie moléculaire et le génie génétique permettent de transformer facilement les micro-organismes pour les rendre plus performants, la fermentation concernent tous les types de produits alimentaires comme le lait (fromages, crèmes, yaourt et autres laits fermentés), la viande (saucisse fermentée et produit saumuré sec), les végétaux (vins, bières, cidres) et les pains (Abdelguerfi. A, Ramdane, 2003).

5.1. Panification

Une autre utilisation, connue depuis l'antiquité, est la fabrication du pain : Le dégagement de gaz carbonique, qui accompagne la fermentation, permet de faire lever la pâte en lui conférant une texture légère. On utilise également *Saccharomyces cerevisiae* (levure de boulangerie) (Simon et Meunier, 1970 et Cofalec, 2006).

5.2. Les produits laitiers**5.2.1. Les fromages**

La présence de levures dans les fromages n'est pas inattendue compte tenu du pH acide, de la faible activité de l'eau, et de la teneur élevée en sel, ainsi que du stockage au froid des produits (Larpent, 1991).

Ces micro-organismes font partie de la flore normale du lait cru (environ 10⁴ UFC/ml) et sont presque entièrement détruits par pasteurisation (Hermier et al., 1992). Ils sont présents

à tous les stades de la fabrication du fromage à raison de 106 et 108 cellules/g (**Larpen, 1991**).

Quelques espèces dominent : *Saccharomyces (cerevisiae, fragilis, lactis)*, *Torulopsis*, *Candida (versatilis, lipolytica, paralipolytica)*, ainsi que *Kluyveromyces (marxianus, bulgaricus, fragilis)*, *Kluyveromyces lactis*, *Debaryomyces hansenii*, *Zygosaccharomyces Rouxii*. Chaque pâte se différencie par leur importance relative, voire l'existence de certains genres (*Pichia, Rhodotorula, Hansenula ...*) (**Hermier et al., 1992**).

La flore varie selon la technique fromagère, en particulier le salage, qui sélectionne des levures tolérantes au sel en surface puis dans le fromage au fur et à mesure de la pénétration (**Leveau. J-Y et Bouix. M, 1993**). Avant salage, les principales espèces sont identifiées comme des levures fermentant le lactose :

- *Kluyveromyces marxianus* var. *lactis* et sa forme imparfaite (*Candida sphaerica* qui représente 34% de la population) ;
- *Candida lipolytica* (**Larpen, 1991**).

2.2. Les kéfirs

Le kéfir, également écrit kéfir ou képhyr, est le plus célèbre et le plus ancien des laits fermentés acido-lactiques. Produit traditionnellement dans le Caucase septentrional à partir de lait de vache, brebis ou chèvre, il est maintenant fabriqué industriellement dans quelques pays au premier rang desquels figure l'exemple Union Soviétique (**De Roissart et Luquet, 1994**).

Ce sont des boissons gazeuses peu sucrées, légères en alcool (moins de 1%) et contenant des acides organiques et des vitamines. Il résulte de l'association de bactéries lactiques et de levures qui produisent une fermentation principalement lactique et faiblement alcoolique du grain de kéfir. La boisson lactée se caractérise par un aspect lisse et mousseux, une consistance crémeuse, un goût plus ou moins acide, piquant et levure (**Leroi, 1993**).

3. Production des boissons alcoolisées

Le rôle le plus ancien des levures est la fabrication des boissons alcoolisées. Cette fabrication repose sur la fermentation alcoolique qui consiste à transformer les sucres simples en alcool. Ainsi, elles interviennent au cours de la vinification et de l'élaboration de la bière. En anaérobiose, la levure catalyse la fermentation alcoolique, transformant une molécule de

glucose en deux molécules de CO₂ et deux molécules d'éthanol, ainsi qu'une production faible d'énergie sous forme d'ATP. Cependant en aérobiose elle produit beaucoup d'énergie **(Béguin et al. 2008)**.

Les levures sont largement répandues dans le domaine alimentaire. Les utilisations traditionnelles, telles que le vin, le cidre, la bière, le saké et autres boissons alcoolisées (rhum, whisky, gin, vodka), des produits à base de soja (sauce de soja, miso), le pain et les produits laitiers (fromage, kéfir) sont connues par la majorité des gens. Les levures ont bien d'autres utilités dans le domaine biotechnologique. Puisque plusieurs pays du monde ne produisent pas suffisamment de protéines pour l'alimentation de leurs populations, beaucoup de travaux ont été faits afin d'utiliser les levures comme sources de protéines **(Phaff et al., 1978)**.

4. Autres utilisations

Aujourd'hui, les levures constituent une des importantes sources d'enzymes produites commercialement en raison de leurs capacités polyvalentes et de la frugalité de leurs exigences permettant d'obtenir une biomasse importante à bas prix **(Pol, 1996)**. En effet, l'invertase ou saccharase sécrétée par diverses levures est utilisée industriellement pour produire du glucose et du fructose à partir de mélasses de betterave ou de cannes à sucre **(Simon et Meunier, 1970)**.

II. Les moisissures

1. Généralités

Les moisissures sont des champignons microscopiques hétérotrophes filamenteux et immobiles. Ce sont des organismes pluricellulaires dont l'appareil végétatif, le thalle, est formé de longs filaments ramifiés et souvent cloisonnés que l'on appelle des hyphes. Lorsque la croissance est suffisamment avancée, l'ensemble des hyphes constitue un mycélium visible à l'œil nu qui se présente comme une sorte de feutrage à la surface colonisée. **(Mahideb et Merrouche, 2015)**.

Les moisissures ne peuvent se développer que sur des substrats organiques. La structure filamenteuse du thalle les rend particulièrement aptes à coloniser des substrats solides. Certaines vivent en symbiose avec des végétaux, d'autres sont des parasites des végétaux ou des animaux, d'autres enfin sont des saprophytes se développant aux dépens de substrats inertes ou en voie de décomposition **(Bourgouis et al., 1989; Leveau et Bouix,**

1993). En raison de leurs aptitudes écologiques et physiologiques; les moisissures sont de loin les microorganismes les plus redoutables pour les grains stockés (Multon, 1982).

2. Les principales moisissures

a. Le germe *Penicillium*

De tous les champignons, c'est probablement le genre *Penicillium* qui est le plus ubiquitaire. Il comporte plus de 200 espèces qui se rencontrent partout de l'équateur aux pôles (Reboux et al. 2010). Ce genre se caractérise par l'aspect du conidiophore qui est divisé en articles rappelant ainsi la forme d'un pinceau (Champion, 1997).

A la récolte, les graines peuvent ne présenter aucun symptôme et se dégrader pendant la conservation (Champion, 1997). Comme dans le cas des *Aspergillus*, les spores asexuées ou bien les conidies ou conidiospores sont produites par bourgeonnement (Larpent et Laprent-Gouraud, 1990).

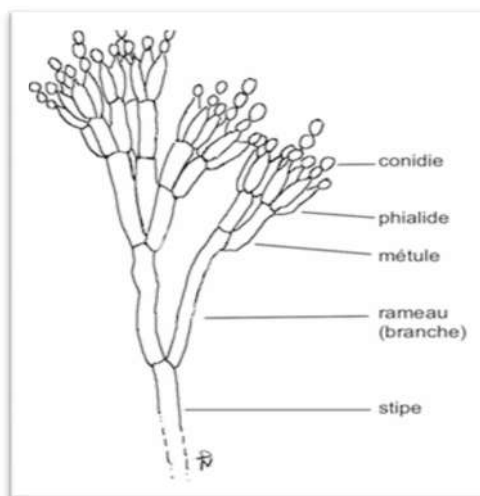


Figure 3 : Schéma d'un pénicille (Visagie et al. 2014)

b. Le germe *Aspergillus*

Le genre *Aspergillus* a été reconnu comme un microorganisme en 1729 par Micheli. Il se trouve dans le monde entier et se compose de plus de 180 espèces officiellement reconnues (Ward et al., 2006). Même s'il inclut les principaux agents pathogènes de champignons filamenteux de l'homme : *Aspergillus fumigatus* (Latgé, 1999; Brookman et Denning, 2000), la plupart des membres sont des microorganismes utiles dans la nature pour la

dégradation des polysaccharides végétaux et sont d'importance industrielle pour la production d'enzymes. Parmi eux, *A. niger*, *A. oryzae* et *A. sojae* sont des souches GRAS (Ward et al., 2006). Par ailleurs, les espèces *A. flavus* et *A. parasiticus* sont aflatoxigéniques. Toutes ces espèces appartiennent au genre *Aspergillus* section Flavi et ont de nombreuses similitudes phénotypiques (Lee et al., 2004).

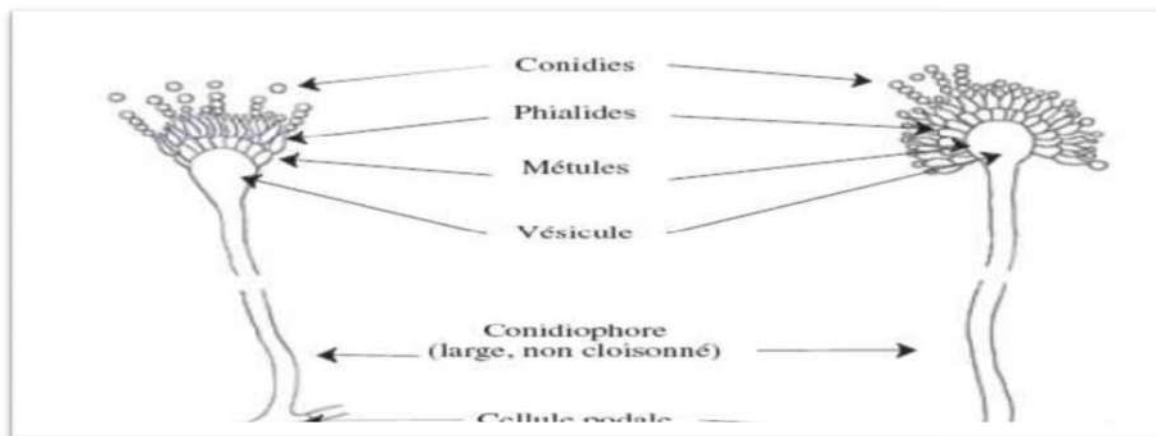


Figure 4. Schéma d'un Principal caractère morphologiques des *Aspergillus* (Bendaoud-Tabet Aoul, 2014).

C. Le genre *Fusarium*

Selon Galinas (1995), le nom *Fusarium* vient de « fusus » qui signifie fuseau d'après la forme de ces macroconidies fusiforme et cloisonnées. Ce sont des champignons cosmopolites, on distingue près de 40 espèces largement répandues dans la nature et vivants en saprophytes. Certains sont des phytopathogènes et beaucoup produisent des mycotoxines contaminants les denrées alimentaires et provoquant alors des maladies graves chez les herbivores (mycotoxicoses) (Chabasse et al., 2005). Ils réduisent le rendement et la qualité des céréales et compromettent la valeur boulangère du blé, elles ont besoin d'une humidité élevée pour croître (Abramson et al., 2001).

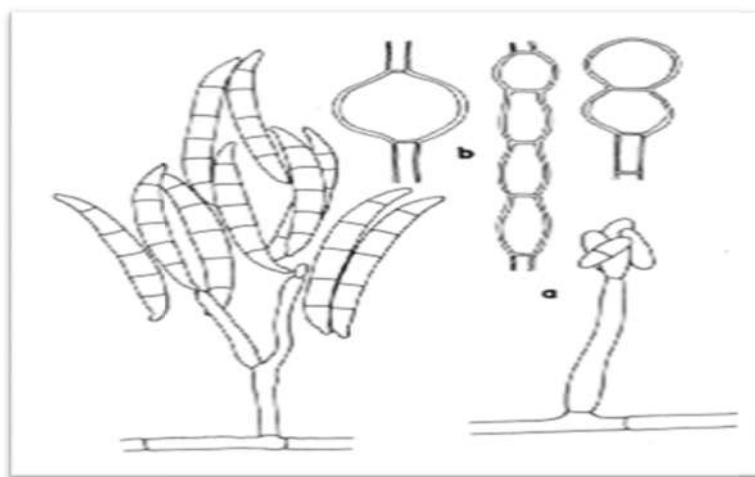


Figure 5 : Observation microscopique de l'appareil de *Fusarium* (Schleiter et Ludwig, 1995).

D. Les Mucorales

Cette sous famille regroupant les genres *Absidia sp*, *Mucor sp*, *Rhizomucor sp* et *Rhizopus sp* (Reboux et al., 2010). Les mucorales sont des champignons cosmopolites très répandus, saprophytes du sol où ils se nourrissent à partir de végétaux, ils contaminent fréquemment les denrées alimentaires comme les céréales, les fruits et légumes, certaines espèces sont pathogènes de plantes. La photo 3, montre que le champignon émet généralement des stolons qui courent à la surface du support gélosé et adhèrent au substrat par de sorte de racines appelées rhizoïdes, le thalle est constitué de filaments siphonnés non cloisonné, à partir des stolons, se forment des filaments dressés appelés sporangiophores porteurs de sporanges où sont produites les spores (Chabasse et al., 2002).

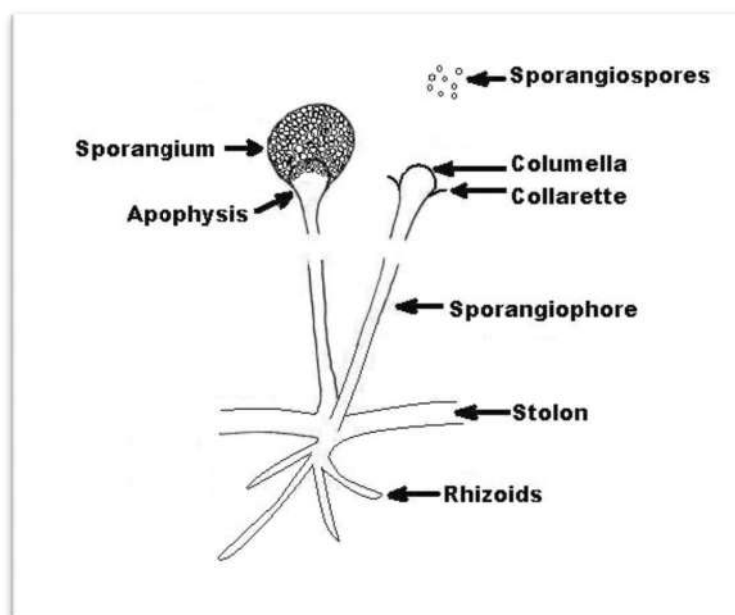


Figure 6 : Appareil reproducteur des mucorales (Dufresne et St-Germain, 2013)

3. Facteurs de développements

Les facteurs physicochimiques ont une grande influence sur le développement des moisissures

➤ La température

Elle joue un rôle prépondérant sur la croissance mycélienne. D'une manière générale, les moisissures peuvent se développer sous des températures allant de moins zéro à plus de 50°C (Proctor, 1995). Les moisissures les plus courantes sont mésophiles, elles se développent entre 15°C et 30°C dont l'optimum se situe entre 20°C et 25°C. Cependant certaines espèces sont psychrophiles, tel que *Cladosporium herbarum* qui peut croître à -6°C sur viande réfrigérée (Guiraud, 1998). D'autres souches peuvent se développer à des températures très hautes (Chapeland-Leclerc et al., 2005). Ces dernières sont appelées les thermophiles extrêmes capables de se développer au dessus de 45°C (*Aspergillus*, *Cladosporium*) (Guiraud, 1998).

➤ L'humidité

Les moisissures ont en général un besoin en eau faible par rapport aux autres microorganismes (Davet, 1996). Néanmoins, l'humidité a une grande influence sur le développement des moisissures non seulement sur la croissance mycélienne et la sporulation mais plus particulièrement sur la germination des spores (Bourgeois, 1989).

Les moisissures à mycélium non cloisonné sont les plus sensibles à la dessiccation ; leur développement cesse lorsque le potentiel hydrique descend au dessous de - 4 MPa (méga pascal). Les moisissures à mycélium cloisonné supportent en moyenne jusqu'à -10 MPa. Cependant, les *Aspergillus* et les *Penicillium* peuvent en général se développer à des potentiels hydriques de l'ordre de - 20 MPa (**Davet, 1996**).

➤ Le PH

La grande majorité des champignons filamenteux se développent dans une zone de pH de 4.5 – 8.0 (**Botton et al., 1999**), bien qu'ils soient capables de croître dans une large gamme de pH avec une tendance à croître dans des milieux légèrement acide. C'est le cas de *Fusarium culmorum*, *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus oryzae*. (**Urbanek et al., 1984 ; Delgado-Jarana et al., 2002**). Cependant, les enzymes extracellulaires produites dans des milieux complexes peuvent avoir des optima de pH d'activité très différents (plus acides ou plus basiques) (**Botton et al., 1999**).

Le pH influe sur la croissance de ces microorganismes soit indirectement en agissant sur la disponibilité des éléments nutritifs (à pH acide, le fer reste sous forme d'ions ferreux assimilable), soit directement par action sur la membrane cellulaire. Par ailleurs, les champignons modifient souvent le pH du milieu par absorption sélective et échange d'ions, production de CO₂ ou de NH₃ ou par production d'acides (**Boiron, 1996**).

➤ La Composition gazeuse

La plupart des moisissures sont aérobies. La réduction de la pression partielle en oxygène et surtout l'accroissement de la teneur en CO₂ a un effet dépresseur important sur la toxinogénèse. Ont montré qu'une teneur de 40% en CO₂ et 1% en O₂ réduisent de 65% la croissance d'*A. flavus* et une inhibition totale de la production d'AFB₁. En outre, la production d'aflatoxine B₁ sur de l'arachide, modérément réduite entre 21 et 5 % d'O₂, n'est pratiquement inhibée que lorsque la proportion en O₂ est inférieure à 1%. L'augmentation de la teneur en CO₂ (20 %), surtout si elle est associée à une réduction en oxygène, provoque une chute importante de la production d'aflatoxines. De même, la production de la patuline et de l'acide pénicillique est réduite à de basses concentrations d'oxygène sans affecter la croissance du champignon producteur. (**Taniwaki et al., 2001**).

➤ Les interactions

Les interactions sont possibles entre plusieurs espèces de moisissures. Le plus souvent, c'est une succession de moisissures qui assurera la dégradation progressive du substrat, et selon les cas, il peut y avoir alliance ou antagonisme (**Moreau, 1996**).

4. Rôle des moisissures

Actuellement, les moisissures jouent un rôle primordial dans divers domaines d'applications ; elles sont utilisées dans les industries alimentaires, chimiques, la biolixiviation et la biotransformation, etc. Cependant l'industrie n'exploite commercialement qu'un petit nombre de métabolites de quelques espèces seulement (**Boiron, 1996**). Leur intérêt économique repose sur leur activité biologique dans la production d'une grande diversité de molécules produites au cours des métabolismes primaires et secondaires, exploitées en particulier par l'industrie pharmaceutique et en médecine (**Larpend-Gourgau et Sanglier, 1992**).

- Action bénéfiques dans l'industrie alimentaire

Les moisissures filamenteux sont des producteurs importants d'acides organiques tels que l'acide gluconique, l'acide malique, l'acide acétique et l'acide citrique (**Leveau et Bouix, 1993 ; Boiron, 1996**). Ce dernier est notamment produit par *Aspergillus niger*, où 60% de sa production est destinée au secteur alimentaire (**Botton et al., 1999**).

La production de biomasse peut être une source importante pour l'alimentation animale et même humaine, en servant de complémentation des produits céréaliers. Quelques espèces fongiques ont un grand usage, c'est le cas d'*Aspergillus niger*, de *Fusarium graminearum* et de *Trichoderma harzianum* (**Botton et al., 1999 ; Larpend- Gourgau et Sanglier, 1992 ; Delgado-Jarana et al., 2002**).

Les enzymes fongiques restent toujours les outils clés de la biotechnologie et reflètent de plus en plus l'importance et le rôle infini des moisissures dans les différentes applications alimentaires. *Aspergillus niger* est un bon exemple, il produit la cellulase, l'amylase, l'invertase et la pectinase, employées principalement comme des catalyseurs biologiques en glucoserie, brasserie et pour la fabrication des boissons. Cette moisissure secrète aussi des protéases, des lipases et des estérases utilisées dans différentes applications alimentaires (**Kosikowski, 1988 ; Scriban, 1999**).

Certains types de fromages peuvent être affinés par l'intermédiaire de moisissures se développant soit en surface (pâtes fraîches, pâtes molles, pâtes pressées non cuites), soit à l'intérieur de la pâte (pâtes persillées). L'apport de moisissures peut parfois se faire de manière naturelle en plaçant les fromages dans une ambiance chargée en spores. **(Larpent, 1990).**

Chapitre III : Des exemples sur les principales souches des microorganismes utilisées dans l'industriel agro-alimentaire

1. *Sterptococcus thermophilus*

St. thermophiles est une cocci Gram positif, anaérobie facultative, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages (**Dellaglio et al., 1994 ; Roussel et al., 1994**). C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques. Elle est aussi résistante au chauffage à 60°C pendant 30 minutes (**Dellaglio et al., 1994**). Elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C. Son métabolisme est du type homofermentaire (**Lamoureux, 2000**).

➤ Rôle de bactérie *Sterptococcus thermophilus*

La fonction de *S. thermophilus* dans la fermentation des produits laitiers industriels est la conversion du lactose en lactate à des températures élevées. Cette espèce a une capacité limitée à utiliser les hydrates de carbone. Seulement cinq différents sucres sont fermentés par *S. thermophilus* : le glucose, le lactose, le saccharose, le galactose et le fructose. Ce dernier est utilisé par un nombre limité de souches *S. thermophilus* préfère le lactose au glucose comme première source de carbone et d'énergie. Il Co-métabolise le saccharose et le lactose, en utilisant un système phosphotransférases (PTS) et un non-PTS substrat respectivement l'utilisation de ces hydrates de carbone n'est pas hiérarchiquement contrôlée. *S. thermophilus* est incapable de métaboliser le galactose, qui est expulsé dans le milieu ou cours du catabolisme du lactose (**Mora et al., 2002 ; Vaillancourt et al., 2004**).

S.thermophilus est la seule bactérie lactique qui possède une activité uréasique. Autrement dit, qui possède une enzyme appelée uréase qui convertit l'urée en ammoniac et en dioxyde de carbone (CO₂). La production de l'uréase par *S.thermophilus* a été considérée comme préjudiciable à tout ce qui a trait à la production du yaourt et de fromage (**Monnet et al., 2005**).

S. thermophilus est un espèce spécifique capable de produire une grande quantité de folate (excrété dans le lait) comparativement aux autres bactéries lactiques. La présence de *S. thermophilus* dans le lait augmente considérablement la quantité de folate pendant la fermentation (**Crittenden et al., 2003**).

2. *Lactobacillus bulgaricus*

Lb. Bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, asporulé, microaérophile. Il est isolé sous forme de bâtonnets ou de chaînettes. Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres par voie d'Embden Meyerhof. Il est incapable de fermenter les pentoses.

Lb. bulgaricus est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en Magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ de 42 °C. Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt (Marty-Teyssset et al., 2000).

➤ Rôle de bactérie *Lactobacillus bulgaricus*

St. thermophilus et *Lb. bulgaricus* se développent en association, appelée protocoopération, dans des cultures mixte ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel

(Radke-Michell et Sandine, 1984).

Ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique de produit. En parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptiques du yaourt. D'un point de vue nutritionnel l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait améliorant ainsi leur biodisponibilité (Courtin et al., 2004).

3. Le genre *Saccharomyces cerevisiae*

Selon Larpent et Gourgau (1985), *Saccharomyces cerevisiae* vient du mot saccharose qui signifie «sucre», myces « champignon ». Tandis que *cerevisiae* fait référence à «cervoise», est un terme scientifique, qui est le nom qu'on donnait autrefois à la bière.

Ainsi, c'est un terme utilisé pour désigner le petit champignon microscopique qui compose les différentes sortes de levures intervenant dans la fermentation. Donc, elle est littéralement connue comme levure du sucre.

Les levures sont des eucaryotes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leurs caractères unicellulaires. Elles sont microscopiques et immobiles (Guiraud et Galzy, 1998).

La place de la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* dans la classification de levure est comme suite (**Bacha, 2008**) :

Règne : champignons

Classe : Ascomycètes

Sous Classe : Hémi-ascomycètes

Ordre : Endomycétales

Famille : saccharomycetaceae

Sous famille : saccharomycetoideae

Genre : *Saccharomyces*

Espèce : *Saccharomyces cerevisiae*

- Caractéristiques

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est reconnue par sa forme ovoïde à arrondie (phase stationnaire). La taille de la levure peut être variable de 1 à 10 µm en fonction de la composition nutritive de son milieu.

Saccharomyces cerevisiae est capable de suivre deux voies métaboliques : la voie aérobie et la voie anaérobie. Cela lui permet de vivre dans des environnements divers. Pour la voie aérobie, la levure se sert de la respiration aérobie pour métaboliser les glucides en dioxyde de carbone et en eau. Pour la voie anaérobie, elle fermente les glucides et produit de l'éthanol et du CO₂.

La levure *Saccharomyces cerevisiae* comme tout être vivant vit en présence d'oxygène (aérobiose). Mais elle a aussi la remarquable faculté de s'adapter à un milieu sans air (anaérobiose). Pour assurer ses dépenses énergétiques, elle peut utiliser différents substrats carbonés, principalement des sucres. Il faut noter que le glucose est l'aliment carboné préférentiel de *S. cerevisiae* (**Queiroz, 1991**).

➤ Rôle de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

Depuis l'Antiquité, les Babyloniens, les Égyptiens et Celtes ont utilisé la levure pour la préparation de boissons alcoolisées. Vers 370 ans avant J.-C, Hippocrate, le célèbre

médecin grec, a découvert l'action diurétique de la levure de bière et l'a conseillé comme remède. Au Moyen-Âge, les moines qui soignaient les lépreux absorbaient de la levure afin de ne pas être contaminés à leur tour. De nos jours, la levure *Saccharomyces cerevisiae* est largement utilisée dans l'industrie alimentaire pour la fabrication des boissons alcoolisées, du pain, des produits de santé et du bio-carburant.

- **Fabrication de pâtes levées et de pain**

Le pain est fabriqué à partir de farine, de levure ou levain, de sel et d'eau. C'est l'activité chimique des levures qui provoque le dégagement de bulles de gaz carbonique et fait lever la pâte à pain. Les bactéries lactiques (*Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Bacillus*) acidifient le pain. Ainsi, la qualité du pain, tel que les propriétés organoleptiques et le dégagement de CO₂ pendant le façonnage, dépend de l'activité fermentaire de la levure. Basé sur cette problématique, plusieurs types de levures et levains sont commercialisés pour faciliter et optimiser la fabrication du pain. C'est un point important à considérer pour réaliser des avantages concurrentiels. Dans le domaine des levures et de la fermentation, l'industrie dont le leader mondial est Le saffre, offre sur le marché une large gamme de levures pour les boulangers : levure pressée, levure émietée, levure liquide, levure sèche active, levure sèche instantanée, levure à humidité intermédiaire surgelée. En revanche, des procédés complexes doivent être parfaitement maîtrisés pour produire ces types de levure. De solides connaissances sur le comportement des levures, par exemple la compréhension de la résistance des levures pendant la déshydratation pour la production des levures sèches actives, sont requises.

- **Fabrication de boissons alcoolisées**

La fermentation alcoolique sous l'effet des levures transforme le glucose en éthanol et en dioxyde de carbone. La fabrication de l'alcool est un processus complexe qui fait souvent intervenir plusieurs microorganismes. La levure *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée principalement pour fabriquer les deux boissons les plus consommées : le vin et la bière. (Guinet et Godon, 1994).

- **Vin**

Des grappes de raisin rouge ou blanc sont écrasées pour casser la peau et récupérer le jus. Différentes espèces comme *Saccharomyces cerevisiae* (levures de vinification) et *Brettanomyces*, *Dekkera*, *Kloeckera*, *Hanseniaspora* (levures d'altération ou de contamination) sont présentes dans le moût. La levure *Saccharomyces cerevisiae* joue un rôle important dans la première étape (fermentation alcoolique) de la production du vin. Les levures transforment le sucre en alcool et libèrent une grande variété de produits secondaires, grâce aux enzymes qui participent aux réactions chimiques. Ces différentes substances complètent les senteurs initiales du fruit par des arômes secondaires, lesquels dépendent de la nature de la levure, de la température de fermentation et des nutriments de la levure. *Saccharomyces cerevisiae* est présente en faible quantité sur le raisin (pas plus de 10% de la population le vuriennne) mais quelques jours après la fermentation alcoolique, elle devient l'espèce prédominante (90%). Ce sont les conditions du milieu qui engendrent cette sélection : l'anaérobiose, le sucre et le SO₂ favorisent les différentes souches de *Saccharomyces cerevisiae* au détriment des autres levures moins résistantes et moins adaptées. (Temple et al., 2005).

- **Bière**

Saccharomyces cerevisiae est utilisée pour produire de la bière à haute fermentation (ale) alors que *Saccharomyces carlsbergensis* est utilisée pour produire de la bière à basse fermentation (lager). Les bières de fermentation basse doivent fermenter plus longtemps et à des températures plus basses que les bières de fermentation haute.

Autres boissons alcoolisées

Au Japon, *Saccharomyces cerevisiae* est également utilisée après *Aspergillus oryze*, pour produire le saké qui est une boisson fermenté à base de riz. Le même protocole que pour la fermentation du vin est appliquée pour la fabrication du cidre à partir de pommes ou du poiré à partir de poires. Pour les alcools "forts" comme le rhum issu de la fermentation de cannes à sucre, ou encore la vodka issue de la fermentation de pommes de terre, de seigle ou de betteraves à sucre, la fermentation est suivie d'une distillation afin de concentrer l'alcool. (Perrone et al., 2008).

- **Production de probiotiques**

Les probiotiques sont des concentrés de levures sèches (*Saccharomyces cerevisiae*) utilisés dans l'alimentation animale comme apports de nutriments favorables : les levures libèrent des vitamines, des acides aminés et des peptides qui permettent de renforcer la protection de la flore intestinale, de normaliser le transit et de stimuler l'immunité intestinale renforçant ainsi les défenses naturelles des animaux ; les probiotiques permettent ainsi d'obtenir un meilleur rendement de la production laitière, de réduire significativement les pertes de poids des animaux, d'augmenter significativement le taux de croissance des portées, d'améliorer la qualité des viandes, etc. En outre, *Saccharomyces cerevisiae* est une levure modèle pour les études fondamentales sur les eucaryotes. Le développement dans le domaine génétique et biologique a permis de modifier des gènes de cette levure afin de produire de nouvelles protéines et enzymes active (**kaila et al., 1992**).

- **Fabrication d'éthanol-carburant.**

C'est un alcool à indice d'octane élevé produit par la fermentation de sucre ou d'amidon prétraité, provenant de grains de blé ou de maïs ; l'ajout de levure entraîne la fermentation des sucres et produit l'éthanol qui est ensuite séparé du mélange par distillation. Les avantages de l'éthanol par rapport à l'essence sont diverses : baisse d'émissions de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et d'hydrocarbure, et réduction globale des gaz à effet de serre, durabilité de la production d'éthanol due à l'utilisation de matières premières comme des grains et des produits du bois, marché supplémentaire pour le maïs et les autres matières premières agricoles utilisées dans la production d'éthanol et réduction de la dépendance à l'égard des produits pétroliers importés (**Guinet et Godon, 1994**).

4. *Penicillium camemberti*

Cette moisissure est l'une des moisissures les plus intéressantes pour la fabrication des fromages affinés. C'est une moisissure aérobique stricte, sa croissance commence par la germination des spores dans des conditions favorables qui fusionnent ensuite pour former le mycélium. L'ajout de *penicillium camemberti* se fait après une sélection rigoureuse des souches en fonction de leur couleur, de la couleur qu'elle confère aux fromages, de vitesse de croissance, de la densité et de hauteur du mycélium (**Hamitouche et Aiche, 2018**) ainsi de leurs activités protéolytiques et lipolytiques déterminant les caractères organoleptiques des fromages à l'étape de l'affinage. Elle est souvent désignée par les fromagers sous le nom de «

Penicillium candidum » (**Ahaddad et Kasmi, 2013**). Ce qui lui confère un rôle important sur l'aromatisation des fromages.

Conclusion

Conclusion

Les microorganismes sont souvent considérés uniquement comme des germes dangereux. Or, beaucoup d'entre eux, nous aident de multiples façons mais restent généralement inconnus voire insoupçonnés. En effet, en plus d'aider notre digestion (l'intestin humain est le foyer de plusieurs milliards de microbes utiles), ils occupent aussi une place importante dans notre alimentation quotidienne.

La fabrication d'un grand nombre des produits alimentaires s'appuie sur le métabolisme de microorganismes, que l'on peut regrouper sous le terme de microflore positive. Celle-ci intervient dans l'élaboration de certains aliments par fermentation et / ou contribution au processus d'affinage (fromage ou charcuterie). Ces organismes « utiles » jouent un rôle important, d'une part, dans la conservation des produits, d'autre part, dans l'acquisition de leur typicité sensorielle. Parmi cette flore positive, certains microorganismes sont particulièrement étudiés, telles les bactéries lactiques (par exemple, *Lactococcus lactis*...) et les micromycètes de fermentation (*Saccharomyces cerevisiae*) ou d'affinage (par exemple, *Penicillium camemberti*...).

Cette grande diversité d'organismes permet leur utilisation à des fins diverses. En effet, les produits laitiers, les céréales, les viandes, les fruits et les légumes peuvent être fermentés. Certains produits laitiers fermentés auraient des propriétés antimicrobiennes et anticancéreuses, spécialement, lors de l'utilisation de bactéries lactiques particulières.

Des cellules microbiennes peuvent servir de sources d'aliments de haute qualité et d'autres produits d'intérêt pratique comme les enzymes aux applications industrielles. D'autres souches sont utilisées comme adjuvants alimentaires. C'est le cas des champignons, des cyanobactéries comme *Spirulina* et des levures. Aujourd'hui, un intérêt croissant se manifeste pour la probiotique et de nombreuses recherches visent à faire comprendre comment les utiliser en mieux, donc de développer de nouvelles techniques d'isolement, d'identification et de classement.

Référence bibliographique

Référence

A

Abdelguerfi A. et Ramdane S.A. (2003). Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour l'agriculture, Bilans des Expertises sur «La Biodiversité Importante pour l'Agriculture en Algérie » MATE-GEF/PNUD : Projet ALG/97/G31 (TOME XI).

Abramson D., Demianyk C. J., Fields P. G., Jayas D. S., Mills J. T., Muir W.E., Timlick B. et White N. D.G. (2001). Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grains entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures. Ed. Centre de recherche sur les céréales. P58.

Ahaddad R. et Kasmi N. (2013). Suivi du process de production d'un fromage à pâte molle type « camembert » au niveau de l'unité ibarissen. Mémoire de Master en Génie Biologique. Université Abderrahmane MIRA de Béjaia. P66.

Amatayakel T., Halmos A.L., Sherkat F. et Shah N.P.(2006). Caractéristiques physiques des yaourts fabriqués à partir de cultures de départ produisant des exopolysaccharides et de rapports variés entre la caséine et les protéines de lactosérum. *Journal international des produits laitiers* vol, 16 : 40-51.

Anonyme. (2000). Statistiques Agricoles, 1990-1999. Série B, superficies et production. *Office National Statistiques*, Algérie- Algérie.

B

Bacha A. (2008). Production et étude de l'activité de l'invertase produite par la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur substrat à base de datte. Mémoire pour l'obtention de diplôme de magister en agronomie, Université EL Hadj Lakhdar - Batna, P.34.

Badel S., Bernardi T. et Michaud P. (2011). Nouvelle perspective pour les lactobacilles exopolysaccharides. *Biotechnologie advances* 29 (1) : 54-66.

Belyagoubi L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. *Thèse de Doctorant en Biologie*. Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen. P170.

Bendaoud Tabet Aoul S. (2014). Isolement de souche fongique de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816), d'Ain Franine et Cap Carbon du Littoral oriental oranais. Thèse de Magister. Science de l'environnement Marin. Université Oran.

Béguin J., Coarer M., Poulard A., Poupault P. et Vinsonneau E. (2008). Maîtrise des fermentations spontanées et dirigées. Institut Français de la Vigne et du Vin. PP : 29-48.

Bjorkroth, J. et Hozapfel, W. (2006). Genre *Leuconostoc*, *Oenococcus* et *Weissella*. Les procaryotes, Springer : 267-319.

Block S.S. (1991). Composé peroxygéné. Dans désinfection, stérilisation et conservation. Ed Lea et Feabiger, Philadelphie. P 169-180.

Boiron P. (1996). Organisation et biologie des champignons. Nathan. Paris. P19-79.

Booth J.R. (1985). Régulation du PH cytoplasmique chez les bactéries, Microbiologie, examens. 49, 359-364.

Botton B., Breton A., Fever M., Gauthier S., Guy P., Larpent J P., Reymond P., Sanglier J. J., Vayssier Y. et Veau P. (1990). Moisissures utiles et nuisibles d'importance industrielle. 2ème édition. Masson. Collection Biotechnologies, p : 34-381.

Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y. et Veau P. (1999). Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Masson. Paris. P. 12-426.

BOUIX M., et LEVEAU J.Y. (1991). Les levures Ds : Bourgeois C.M., Leveau J.Y., Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Ed. édition 2 Lavoisier-Tec &Doc, Paris.3 : 206-229.

Bourgeois C.M., Mescle J.F. et Zucca J. (1989). Microbiologie alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Lavoisier. Paris. P. 216-244.

Bourgeois C. M., Mesclej F. et Zucca J. (1996). Microbiologie alimentaire Tome 1 : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments_1ère édition Ed.

Tec&Doc, p: 672.

Branger A.(2004) . Fabrication de produits alimentaires par fermentation : les ferments Techniques de l'ingénieur, F 3500, 1-15.

Brookman J.L., Denning D.W. (2000). Molecular genetics in *Aspergillus fumigatus*. Curr. Opin. Microbiol., 3(5); 468–474.

C

Cachon R., Antérieux P. et Diviès C. (1998). Le comportement comparatif de lactobacilles lactis dans les processus de culture libres et immobilisés. *J Biotechnol* 63 : 211-218.

Canteri G. (1997). Les levain lactiques dans ECK, A. Et Gillis, J.C., le fromage : de la science à l'assurance qualité. *lavoisier*. P : 192.

Caridi A., Micari P., Cufari A. et Sarullo V. (2003). Modification de maturation et de mer du groupe microbien et des propriétés physico-chimiques du fromage de brebis pecorino de poro. *Laiterie internationale*, 13 : 191-200.

Casalta E., Vassal Y. et Desmazeaud M.J.(1995). Comparaison de l'activité acidifiante du lactococcus lactis isolé du lait de chèvre corse et du fromage. *Sciences et technologies alimentaires- Lebensmittel-Wissenschaft et Technology* 28, 291-299.

Chabasse D., Bouchara J.P., De Gentile L., Brun S., Cimon B. et Penn P. (2002). Les moisissures d'intérêt médical. Cahier N°25 de formation de biologie médicale, 157 pp.

Champion R. (1997) . Identifier les champignons transmis par les semences. Ed. Editions Quae, France, 398 p.

Chapeland-Leclerc F., Papon N., Noël T. et Villard j. (2005). Moisissures et risques alimentaires (mycotoxicoles). Revue Francophone des Laboratoires, N°373 :61-66.

Cofale C. (2006) .Caractérisation des levures de boulangerie. Adopté par Comite de Fabrication de levures de panification de l union européenne, Paris : 1-10.

Corroler D., Mangen I., Desmasures N. et Gueguen M. (1998). Une étude écologique des lactocoques isolés du lait cru dans la zone d'appellation d'origine enregistrée du camembert. *Appl Environ Microbiol* 64, 4729-4735.

- Courtin P. et Rul F. (2004).** Interactions between microorganisms in a simple ecosystem: yogurt bacteria as a study model, *Lait*, 84:125– 134.
- Crittenden R., Martinez N. et Playne M. (2003).** Synthesis and utilisation of folate by yogourt starter cultures and probiotic bacteria. *International Journal of Food Microbiology* ,80, 25-217 .
- Curl E.A. (1982)** .The rhizosphere: relation to pathogen behaviour and root disease. *Plant Dis* 66, 624-630.

D

- Dalmasso M., Prestoz S., Rigobello V. et Demarigny Y. (2008).** Comportement de *Lactococcus lactis* subsp *lactis* biovar. *Diacetylactis* dans un démarreur de quatre souches de *Lactococcus* au cours de cultures successives de lait. *International des sciences et technologies alimentaires* 14, 469-477.
- Davet P. (1996).** Vie microbienne du sol et production végétale. INRA. Paris. P. 52-57.
- Delgado-Jarana J., Rincon A. M. et Benitez T. (2002).** Aspartyl protease from *Trichoderma harzianum* CECT 2413: cloning and characterization. *Microbiology*. 148: 1305- 1315.
- Dellaglio F., De Rossart H., Torrianis S., Curk M. et Janssens D. (1994).** Caractérisation générale des bactéries lactiques. Tec&Doc (Eds), Lorica, 1, 25-116.
- De Roissaet H. et Luquet F.M. (1994).** Les bactéries lactiques. Uriage, Lorica, France, 1 : 1-286.
- De Roissart H. et Luquet F.M. (1994).** Bactéries lactiques: aspects fondamentaux et technologiques .VoL2 Ed. Lorica. PP: 614.
- Dortu U. et Thonart P. (2009).** Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.* 13(1) : 143-154.
- Doyle J.J. et Luckow M.A. (2003).** The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol* 131, 900-910.
- Dufresne P. et St-Germain G. (2013).** Identification des champignons d'importance

médicale : Stage de laboratoire, Laboratoire de Santé Publique du Québec, 57 p.

Duque M., Saltiel E. et Worth K. (2009). L'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Conseil pour l'enseignant. Pollen, 25-36.

Durluozkay F., Aslim B. et Taha Ozkaya M.(2007). Effet des exopolysaccharides (EPSs) produits par *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* souches au bactériophage et sensibilité à la nisine de la bactérie. *LWT. Science et Technologie alimentaires*. Vol . 40 : 564-568.

E

Euzéby. (2008). Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire. Ed. Lavoisier, Paris. 832p.

F

FAO. (2007). Les bonnes pratiques d'hygiène dans la préparation et la vente des aliments de rue en Afrique: Outils pour la formation. Ed. Food & Agriculture Org, Italie. 175p.

G

Garry P. et Le Guern L. (1999). Les bactéries lactiques. *Bull. Liaison.CTSCCV*, 9, (6) : 423-429.

Gevers D. (2002). Résistance à la tétracycline chez les bactéries lactiques isolées de saucissons secs fermentés, Thèse de Doctorat. Université de Ghert Belgique. P 205.

Gournier C., Larpent I. P., Castellanosm L. et Larpent L. (1994). Les probiotiques en alimentation animale et humaine Ed. Tee&Doc – Lavoisier, p 192.

Guinet R. et Godon B. (1994). La panification Française. Ed. Tec&Doc, p 521.

Guiraud J.P. (1998). Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris. p : 310-321.

Guirad, J.P. (1998). Microbiologie alimentaire. *Dunod*, Paris. P 652.

Guiraud J.P. (2003). Microbiologie alimentaire. *Dunod-RIA*, Paris. P 696.

Guiraud J. et Galzy P. (1998). Microbiologie alimentaire. Ed. Dunod, Paris, p 615.

H

Hamitouche M. et Aiche Z. (2018). Essai de production d'un fromage à pâte molle type camembert à partir de deux agents coagulants. Mémoire de Master en Biotechnologie microbienne. Université Akli Mohand Oulhadj Bouira. P 99.

Hardie J. et Whiley R. (1997). Classification et aperçu des genres *streptocoque* et *entérocoque*. Journal de Microbiologie Appliquée.p 83.

Hermier J., Lenoir J. et Weber F. (1992). Les groupes microbiens d'intérêt laitier Ed. CEPIL (Centre de Formation Permanente et de Perfectionnement des Cadres des Industries du lait). PP : 568.

Holzappel W.H., Haberer P., Geisen R., Björkroth J. et Schillinger U.(2001). Taxonomie et caractéristiques importantes des microorganismes probiotiques dans les aliments et la nutrition. *Un, J. Clin. Nutr*, 73 : 365.

K

Kaila M., Isolauri E., Soppi E. et Arvilommi H. (1992). Enhancement of the circulating antibody secreting cell response in human diarrhea by human , *Pediatr Res* : 141-1442.

Kloepper J.W., Scher F.M., Laliberte M. et Tipping B. (1986) .Emergence-promoting rhizobacteria: description and implications for agriculture. In: Iron, siderophores and plant diseases (TR Swinburne, ed) NATO ASI Series A, Life Sci, Plenum Press, New York, 351, 155-164.

König H. et Fröhlich J.(2009). Acide lactique bactéria à König. H.Uden. G.et Fröhlich,. J, biologie des microorganismes sur le raisin, dans le Mut et dans le vin. *Springer, Verlag Berlin Heidelberg* : 3-24.

Kosikowski F. V. (1988). Dairy foods research papers. Enzyme behavior utilization in dairy technology. *J. Dairy Sci.* 71: 557-573.

Kreger-Van-Rij N.J.W. (1984). The yeasts, a taxonomic study. Elsevier Science Publishing , Amsterdam.

Krzysciak W., Pluskwa K., Jurczak A. et Koscielniak D.(2013). La pathogénicité du genre streptococcus. Revue européenne de Microbiologie clinique et maladies infectieuses. 32(11) : 1361-1376.

L

Labrecque M.H. (2003). Etude de la capacité de deux souches de levures à dégrader le xylène. Mémoire, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, p: 19-24.

Lafarge V., Ogier J.C., Girard V., Maladen V., Leveau J.Y. et Gruss,A. (2004). La population de bactéries du lait de vache cru évolue. Attribuable à la réfrigération. *Microbiologie Appliquée et Environnementale*. 70, 5644-5650.

Lamoureux L. (2000). Exploitation de l'activité β - galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.

Larpent J.P. (1991). Biotechnologie des levures. Masson, Milan Barcelone Bonn. Paris : 97-127

Larpent G .M. et Sanglier J.J. (1992). Biotechnologies. Principes et méthodes, p : 574-581..

Larpent J.P. et Larpent G.M. (1990). Mémento technique de microbiologie-2^{ème} édition Ed.Tec&Doc, p : 417.

Latgé J.P. (1999). *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis. Clin. Microbiol. Rev., 12(2); 310– 350.

Lee C.Z., Liou G.Y., Yuan G.F. (2004). Comparison of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus oryzae* by amplified fragment length polymorphism. Bot. Bull. Acad. Sin., 45; 61–68.

Leroi. F. (1993). Etude des interactions entre levures et bactéries isolées du grain de kéfir sucré. PP : 220.

Leroy F. et De Vuyst L.(2004). Bactéries lactiques en tant que cultures de démarrage fonctionnelles pour l'industrie de la fermentation alimentaire. *Tendances de la science et de la technologie alimentaires* 15 : 67-78 .

Leveau I .V. et Bouix M. (1993). Microbiologie industrielle: les micro-organismes d'intérêt industriel. Ed, Tec & Doc Lavoisier, p: 612.

Limosowtin G.K.Y., Broom M.C. et Powell I.B.(2004). Bactéries lactiques, taxonomie *dans l'encyclopédie de la science du journal*. Roginski H. Oxford, Elsevier, P 1470-1478.

Lodder J. (1970). Criteria and methods used in classification.In loddder ed, The yeasts. A taxonomic study. North Holland Publishing Compagny, p: 84.

Lodder J. (1971). The yeast, a taxonomic study, 2ème edition. North Holland, Amsterdam,Londres. p: 1385.

Lucke F.K. (2000). Utilisation de microbes pour transformer et conserver les viandes. *Science de la viande* 56 : 105-115.

M

Mahideb N., Merrouche H. (2015). Etude des moisissures potentiellement productrices de mycotoxines isolées à partir des grains de blé dur (traités et non traités).thèse de Master : Biotechnologie des Mycètes. Constantine : Université des Frères Mentouri, 69p.

Manyri L. (2005). Analyse automatique d'image de population microbienne. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

Marty-Teyssset C., De La Torre F. et Garel J. (2000). Increased production of hydrogen peroxide by lactobacillus delbruekii ssp bulgaricus upon aeration: involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), 262-267.

Mayra-mackinen A. et Bigret M. (2004). Utilisation industrielle et production de bactéries lactiques. Dans les bactéries lactiques, Microbiologie et aspects fonctionnels. (Salminen. S, Wright. A.V. et Ouwehand, A.) 3^e. Ed. Marcel. Dekker. Inc. New. York. 73-102.

Messens W., et De Vuyst L. (2002). Substances inhibitrices produites par le lactobacille isolé à partir de levain. Une critique. *Revue. Internationale de microbiologie alimentaire* 72 : 31-43.

Monnet C., Latrille E., Béal C. et Corrieu G.(2008). Croissance et propriétés fonctionnelles des bactéries lactiques in corrieu, G. Et luquet., Ferments F.M. Bactéries lactiques de la génétique aux ferments . *Tec & Doc. Lavoisier*. P : 511-593.

Monnet C., Mora D.et Gorrieu G.(2005) . Glutamine synthesis is essential for growth of *Streptococcus thermophilus* in milk and is linked to urea catabolism. *Applied Environmental Microbiology*. 71, 3376-3378.

Moore K.J., Johnson M.G. et McClary S.P. (1988). Disk inoculums-solid medium method to test carbon and nitrogen assimilation by yeast isolates. *Applied and Environmental Microbiology* 54:3185-3186.

Mora D., Fortina M., Parini C., Ricci G., Gatti G. et Giraffa G. (2002). Genetic diversity and technological properties of *Streptococcus thermophilus* strains isolated from dairy products. *Journal of Applied Microbiology*, 93. 278-287.

Moreau C. (1996). Les mycotoxines. In : Bourgeois C. M., Mescle J.-F., Zucca J. (coord.). *Microbiologie alimentaire : Aspects microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Ed. Tec & Doc. Paris, pp.176-185.

Multon J.L. (1982). Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés : Céréales, oléagineux, aliments pour animaux. Lavoisier Technique et Documentation, Paris :Paris, 576p.

O

Oteng-Gyang K. (1984). Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds. *Technique & Documentation Lavoisier*, Paris, p : 8:43-51.

P

Paired, J.C. et Desmazeaud M. (1991). Inhibant facteurs produits par les lactiques et les bactéries. *Métabolites et catabolisme de l'oxygène et produit lait* 71 : 525-541.

Pederson C.S. (1949). Le genre *Pediococcus*. *Revue bactériologique*. 13(4) : 225.

Perrone G. G. et Tan S-X. (2008). "Reactive oxygen species and yeast apoptosis." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research* 1783(7): 1354-1368.

Phaff H., William T., Starmer H. et Kricher J. (1978). Evolution and Speciation of host plant specific. Widmer Tanner, F.A. Loewus. PP: 137- 149.

Pol D. (1996). Travaux pratiques de biologie des levures. Pellisepe, édition marketing. 158. PP : 21-151.

Pot B. (2008). La taxonomie des bactéries lactiques. Dans bactéries lactiques de la génétique aux ferments (Corrieu, G. et Luquet, F.M). *Tec & Doc, Lavoisier*. Paris 1-106.

Pot B., Devriese L.A., Uris D., Vandamme P., Haesebrouck F. et Kersters K. (1996). Identification phénotypique et différenciation des strisines de d'animaux. *Syst. Appl. Microbiol* 19 ; 213-222.

Proctor D.L. (1995). Techniques d'emmagasinage des grains : évolutions et tendances dans les pays en développement, Bulletin des services agricoles de la FAO n°109, FAO, Rome.

Q

Queiroz M.M.C. (1991). Aspectos da bioecologia de *Chrysomyaalbiceps* (Wiedemann, 1819) (Diptera, Calliphoridae), emcondições de laboratório. Master Thesis, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ, Brasil, p.72.

R

Radke-Michell L. et Sandine W.E. (1984). Associative growth and differential enumeration of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*: a review, *Journal of Food Protection*. 12, 383- 391.

Reboux G., Bellanger A., Roussel S., Grenouillet F. et Million L. (2010). Pollution atmosphérique, Moisissures et habitat : risques pour la santé et espèces impliquées, *Revue française d'allergologie* 50 : 611–620.

Rezki-Bekki M.A. (2014). Production de métabolites par les levures: caractérisation et identification des arômes et des alcools. Thèse de doctorat, Université d'Oran. Algérie.

Roussel Y., Pebay M., Guedon G., Simonet J.P. et Decarism B. (1994). Physical and genetic map of streptococcus thermophilus A054. *Journal of Bacteriology*, 176(24), 7413- 7422.

S

Sanchez Y.G. (2008). Etude de l'adaptation et de la gestion de l'activité cellulaire dans un bioréacteur biétagé: intensification de la production d'éthanol. Thèse de Doctorat, Université Toulouse.

Schlefer K. H. et Ludwig W.(1995). Phylogénie du genre *Lactobacillus* et des genres apparentés. *Système Appl Microbiol* , 18 : 461-467.

Schobert B. (1977). Is there an osmotic regulatory mechanism in algae and higher plants. *Journal of Theoretical Biology*.

Scriban R. (1999). Biotechnologie. 5eme édition. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. P. 149-159.

Simon P. et Meunier R. (1970). Microbiologie industrielle et génie biochimique. Masson ET Cie, Editeurs. Paris Vie : 31-47, 385-411.

Stiles M.E. et Holzapfel W.H. (1997). Bactéries lactiques des aliments et leur taxonomie actuelle. *Micobiol alimentaire Int J*, 36 : 1-29.

T

Tamine A.Y. (1990). Microbiologie des cultures starter. Dans Robinson, R.K, (Ed) *produits laitiers. Microbiologie*. Vol 2. *Elsevier, Londres*,P 131-201.

Tamines A. Y. (2002). Microbiologie des cultures starter. Dans manuel de microbiologie laitière (Robinson R.K). 3ed Ed. *John wiley and Sons, Inc.*, New York.261-366.

Taniwaki M.H., Hocking A.D., Pitt J.I. et Fleet G.H. (2001). Growth of fungi and mycotoxin production on cheese under modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 68, 125–133.

Temple M. D. et Perrone G. G. (2005). "Complex cellular responses to reactive oxygen species." *Trends in Cell Biology* 15(6): 319-326.

U

Urbanek H., Yirdaw G. (1984). Hydrolytic ability of acid protease of *Fusarium culmorum*, and its possible role in phytopathogenesis. *Acta Microbiol. Pol.* 33 (2): 131.

V

Vaillancourt K., Lemay J.D., Lamoureux M., Frenette M., Moineau S. et Vadeboncoeur C. (2004). Characterization of a galactokinase-positive recombinant strain of *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 4596-4603.

Vandamme P., Pot B., Gillis M., De Vos P., Kersters K. et Swings J. (1996). Taxonomie polyphasique, une approche censuelle de la systématique bactérienne. *Microbiol Rev*, 60 : 407-438.

Vignola C.L. (2002). Science et technologie du lait, transformation du lait. *Presses internationales polytechnique*, Québec : P 608.

Visagie C.M., Houbraken J., Frisvad J.C., Hong S.B., Klaassen C.H.W., Perrone G. Seifert K.A., Varga J., Yaguchi T. et Samson R.A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*, *Studies in Mycologie*, Vol 78 : 343- 371.

Von wright A. et Axelsson, L. (2012). Bactéries lactique : Une introduction. Dans lahtime, S., Salminen, S., Von wright, A. et ouwehand. A., aspects microbiologiques et fonctionnels des bactéries lactiques *CRC press* : 1-17.

W

Ward O.P., Qin W.M., Dhanjoon J., Ye J. et Singh A. (2006). Physiology and biotechnology of *Aspergillus*. *Adv. Appl. Microbiol.*, 58; 1-55.

Welman A.D. et Maddox I.S. (2003). Exopolysaccharides de bactéries lactiques, perspectives et défis. *Tendances de la Biotechnologie*. Vol, 21. 269-274.

WWW. Magazinescience-com. Cdn. Ampproject. Org. Le 26/03/2021. 10 :35.

Z

Zhang H. et Cal Y. (2014). Fondamentaux et pratique des bactéries lactiques.
Springer Dordrecht Heidelberg. New York Londres. P 536.

Résumé

Notre travail consiste à une synthèse bibliographique sur les principaux microorganismes utilisés en industrie agro-alimentaire. Les microorganismes sont souvent considérés par le grand public comme des agents pathogènes. Dans l'alimentation, ils sont souvent responsables d'altérations des produits. Cependant certaines bactéries, levures et moisissures sont connues utiles et nécessaires pour la fabrication de certains aliments (le pain, yaourt, fromage....) par différents procédés, Actuellement, un intérêt croissant vise à la découverte d'organisme nouveaux, qui peuvent conduire à l'amélioration des procédés industriels, puis à l'enrichissement du régime alimentaire, que ce soit pour l'homme ou/et l'animal.

Les mots clé : Microorganisme, Moisissures, bactéries, levures, l'industriel agro-alimentaires.

Summary

Our work consists of a bibliographical synthesis on the main microorganisms used in the food industry. Microorganisms are often viewed by the general public as pathogens. In food, they are often responsible for product spoilage. However, certain bacteria, yeasts and molds are known to be useful and necessary for the manufacture of certain foods (bread, yogurt, cheese, etc.) by different processes. Currently, growing interest is aimed at the discovery of new organisms, which can lead to improving industrial processes, then enriching the diet, whether for humans or / and animals.

The key words: Microorganism, Molds, Bacteria, Yeasts, The agro-food industry.

ملخص

يتكون عملنا من توليف ببليوغرافي عن الكائنات الحية الدقيقة الرئيسية المستخدمة في صناعة الأغذية. غالبًا ما ينظر عامة الناس إلى الكائنات الحية الدقيقة على أنها مسببات الأمراض. في الطعام ، غالبًا ما يكونون مسؤولين عن تلف المنتج. ومع ذلك ، من المعروف أن بعض البكتيريا والخمائر والعفن مفيدة وضرورية لتصنيع بعض الأطعمة (الخبز واللبن والجبن وما إلى ذلك) من خلال عمليات مختلفة. حاليًا ، يهدف الاهتمام المتزايد إلى اكتشاف كائنات حية جديدة يمكنها يؤدي إلى تحسين العمليات الصناعية ، ثم إثراء النظام الغذائي ، سواء للإنسان أو / والحيوان.

الكلمات الرئيسية الكائنات الحية الدقيقة العفن البكتيريا الخمائر و صناعة الأغذية الزراعية .