
Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de microbiologie

Master Microbiologie Appliquée

Polycopié de cours



Réalisé par :Dr Faradji.Hamma S.

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme simplifié de fabrication de yaourt adapté

Figure 2: Processus de transformation des yaourts fermes, yaourts à boire et yaourts brassés

Figure 3 : Diagramme de fabrication : « les types de fromage »

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition quantitative du lait (%).

Tableau II : Composition globale de 100g de yaourt

Tableau III : Défauts du yaourt.

Tableau IV. Le mécanisme de la coagulation.

Tableau V Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager:

SOMMAIRE

I Introduction.....	
II Les ferments.....	
II.1. La flore utile	
II.2. La flore indésirable.....	
II.3.La flore d'altération.....	
III. Fermentation	
III.1.La fermentation lactique.....	
III.2. Fermentation alcoolique.....	
III.3.Fermentation acétique.....	
III.4.- Fermentation propionique.....	
III.5- Fermentation butyrique.....	
IV. Les produits fermentés.....	
IV. 1.Les yaourts	
IV. 1 .1.. Introduction.....	
IV. 1 .2... Définition.....	
IV. 1 .3... Classification.....	
IV. 1 .4... Valeur nutritive.....	
IV. 1 .5.. Technologie de fabrication	
IV. 1 .6... Facteurs influant sur la qualité du yaourt.....	
IV. 1 .7.. Défauts de fabrication.....	
IV. 1 .8.. Développement post-étuvage et conservation du yaourt.....	
IV.2Le l'ben.....	
IV.2.1Introduction.....	
.IV.2.2.Composition chimique.....	
IV.2.3.Propriétés physico-chimique.....	
IV.2.4.Propriétés microbiologiques.....	
IV.2.5.Procédé de fabrication artisanal.....	
IV.3 Le fromage	

IV.3 1	Définition.....	.....
IV.3.2.	Les étapes de La fabrication du fromage .....	.....
IV.3 3.	Les grandes familles de fromage.....	.....
IV.3.4.	Exemples de défauts rencontrés dans le fromage.....	.....
IV.3 5.	Consommation Algérienne de fromage.....	.....
IV.3.6.	Les fromages traditionnels en Algérie.....	.....
IV.3 7.	Les contraintes de la filière fromage en Algérie.....	.....
IV.4.	La charcuteri.....	.....
IV.5.	Les légumes lacto-fermentés.....	.....
IV.6.	La fermentation alcoolique .....	.....
IV.6.1.	Quelques exemples .....	.....
IV.6.1.	Le pain.....	.....
IV.6.2.	La bière.....	.....
IV.6.3.	Le vin.....	.....
IV.7.	La fermentation acétique .....	.....
IV.7. 1.	Production du vinaigre.....	.....
IV.8.	La fermentation propionique.....	.....
	Références Bibliographiques .....	.....

I. Introduction

La fermentation est un phénomène naturel, se produisant lors de la décomposition de la matière organique [Collectif d'auteurs, 2007]. Par ailleurs, l'utilisation de la fermentation par l'homme a débuté de manière empirique. Elle était utilisée initialement pour conserver les denrées, préparer du pain, des boissons alcoolisées...Les études montrent que les Sumériens (Basse Mésopotamie), l'utilisaient déjà 8000 ans avant JC. Il faudra néanmoins attendre le XVIIIème siècle pour découvrir les microorganismes mis en cause [BOURGEOIS et al., 1996]. <http://www.blogagroalimentaire.com>]. En 1789, A. Lavoisier écrit le premier article sur la fermentation. Il décrit la « fermentation vineuse » comme une division du sucre en deux portions (alcool et acide carbonique) suite à la réaction d'un « ferment ». De nombreux scientifiques vont alors se lancer dans des recherches sur la fermentation et avancent différentes hypothèses quant à ses causes et déclencheurs. En 1836, trois scientifiques découvrent que la levure est un organisme vivant qui se reproduit par bourgeonnement. C'est Pasteur, en 1857 qui établira que la fermentation alcoolique est due à l'activité métabolique de *Saccharomyces cerevisiae* (levure de bière). Il étudiera ensuite les fermentations acétique, butyrique et lactique, et démontrera que la fermentation est une réaction chimique et biologique, en cultivant les bactéries et levures mises en cause. C'est par ailleurs lui qui donnera la première théorie générale des fermentations: « toute fermentation d'une solution de sucre ou de matière organique résulte de l'activité métabolique d'un micro-organisme spécifique, et s'accompagne de la formation de produits caractéristiques (alcools, acides, cétones et gaz carboniques) » [GUIRAUD, 1998 ; Mazliak ; <http://www.universalis.fr>]. De nos jours la fermentation est utilisée dans de nombreux procédés industriels, et est présente dans l'alimentation du monde entier. D'après la norme AFNOR NFX 42-000 de décembre 1986 : « biofermentations qui utilisent les microorganismes », la fermentation se définit par la « dégradation des substrats glucidiques sans utilisation d'oxygène ». Plus récemment, et suite aux découvertes du XXIème siècle, on caractérise la fermentation comme « l'oxydation de composés organiques sans utilisation d'oxygène, grâce à des systèmes enzymatiques caractéristiques, avec divers composés organiques comme accepteurs d'électrons, souvent sans éjection d'électrons à l'extérieur de la cellule » [Branger, 2004].

II. Les ferments

Différents microorganismes sont retrouvés dans les aliments et sont classés en deux types de flores [Odumeru, 2012]

II.1.La flore utile : c'est la flore positive, que l'on va chercher à favoriser. Elle va permettre les différents processus de fermentation. Elle peut se trouver naturellement dans l'aliment, ou être ajoutée lors des procédés de fabrication.

-II.2.La flore indésirable : c'est la flore négative, que l'on cherche à inhiber. Elle aussi se divise en deux catégories :

II.3.La flore d'altération : ces microorganismes peuvent se développer et entraîner des changements physiques et chimiques dans l'aliment. Cela conduit à des odeurs et saveurs désagréables, formation de mucosités, accumulation de gaz, libération de liquide. Il y a alors dégradation de la qualité gustative et/ou esthétique.

II.3.1.La flore pathogène : ces microorganismes peuvent être dangereux pour la consommation humaine, même à faible concentration. En cas d'ingestion, l'aliment peut être source d'intoxication alimentaire. Traditionnellement, le terme « ferment » se définit comme les « agents microbiens produisant la fermentation d'une substance » [Larouse,<http://www.larousse.fr>]. Ils font donc partis de la flore utile.

L'enjeu en agroalimentaire est donc de sélectionner la flore utile et d'éliminer la flore indésirable. Par ailleurs, les microorganismes peuvent être déjà présents dans les aliments, ou bien, être ajoutés. Dans ce cas, les microorganismes utilisables en industrie alimentaire doivent avoir comme caractéristiques communes [Branger, 2004] :

- de ne pas présenter de risque pour la santé humaine et animale ;
- de ne pas présenter de risque pour l'environnement ;
- d'avoir un développement rapide ;
- d'être facilement utilisables et maîtrisables.

Il faut ensuite décider des critères de choix du microorganisme et établir différents paramètres : les conditions de croissance, la production ou caractères particuliers, les caractères non recherchés, la sensibilité, le fabricant.

Les bactéries aujourd'hui utilisées dans l'industrie alimentaire sont principalement :

- **Les bactéries lactiques** (ordre des Lactobacillales). On les retrouve dans les fromages, la charcuterie et la choucroute. On trouve aussi les bactéries du genre *Brevibacterium* qui interviennent lors de l'affinage de certains fromages, les bactéries acétiques qui ont une utilité dans l'élaboration des produits vinifiés, et enfin les bactéries propioniques qui servent dans la fabrication de fromages à pâte pressée, tels que l'emmental [Branger, 2004]. Ces bactéries utilisées en industries alimentaires ont parfois recours à la fermentation. Leur métabolisme fonctionne en condition anaérobie et permet la formation de déchets d'intérêt pour l'industrie. Le problème du milieu anaérobie réside dans le fait que le NADH,H⁺, produit à partir du NAD⁺ lors de la glycolyse n'est pas retransformé en NAD⁺, bloquant alors la glycolyse et donc une des principales voies de synthèse énergétique pour les bactéries. Cependant, certaines bactéries ont développé des voies différentes qui leur ont permis de régénérer le NAD⁺.

Ce métabolisme du milieu anaérobie peut exister sous différentes formes :

-La respiration anaérobie des nitrates, une voie parallèle à la respiration en milieu aérobie effectué par les bactéries dénitrifiantes (*Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, *Xanthomonas*, *Paracoccus*, ...)

- **Les moisissures** sont des organismes qui, pour se développer, requièrent des conditions de culture peu exigeantes [Guiraud, 1998 ; Anonime1).
- **Température** : en général la croissance est possible entre 4 et 30°C, l'optimum se situant entre 18 et 28°C.

-**pH** : l'optimum se situe entre 4 et 6,5, mais elles ont possibilité de coloniser des milieux très acides (pH 2) via des moisissures acidophiles, mais aussi basiques (jusqu'à pH 11

-**aw**: certaines moisissures peuvent supporter une activité de l'eau de 0,2-0,3.

-**Oxygène** : elles ont la capacité de se développer dans une fourchette très large (de l'air ambiant jusqu'aux produits comportant uniquement des traces d'oxygène).

Néanmoins, les moisissures ne se développent pas en anaérobie. Comme vu précédemment, les moisissures sont des microorganismes saprophytes du sol. Ils se retrouvent donc facilement sur les aliments (notamment les fruits et les céréales). Les moisissures agissent ensuite de façon positive ou négative [Guiraud, 1998]: -Ces micromycètes sont capables de produire une large gamme d'enzymes hydrolytiques (lipases et protéases), elles sont donc

retrouvées en industries alimentaires, notamment dans les procédés d'affinage et de transformation des produits (particulièrement *Penicillium*). Les moisissures sont donc intégrées dans les procédés de fabrication des fromages, de la sauce soja, des boissons alcoolisées ... Par ailleurs, certaines moisissures sont utilisées en biotechnologie pour la formation d'arômes alimentaires. -Cependant, les moisissures peuvent se développer en surface des aliments sans qu'elles y soient désirées. De plus, certaines moisissures produisent des mycotoxines qui peuvent être toxiques pour l'homme (production d'aflatoxine par *Aspergillus flavus* par exemple). On trouve aussi des toxines non toxiques pour l'homme tel que la pénicilline (découverte en 1940) un antibiotique produit par certaines moisissures du genre *Penicillium* (*Penicillium notatum*, *Penicillium chrysogenum*...).

- **Levures**

L'utilisation des levures est très ancienne et date de l'Égypte antique où les Égyptiens, sans connaître la fermentation utilisaient la levure pour fabriquer leur pain. C'est grâce à Louis Pasteur en 1857 que l'on a réellement compris le rôle de la levure dans la fermentation alcoolique [Hunter, 1977]. Les levures sont des eucaryotes unicellulaires, souvent plus grandes que les bactéries, de forme ovoïde ou sphérique (1 à 5 micromètres de large sur 5 à 30 de long). Certaines levures croissent sous forme de filaments mais la plupart bourgeonne puis se scinde en deux cellules filles. La majorité d'entre elles appartient au groupe Eumycètes Ascomycètes [Guiraud, 1998 ; Anonime2 ; Anonime3]. La levure étant eucaryote, son matériel génétique est composé de 16 chromosomes linéaires, situés dans le noyau.

Les levures ont aussi la capacité de se développer aussi bien en aérobiose qu'en anaérobiose. En aérobiose les cellules effectuent une glycolyse classique et ont une forte vitesse de croissance tandis qu'en anaérobiose elles effectuent la fermentation alcoolique, qui est bien moins rentable énergiquement mais conduit à la formation d'un sous-produit intéressant pour l'Homme : l'éthanol. Dans le cadre d'une fermentation, la levure utilise le sucre du milieu extérieur, ainsi leur culture peut se faire sur n'importe quel milieu glucosé, notamment le BCP (bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol). Ce milieu change de couleur lorsqu'il y a fermentation et l'incubation dure 24 à 48h à 28 °C [Bourgeois et al. ,1996 ; <https://fr.wikipedia.org/wiki/Levure>).

]. Actuellement il existe une dizaine de levures utilisées dans différentes industries. La plus exploitée étant *Saccharomyces cerevisiae* utilisée dans la vinification, la panification, la fabrication de bière et de levure de boulanger. Les levures *Kluyveromyces lactis*, *Saccharomyces carlsbergensis* et *Saccharomyces bayanus* sont aussi utilisées dans les

industries alimentaires pour le lait ou la production vinicole *S. cerevisiae* constitue un modèle pour l'étude des levures. Ainsi ces champignons peuvent survivre dans des conditions de vie très diverses:

-**Température de développement** : de 0° à 55°C.

-**Optimum de croissance** : de 12° à 40°C. -pH : croissance possible de pH = 2.8 à pH = 8.

-**Tolérance presque complète vis-à-vis de la dessiccation** (levures sèches).

-**Tolérance vis-à-vis de la pression osmotique** : les levures peuvent pousser et fermenter jusqu'à des concentrations en sucre de l'ordre de 3M.

-**Tolérance alcoolique** : jusqu'à 20% d'alcool.

Les industriels produisent la levure en grande quantité et de qualité, afin d'obtenir une force fermentative efficace. Il faut cultiver les levures pendant 10 jours pour pouvoir les récolter en grande quantité. Aujourd'hui les différentes variables influençant le développement des levures sont contrôlées informatiquement, ce qui permet une production plus sûre et automatisée [Hunter, 1977, <http://www.chambresyndicalelevure>].

En industries alimentaires la levure peut être utilisée sous différentes formes selon les usages que l'on veut en faire, elle peut être active ou inactive, déshydratée ou fraîche. Les levures inactives ne peuvent cependant pas être utilisées pour la panification. En France, la levure la plus utilisée se présente sous forme pressée, il s'agit de blocs compacts contenant un très grand nombre de cellules. Un cube de 1cm de côté contient 10 milliards de cellules vivantes. Selon les procédés et les pays, différents aspects se retrouvent, tels que la levure liquide, émiettée, sèche active, sèche instantanée et sèche à humidité intermédiaire surgelée [Jasniewski et *al.*, 2015)

III. Fermentation

Il existe différents types de fermentations. Elles sont classées en fonction des déchets produits et des ferments utilisés. Dans cette partie, les différentes fermentations sont détaillées en s'appuyant sur des exemples de produits fermentés.

III. 1. La fermentation lactique

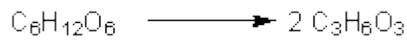
Chez les organismes vivants en aérobiose, l'ATP qui est la forme majeure d'énergie directement utilisable par la cellule, est produit au fil de réactions métaboliques incluant l'oxydation de sucres, notamment du glucose, lors de la glycolyse. La glycolyse met en jeu des cofacteurs oxydés (NAD⁺ et FAD) qui sont réduits. Ils nécessitent donc d'être régénérés au niveau de la chaîne respiratoire [Camus, 2011]. Dans des conditions d'anaérobiose, la molécule acceptrice des protons des cofacteurs réduits est l'acide pyruvique, alors réduit en acide lactique [FAO, 1998]. Ce dernier permet à la glycolyse de perdurer dans des conditions d'anaérobiose, ce qui conduit à la production de 2 molécules d'ATP contre 36 en présence d'oxygène. a) Les produits laitiers Le lait est composé de diverses substances, notamment des matières grasses, qui sont stabilisées par une protéine, la caséine, et des glucides représentés principalement par le lactose. La fermentation du lait permet de le conserver plus longtemps et rend les produits laitiers fermentés plus digestes. Cette transformation du lait est due à la déstabilisation des micelles de caséine par protéolyse, ce qui entraîne sa coagulation. Les caséines représentent 79,5% des protéines totales du lait de vache. Elles sont présentes sous forme de micelles formées par l'association des différentes caséines maintenues entre elles par du phosphate de calcium. Ces micelles sont en suspension dans la phase aqueuse du lait, celles-ci peuvent être dégradées par acidification, c'est ce qu'on appelle la technologie lactique. Le lait est alorsensemencé par des ferments lactiques (le lactose est leur substrat qui sera transformé en acide lactique) qui provoquent son acidification détruisant ainsi les interactions protéines-minéraux et l'édifice micellaire est donc désagrégé.

En fromagerie, on retrouve en plus la technologie présure, la coagulation de la caséine est dans ce cas réalisée via une action enzymatique notamment par la chymosine.

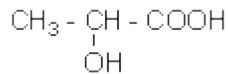
Cette coagulation va avoir diverses conséquences : elle modifie la texture, le goût et la qualité du lait. Le pH est également diminué ce qui permet de limiter la croissance de bactéries

indésirables. Quant à eux, les ferments se multiplient et produisent des composés à l'origine des propriétés organoleptiques des produits laitiers fermentés.

- **Fermentation lactique** : Il se forme de l'acide lactique à partir du glucose.



L'acide lactique ayant comme formule semi-développée :



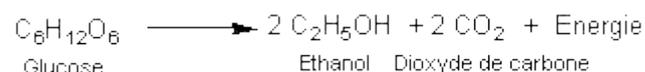
III.2.Fermentation alcoolique:

L'éthanol de l'ensemble des boissons alcoolisées provient de la fermentation du glucose apporté par les plantes, sous l'effet de la zymase, une enzyme produite par des levures (levure de bière : *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, des champignons microscopiques). Les solutions glucosées aqueuses qui contiennent plus de 100 à 250g de sucre par litre, ne fermentent plus. Les solutions que l'on obtient peuvent atteindre une concentration maximale en alcool de 15% en volume ; un taux plus important empêcherait la fermentation. Les plantes ne contiennent, pour la plupart, que peu de glucose, car elles transforment un excédent de cette substance d'assimilation en amidon insoluble ; cet amidon est stocké dans la graine et transformé en sucre lors de la germination par l'enzyme amylase et il est ainsi disponible pour la plante mais aussi pour la fermentation alcoolique. On appelle l'orge germé, du malt, qui est la matière bien connue servant à la fabrication de la bière.

Le whisky écossais provient de l'orge et le whisky canadien, du maïs. On utilise pour la fermentation alcoolique, en complément du malt, de l'amidon de pomme de terre.

On utilise fréquemment pour obtenir des eaux-de-vie des fruits à pépins ou à noyaux comme par exemple la prune, la cerise, la pomme et la poire.

- **Fermentation alcoolique** : Il se forme de l'éthanol à partir du glucose.

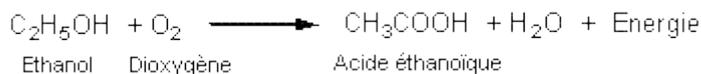


III.3 -Fermentation acétique :

C'est à Louis Pasteur (1808-1873) que nous devons la découverte de la nature biochimique du

processus de formation du vinaigre. A partir de 1865, sur la base des recherches de Pasteur, la production industrielle de vinaigre a connu un grand essor. La bactérie du vinaigre "aceto-bacter" se développe dans le vin non bouché. Les petites mouches qui sont fortement attirées par le vin placé à l'air libre et qu'on appelle mouches du vinaigre (drosophiles) véhiculent l'aceto-bacter. Les bactéries de l'acide acétique forment une couche à la surface que l'on appelle la mère du vinaigre. L'aceto-bacter utilise pour vivre l'énergie libérée par l'oxydation. Les processus qui ont lieu en présence d'oxygène de l'air sont dits aérobie. Toute solution alcoolique diluée peut donner de l'acide acétique ; dans ce cas le taux d'alcool correspond à la quantité d'acide acétique qui résultera de la transformation.

- **Fermentation acétique** : Il se forme de l'acide éthanoïque à partir de l'éthanol.

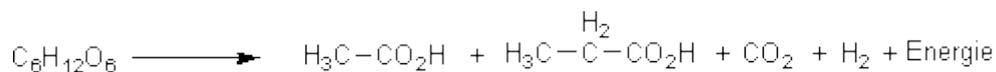


III.4 - Fermentation propionique

L'acide propionique (ou propanoïque) et l'acide éthanoïque sont responsables de la saveur des fromages à pâte cuite et le gaz carbonique responsable de l'ouverture de ces fromages (Comté, Gruyère et Emmental).

Les bactéries qui produisent ce type de fermentation sont les bactéries propioniques (genre *Propionibacterium*).

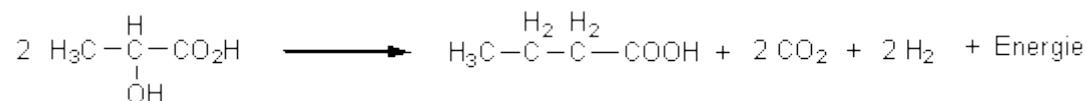
Fermentation propionique : De l'acide propanoïque, de l'acide éthanoïque ainsi que du CO₂ et du dihydrogène se forment.



III.5 - Fermentation butyrique :

L'acide butyrique est responsable de l'odeur putride et du goût piquant de certains fromages à pâte cuite. Cette fermentation a lieu sous l'effet des bactéries *Clostridium butyricum*.

- **Fermentation butyrique** : Il se forme de l'acide butanoïque, du CO₂ et du dihydrogène à partir de l'acide lactique déjà formé par fermentation lactique :



IV. Les produits fermentés

IV.1. 1. Les yaourts

IV.1.1. Introduction

Les produits laitiers préparés par fermentation lactique (comme le yaourt, par exemple) ou par une association de la fermentation lactique et de la fermentation alcoolique par des levures surtout (comme le kéfir, par exemple) sont dénommés laits fermentés ou laits de culture. Le lait de culture ou encore le lait fermenté sont des termes généraux utilisés pour désigner des produits tels que le yaourt, le kéfir, le babeurre de culture, le filmjölk (lait acide scandinave), le koumis (un produit à base de lait de jument) et le raïb.

Toutefois le nom générique de lait de culture vient du fait que le lait destiné au produit estensemencé avec un levain qui transforme le lactose en acide lactique et différentes autres substances tels que le dioxyde de carbone, l'acide acétique, le diacétyle, l'acétaldéhyde. Toutes ces substances donnent aux produits leur goût et leur arôme caractéristiques. Les micro-organismes employés dans la production du kéfir et du koumis produisent également de l'alcool éthylique.

Le lait de culture, né au Proche Orient, est devenu populaire en Europe orientale et en Europe centrale par la suite. Le premier exemple de lait de culture a sans doute été produit accidentellement par des nomades. Le lait "est devenu aigre" et a coagulé sous l'effet de certains micro-organismes. Le hasard a voulu que les bactéries soient inoffensives, d'un type acidifiant et qu'il ne s'agisse pas d'organismes producteurs de toxines.

La légende raconte que le yaourt et le kéfir ont vu le jour sur les pentes du Mont Elbrouz, dans la chaîne du Caucase, par un miracle de la nature. Des microorganismes de différents types ont atterri dans un récipient de lait au même moment et à la juste température et il été possible qu'ils pouvaient vivre en symbiose. Sur le versant sud du Mont Elbrouz, des micro-organismes qui préféraient des températures relativement élevées, 40°-45°C, se sont rencontrés dans une jarre de lait qui appartenait probablement à un nomade turc et cela a produit ce que les turcs appelaient le " *Yogurut* ". Selon certaines sources, ce nom a été introduit au VIII^{ème} siècle et a été

modifié dans sa forme actuelle “yaourt” au XI^{ème} siècle. On prétend en outre, aussi fiable que l’histoire puisse être, que le yaourt a un effet “préservateur ”contre le vieillissement de l’homme. La légende raconte ensuite que le kéfir a été créé sur le versant nord par un mélange de micro-organismes qu’ils se développaient mieux à 25-28°C. Le nom de kéfir peut provenir de la langue turque. La première syllabe du nom, *kef*, signifie agréable en turc, probablement le premier commentaire du berger sur la saveur. Le kéfir contient différents types de micro-organismes dont la levure est le plus réputé parce qu’à même de produire de l’alcool. Le kéfir contient un taux d’alcool maximal d’environ 0,8% [Vignola. 2002].

Le yaourt est le produit laitier de culture le plus connu et le plus populaire presque partout dans le monde. C’est dans les pays du bassin Méditerranéen, en Asie et en Europe centrale, que la consommation de yaourt est la plus élevée. La consistance, le goût et l’arôme varient d’une région à une autre. Dans certaines régions, le yaourt est produit sous forme d’un liquide très visqueux, tandis que dans d’autres pays il se présente sous forme d’un gel plus ou moins consistant. Le yaourt est produit également sous forme de yaourt glacé, comme dessert ou comme boisson. [Vignola. 2002].

IV.1.2. Définition

La dénomination yoghourt ou yaourt est réservée au lait fermenté frais obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement des seules bactéries lactiques thermophiles spécifiques dites *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* qui doivent êtreensemencées simultanément et viables dans le produit fini à raison d’au moins 10⁶ bactéries par gramme rapportées à la partie lactée. La quantité d’acide lactique libre contenue dans le yoghourt ne doit pas être inférieure à 0,8 % (80°D) lors de la vente au consommateur [Ghebbi et al., 1997].

IV.1.3. Classification

Suivant le procédé technologique et plus précisément le niveau d’élaboration du produit à conditionner, le yaourt est classé en plusieurs types :

- **Yaourt ferme** (étuvé), à incubation et refroidissement en pot ;
- **Yaourt brassé**, à incubation en cuve et refroidissement avant le conditionnement ;
- **Yaourt boisson**, similaire au type brassé mais dont le coagulum est “réduit” à l’état

liquide avant le conditionnement ;

- **Yaourt glacé**, à incubation en cuve et congélation comme de la crème glacée ;
- **Yaourt concentré**, à incubation en cuve, concentration et refroidissement avant le conditionnement. Ce type de yaourt est quelquefois dénommé yaourt filtré.

Par ailleurs et bien que la tendance à revenir au yaourt naturel soit clairement perceptible sur certains marchés, les agents de sapidité, les aromatisants et les fruits et baies au sirop, transformés ou en purée, sont les additifs courants . Cependant le yaourt peut présenter différentes variantes :

- **Yaourt aromatisé** : des arômes naturels extraits de fruits ou des arômes de synthèse peuvent être additionnés en cours de conditionnement pour les yaourts fermes et en tanks pour les yaourts brassé et à boire. Quelque soit le type du yaourt, les arômes sont additionné après pasteurisation.
- **Yaourt aux fruits** : on utilise des fruits sur sucre c'est-à-dire des fruits réduits en morceaux ou en purée, additionnés de sucre et traités thermiquement La proportion de fruit est habituellement d'environ 15% dont environ 50% de sucre.

En outre et en réponse à une demande de plus en plus exigeante sur le plan diététique, d'autres types de yaourt ont fait apparition sur le marché, citons le yaourt partiellement écrémé dont le taux de matière grasse oscille entre 0,5 et 03% et le yaourt écrémé dont le taux de matière grasse n'excède pas les 0.5%. En fin des yaourts au édulcorant sont actuellement fabriqués et destinés aux diabétiques. [vignola ,2002].

IV.1.4.. Valeur nutritive

En plus des vitamines et sels minéraux contenus préalablement dans le lait, le yaourt présente en moyenne des teneurs de 04 à 05 % de protéines, 05 à 20 % de glucides selon qu'il est nature ou sucré et 03 % de lipides. Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait [Mahaut et *al.*, 2000].

La digestibilité des protéines du yaourt est beaucoup plus meilleure que celle du lait. En effet la proportion d'acides aminés libres et de petits peptides augmente au détriment de la fraction protéique au cours de la fermentation. Cette proportion est cinq fois plus importante dans le yaourt que dans le lait [Ghebby et *al.* 1997]. En plus, le yaourt permet une bonne assimilation du calcium, phosphore et magnésium, puisqu'une fois solubilisés se fixent aux peptides, acides aminés et acides organiques, facilitant ainsi leur assimilation (Ghebby et *al.* ,1997).

Par ailleurs et selon DILMI-BOURAS et SADOON (2002), le yaourt présente un intérêt probiotique pour le consommateur. La plupart de ses propriétés sont liées à l'ingestion des ferments vivants, dont certains peuvent survivre lors de la traversée du tube digestif. Sa consommation de façon significative permet d'améliorer la tolérance au lactose chez les sujets déficients en lactase ; ceci est possible par le fait que l'activité β -galactosidasique apportée par le yaourt permet d'hydrolyser le lactose.

BOCLE (2005) rapport d'autre effet bénéfique à savoir, un effet anti-tumorale et un effet sur la cholestérolémie, liée à la survie des deux bactéries du yaourt dans le tube digestif.

IV.1.5.. Technologie de fabrication

IV.1.5. 1. Conditions requises générales et principe

La transformation du lactose en acide lactique a un effet préservateur sur le lait. Le bas pH du yaourt empêche le développement des bactéries de putréfaction et d'autres organismes nuisibles, prolongeant ainsi la durée de conservation du produit. D'autre part, le lait acidifié est un milieu très favorable pour la prolifération des levures et moisissures qui, si on les laisse contaminer le produit, donnent naissances à des goûts atypiques.

Dans la production du yaourt, il est nécessaire de créer les meilleures conditions de croissance possibles pour les ferments. Celles-ci s'obtiennent par un traitement thermique du lait pour détruire tout micro-organisme rival. En outre, le lait doit être gardé à une température optimale pour le développement des deux bactéries. Une fois que l'on a obtenu le meilleur goût et le meilleur arôme possibles, le yaourt doit être refroidi rapidement pour bloquer le processus de fermentation.

Un temps de fermentation trop long ou trop court altérera le goût et la consistance ne sera pas bonne. En plus du goût et de l'arôme, un aspect et une consistance corrects sont des caractéristiques importantes. Celles-ci sont déterminées par le choix des paramètres de pré-traitement. Un traitement thermique et une homogénéisation appropriés du lait, quelquefois associés à des méthodes destinées à augmenter la teneur en extrait sec (extrait sec dégraissé surtout), sont essentiels pour une bonne consistance.

IV.1.5. 2. Diagramme de fabrication

La principale matière première pour la fabrication du yaourt est le lait, le lait de vache essentiellement, dont la composition est résumée dans le tableau I

Tableau I: Composition quantitative du lait (%). D'après Vignola 2002

Constituants	Limites des variations	Valeur moyenne
Eau	85,5 – 89,5	87,5
Matières sèches totales	10,5 – 14,5	13,0
• Matière grasse	2,5 – 6,0	3,9
• Protéines	2,9 – 5,0	3,4
• Lactose	3,5 – 5,5	4,8
• Minéraux	0,6 – 0,9	0,8

D'une manière générale, le processus de fabrication du yaourt comporte principalement quatre étapes, il s'agit de la préparation et standardisation du lait, du traitement thermique, de l'ensemencement et la fermentation et du conditionnement et stockage [Paci-kora 2004 et Vignola 2002].

IV.1.5. 2. 1. Préparation/Standardisation

Lorsque la matière première (le lait) n'est disponible que sous forme d'une poudre dégraissée, le lait destiné à la transformation doit être reconstitué à partir de cette poudre en plus de la matière grasse du lait anhydre (MGLA). Le mélange "dissout" dans de l'eau peut être additionné ou non de sucre, d'agent stabilisateur et texturants et de conservateurs.

La standardisation, opération qui consiste à ajuster le taux d'extrait sec dégraissé (ESD) et le taux de la matière grasse ne s'impose que lorsque le yaourt est fabriqué à partir du lait cru et dont le but est de l'enrichir. [Paci-kora 2004 et Vignola 2002].

Tableau II :Composition globale de 100g de yaourt(Kiemptor, 2013).

	Teneur moyenne de 100g de produits								
	Protéines g	Lipides g	Glucide s g	Calcium g	Sodium g	Potassium g	Phosphate g	Valeur énergétique	
								KJ	kca l
Yaourt nature	4,15	1,2	5,2	174	57	210	114	102	48
Yaourt au lait entier	3,8	3,5	5,3	171	56	206	112	284	68
Yaourt nature0%	4,2	Traces	5,4	164	55	180	100	163	39
Yaourt nature sucré	3,8	1,1	14,5	160	52	195	105	347	83
Yaourt aromatisé au lait entier	3,2	3,2	12	140	50	190	106	372	89
Yaourt brassé nature	4,3	1,8	5,2	165	40	205	115	230	55

Yaourt brassé aux fruits	3,75	1,65	14,5	140	50	190	110	368	88
Yaourt au lait entier aux fruits	3,1	2,7	16,5	140	45	180	100	431	103
Yaourt maigre aux fruits	3,6	Traces	17,2	140	45	180	100	351	84

IV.1.5. 2 2. Traitement thermique

Après la préparation/standardisation, le lait éventuellement sucré, subit un traitement thermique. Les températures appliquées varient de 85 à 95°C pendant une durée de 3 à 10 minutes [Boudier 1990 ; Mahaut et *al.*, 2000]. Le traitement thermique a de multiples effets sur la flore microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait.

En effet, le traitement thermique assure des conditions favorables au développement des bactéries lactiques suite à la destruction de la flore pathogène et indésirable [Boudier 1990] et l'inactivation des inhibiteurs de croissance tels que les lactopéroxydases [Farkye et Imafidon. 1995]. En outre, ce traitement entraîne la production d'acide formique qui est un facteur de croissance pour *L. bulgaricus* [Ghebhi et *al.*, 1997]. Le traitement thermique induit également des modifications au niveau des protéines en particulier les protéines lactosériques en plus, il modifie les équilibres salins et entraîne une augmentation de la taille des micelles de caséines et la quantité d'eau liée [PACI-KORA. 2004].

IV.1.5. 2. 3. Ensemencement et fermentation lactique

Le lait standardisé ou enrichi et traité thermiquement, subit un refroidissement à la température de fermentation qui oscille de 40 à 45°C ; température optimale de développement symbiotique des bactéries lactiques du yaourt [Ghebhi et *al.*, 1997].

L'ensemencement varie de 1 à 7% suivant le type de l'inoculum et le type de yaourt à produire [PACI-KORA. 2004] et le ratio *S. thermophilus/L. bulgaricus*. Après ensemencement, le lait peut être conditionné puis étuvé, s'il s'agit du yaourt ferme, ou bien laissé fermenter en tank si le yaourt à fabriquer est de type brassé.

Lors de la croissance les deux bactéries dégradent le lactose en acide lactique provoquant ainsi l'abaissement du pH et la gélification du milieu ; conséquence d'une modification structurale irréversible.

En dépit de ces modifications ces bactéries produisent des composés carbonyles volatils tels que l'acétaldéhyde, le diacétyl et des exopolysaccharides qui participent, respectivement, à l'élaboration de l'arôme et de la texture du yaourt [Cerning et *al.*, 1990; Ott et *al.*, 2000].

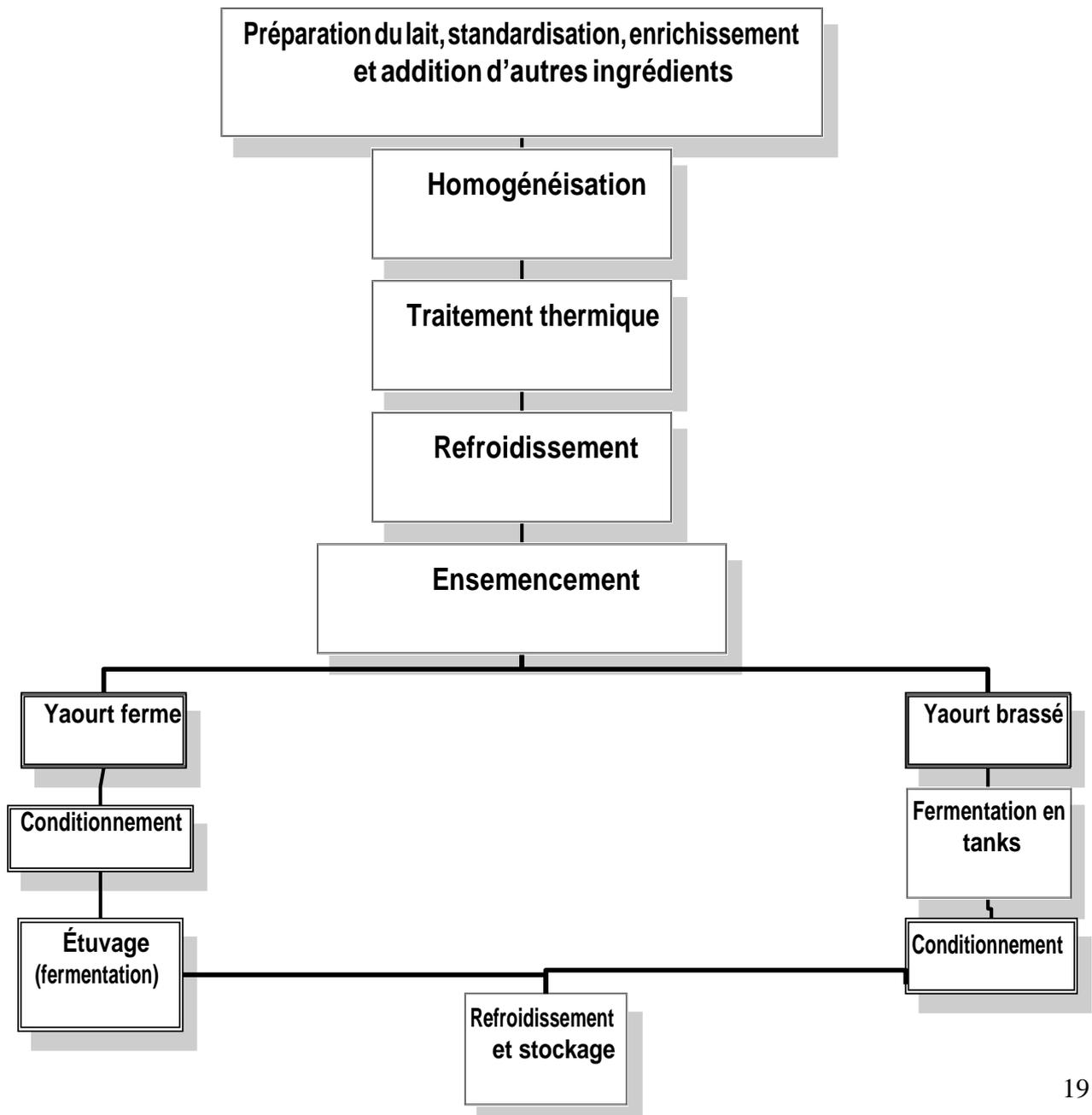
Dès que le pH atteint une valeur comprise entre 4.7 et 4.3, un refroidissement

rapide (la vitesse de refroidissement varie suivant le type du yaourt) est appliqué afin de mettre fin à la fermentation. [PACI-KORA 2004 et Vignola, 2002].

IV.1.5. 2. 4. Conditionnement et stockage

Que se soient fermes ou brassés, les yaourts conditionnés subissent une conservation frigorifique à des températures de 4 à 6°C. A ce stade ils sont prêts à être consommés. La caducité du produit varie, suivant les conditions de production, de 21 à 24 jours. Pendant la conservation, les bactéries lactiques maintiennent une activité résiduelle très réduite, appelée post-acidification qui se manifeste par un léger abaissement du pH. [Loones 1994 in GHEBBI et al, 1997] Voir figure

Figure 01: Diagramme simplifié de fabrication du yaourt. Adapté de VIGNOLA (2002)



IV.1.6. Facteurs influant sur la qualité du yaourt

De nombreux facteurs doivent être contrôlés avec attention pendant le procédé de fabrication dans le but de produire un yaourt de haute qualité qui ait le goût, l'arôme, la viscosité, la consistance et l'apparence requis, qui ne soit pas sujet à une synérèse accrue et qui ait une longue durée de conservation :

IV.1.6. 1. Choix du lait

Le lait destiné à la production de yaourt doit être d'une bonne qualité bactériologique. Il doit avoir une faible teneur exempte de bactéries et substances susceptibles d'empêcher le développement du levain du yaourt. Le lait ne doit pas contenir d'antibiotiques, bactériophages, résidus de solutions de nettoyage ou d'agents de stérilisation. En fin le lait doit être analysé très soigneusement à la centrale laitière. [Vignola. 2002].

IV.1.6. 2. Standardisation du lait

La teneur du lait en matière grasse et en matière sèche est généralement standardisée suivant les normes et les principes d'usage

IV.1.6. 2. 1. Matière grasse

Le yaourt peut avoir une teneur en matière grasse de 0 à 10%. Toutefois, le taux de matière grasse le plus courant est de 0,5 à 3,5%. En effet et suivant ce taux on peut distinguer différents types de yaourt cités précédemment.

IV.1.6. 2. 2. Matière sèche

Selon le Codex Alimentarius (2004), la teneur minimale en matière sèche est de 10 %. Une augmentation de la teneur totale en matière sèche, notamment du pourcentage de caséine et de protéines de lactosérum, donnera lieu à un coagulum de yaourt plus ferme et atténuera la tendance à la séparation du lactosérum. Les procédés d'ajustement de la teneur en matière sèche les plus pratiqués sont :

- Evaporation (10-20% du volume de lait est normalement évaporé);
- Addition de poudre de lait écrémé, habituellement jusqu'à 3%;
- Addition de lait concentré;

IV.1.6. 3. Additifs laitiers

Du sucre ou des édulcorants, des stabilisateurs et des conservateurs peuvent être utilisés comme additifs dans la production de yaourt. [VIGNOLA. 2002].

IV.1.6.4. Dégazage

Le taux d'air dans le lait utilisé pour fabriquer des produits laitiers de culture en générale doit être le plus bas possible. Quelque mélange d'air est toutefois inévitable si

la teneur en matière sèche dégraissée (MSD) est accrue par addition de poudre de lait. Le cas échéant, une phase du procédé consiste à dégazer le lait. Lorsque la teneur en M.S.D. est accrue par évaporation, le dégazage fait partie de ce procédé. Le dégazage offre les avantages suivants :

- Conditions favorables pour la fermentation ;
- Amélioration de la stabilité et de la viscosité du yaourt ;
- Élimination des goûts atypiques volatiles (désodorisation) ;
- Moins de risques d'engorgement pendant le traitement thermique.

IV.1.6. 5. Homogénéisation

Le lait destiné à la production de yaourt est homogénéisé principalement pour prévenir la formation de crème pendant la période d'incubation et pour assurer une répartition homogène de la matière grasse du lait par éclatement de globule gras. L'homogénéisation améliore aussi la stabilité et la consistance du produit fini. Néanmoins l'homogénéisation peut présenter l'inconvénient de favoriser la lipolyse par libération d'acides gras. [Vignola. 2002].

IV.1.6. 6. Traitement thermique

Le lait est soumis à un traitement thermique avant d'être inoculé avec le levain en vue de :

- Améliorer les propriétés du lait en tant que substrat pour la culture des bactéries,
- Garantir que le coagulum du yaourt fini sera ferme,
- Réduire le risque de séparation du lactosérum dans le produit final.

Un traitement thermique à 90-95°C et un chambrage d'environ 05 minutes permettent d'obtenir un résultat optimal. Cette combinaison température/temps altère environ 70-80% des protéines lactosériques. Notamment, la β -lactoglobuline, qui est la protéine lactosérique principale, interagit avec la k-caséine, contribuant ainsi à donner au yaourt un "corps" stable. [Vignola. ,2002].

IV.1.6.7 . Choix de levain

L'obtention d'un yaourt doux et aromatique avec une consistance épaisse et homogène nécessite l'utilisation d'un levain convenable, comportant des souches ayant des propriétés intéressantes .Cependant, arriver à trouver des souches rassemblant tous les paramètres technologiques désirés, n'est pas facile, puisque chaque caractéristiques varie grandement d'une souche a une autre à l'intérieur d'une même espèce [Ghebbi et *al.*, 1997].

IV.1.6.8. Défauts de fabrication

Généralement le yaourt peut présenter trois catégorie de défaut, il s'agit de : défauts de goût, défauts d'apparence et défauts de texture. Ces différents types de défauts sont rapportés sommairement dans les tableaux III

Tableau III : Défauts du yaourt. (Anonyme ,2004)

Défauts du goût	
Amertume :	Trop longue conservation Activité protéolytique trop forte des ferments
Goût levure et moisi, fruité, alcool	Contamination par des moisissures Fruits de mauvaise qualité pour les yaourts aux fruits
Goût plat, absence d'arome	Mauvaise activité de ferments
Manque d'acidité (yaourt très doux)	Mauvaise activité des levains, taux d'ensemencement trop faible incubation trop courte.
Trop d'acidité :	Taux d'ensemencement trop fort Refroidissement pas assez poussé, trop lent Conservation à trop haute température
Rancidité :	Contamination par des germes lipolytiques ou oxydation de MG
Goût farineux de poudre	Poudrage trop poussé
Goût oxydé	Présence de métaux (fer ; cuivre)
Goût de cuit	Traitement thermique trop sévère
Goût aigre	Mauvaise conduite des levains
Goût gras	Teneur en matière grasse trop élevée
Défauts d'apparence	
Décantation et synérèse	Sur acidification, température trop élevée pendant le stockage, conservation trop longue
Production de gaz	Contamination par levures ou coliformes
Colonies en surface	Contamination par levures ou moisissures
Couches de crème	Mauvaise ou absence d'homogénéisation
Défauts de texture	
trop filant :	Mauvais ferments Température d'incubation trop faible
Trop liquide (brassé) :	Brassage trop violent, mauvaise incubation (temps trop faible), matière sèche trop faible, mauvais ferments
Texture sableuse :	Chauffage du lait trop important, homogénéisation à température trop élevée, poudrage trop fort, mauvais brassage
Texture granuleuse :	Mauvais brassage, teneur en matière grasse trop élevée, mauvais ferments
Manque de fermeté (yaourt étuvé) :	Ensemencement trop faible, mauvaise incubation (temps et/ou température trop faible), agitation avant complète coagulation Matière sèche trop faible

IV.1.6.9. Développement post-étuvage et conservation du yaourt

Le yaourt est un produit laitier de durée de vie assez limitée ; il peut se conserver environ trois semaines sous réserve d'être maintenu au froid [BOURGEOIS et LARPENT 1996]. Une conservation à 5°C pendant trente jours modifie peu la flore lactique, en revanche une température plus élevée entraîne une baisse plus marquée du nombre de *L. Bulgaricus* que des *S. thermophilus* se qui se manifeste par une post-acidification importante [Hamann et Marth., 1984].

La congélation influence défavorablement la survie des bactéries lactiques, elle provoque une perte de 30 à 80%. Le taux de survie est inférieur à 10% après trois mois de conservation a -18°C.

Le traitement thermique post-fermentaire dans le but d'augmenter sa durée de conservation à des conséquences très négatives sur l'intérêt nutritionnel du produit obtenu ; outre l'inactivation et la destruction de la flore du yaourt, il provoque des diminutions importantes des vitamines et d'enzymes, en particulier la lactase. ALAIS *in* GHEBBI et al. 1997, rapporte qu'une conservation à des températures avoisinant les 8 à 10°C ne doit pas dépasser dix jours.

Le yaourt doit être conservé à une température inférieure à 8°C, pendant une durée de 21 jours maximum. Durant cette période, les bactéries ne se multiplient pas mais conservent une activité métabolique. Ainsi de l'acide lactique est encore produit à partir du lactose, permettant d'abaisser légèrement le pH et d'augmenter la saveur acide du yaourt (post-acidification). L'action d'enzymes protéolytiques peut entraîner une diminution de la viscosité ou de la rigidité du gel, voire faire apparaître des peptides de saveur amère [Pujol-Dupuy. 2004].

En raison de son pH bas (pH \approx 4), le yaourt est un milieu défavorable au développement des bactéries pathogènes. Par contre les levures et les moisissures peuvent s'y développer, déviant ainsi la fermentation vers la voie alcoolique et formant une couche de mycélium à la surface du yaourt ou se développant dans la masse. Cependant, le traitement thermique du lait servant à la fabrication des yaourts est suffisant pour les détruire.

De ce fait, les levures et moisissures de contamination proviennent essentiellement de l'environnement ambiant en cours de fabrication [Bourgeois et Larpent, 1996].

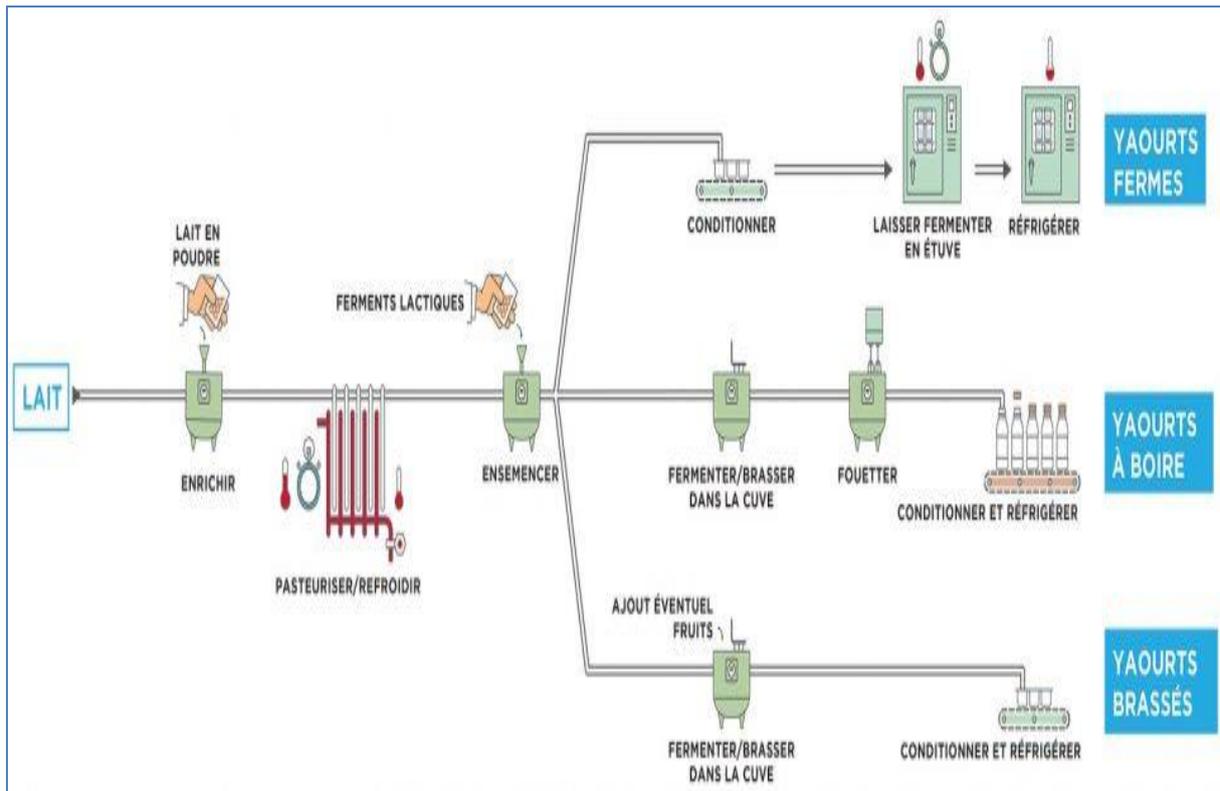


Figure2 : Processus de transformation des yaourts fermes, yaourts à boire et yaourts brassés

IV.2.Le l’ben

IV.2 .1.Introduction

Le l’ben est un lait fermenté, écrémé, traditionnel préparé par acidification spontanée du lait cru de vache, de brebis ou de chèvre sous l’action fermentaire des flores lactiques originelles (Samet-Bali et al. 2010). Il est utilisé surtout comme boisson rafraichissante et apprécié pour ses qualités organoleptiques (acidité, arôme, ...), mais aussi sa valeur nutritionnelle est loin d’être négligeable. En effet, il ne diffère du lait que par le léger mouillage dont il subit, et par l’élimination d’une quantité variable de la matière grasse, et par la fermentation d’une partie du lactose (Tantaoui-Elaraki et al., 1983).

IV.2.2.Composition chimique

La composition chimique du l'ben est variable, elle dépend des localités des régions, des fermes, de la composition chimique du lait cru de départ et de la procédure de fabrication (**EL Baradei et al., 2008**).

IV.2 .3..Propriétés physico-chimique

Les caractères physico-chimiques du l'ben varie en fonction de la nature du lait utilisé, de conditions de coagulation, de l'intensité de l'écémage et de la quantité d'eau additionnée lors de mouillage (Amiot et al. ,2002 ;Aissaoui, 2004).

IV.2 .4 Propriétés microbiologiques

Les premières études sur la composition microbiologique des laits fermentés datent de la fin du 19ième siècle (**Obermann et al., 1998**).

Au Maroc, une étude de la flore microbienne impliquée dans la fermentation du lait pour produire le « l'ben » a montré que les bactéries lactiques mésophiles sont responsables de la fermentation lactiques et du développement de l'arome dans le « l'ben », elles peuvent atteindre 10^8 UFC /ml (**Ouadghiri, 2009**).

Les espèces *Lactococcus* et *Leuconostoc* sont prédominantes dans le « l'ben », les *Lactobacillus* spp sont présents à faible nombre (**Tantaoui-Elaraki et al (1983a)** et **Tantaoui-Elaraki et al (1983b)**).

III.3.4 Procédé de fabrication artisanal

En Algérie la fabrication de produits laitiers fermentés est essentiellement artisanale. Ils sont semblables à certains produits laitiers largement consommés dans beaucoup de pays méditerranéens et sub-sahariens. (**Benkerroum, 2013 ; Choubaila 2018**). Le l'ben est l'un des dérivés laitiers le plus connu dans la transformation artisanale du lait. Il est largement consommé en Algérie, il est extrait suite au barattage du Rayeb et séparation du beurre (**Harrati, 1974-b ; Camps, 1984 ; Mechai et al., 2014**).

Sa préparation artisanale est simple, le lait est abandonné à lui -même jusqu'à sa coagulation. Celle-ci se fait à température ambiante et dure 24 à 48 h selon la saison. Le barattage qui lui succède dure 30 à 40 minutes. À la fin du barattage, on ajoute généralement un certain volume d'eau (environ 10% du volume de lait), chaude ou froide, suivant la température ambiante, de façon à ramener la température de l'ensemble à un niveau

convenable au rassemblement des grains de beurre (Tantaoui-Elaraki et al., 1983 ; Ouadghiri, 2009).

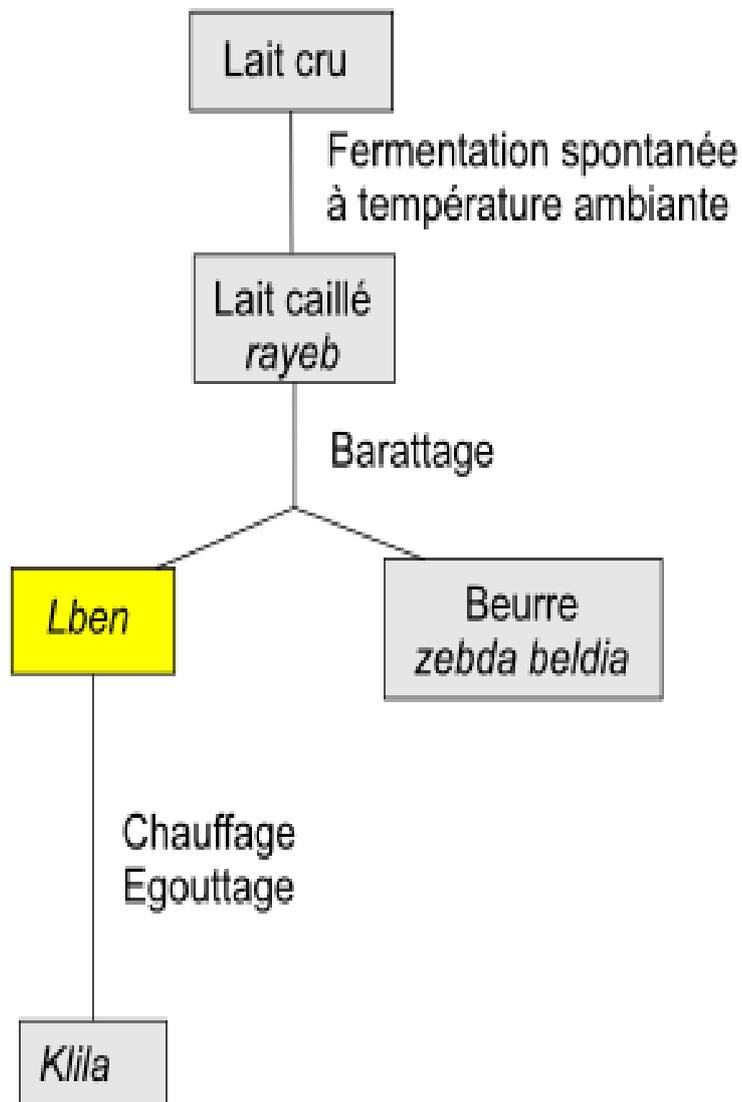


Figure3 : Diagramme de fabrication traditionnel d'un L'ben

III.4. Le fromage

III.4.1. Définition

Dans la réglementation française, la dénomination "fromage" désigne un produit fermenté ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait qui peut être partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur en matière sèche du produit doit être au minimum de 23 g pour 100 g de fromage, à l'exception de certains fromages frais (JORF, 1988)

« Le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure, qui peut être enrobé et dans lequel le rapport lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait, et qui est obtenu : par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de présure tout en respectant le principe selon lequel la fabrication du fromage entraîne la concentration des protéines du lait ou par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation des protéines du lait. » [Codex Alimentarius, 1978].

On peut distinguer au moins 4 grandes familles : pâtes dures, pâtes pressées, pâtes molles et pâtes fraîches. La texture va dépendre de la vitesse de progression de l'acidification et l'aromatisation va, quant à elle, dépendre du métabolisme des ferments utilisés [BRANGER et al., 2012].

III.4.2, Les étapes de La fabrication du fromage

Les étapes de La fabrication du fromage sont résumés comme suit :

1- **Le caillage** : des ferments lactiques ou de la présure sont ajoutés au lait pour provoquer sa coagulation il va alors se fractionner en deux :

- « le caillé » (la partie solide), qui va servir à faire les fromages ;
- « le petit lait » (partie liquide), utilisé pour l'alimentation du bétail.

Tableau IV. Le mécanisme de la coagulation (Dillon et Berthir, 1997).

	Caillé lactique	Caillé présure
Obtention	Action des bactéries lactiques	Action de la présure (mélange de chymosine et de pepsine)
Mécanisme	L'apport d'une quantité croissante	action de la présure

	<p>d'acide lactique déstabilise progressivement les micelles de caséines, les H⁺ neutralisant les charges négatives présentes en périphérie des micelles.</p> <p>Les micelles déstabilisées vont s'unir pour former un gel, réseau protéique qui piège la matière grasse et la phase aqueuse.</p>	<p>décompose en 2 phases :</p> <ul style="list-style-type: none"> - phase primaire enzymatique où la présure lyse spécifiquement la caséine \hat{e} et lui fait perdre ses propriétés stabilisantes. - phase secondaire où les micelles déstabilisées s'agrègent grâce à des liaisons minérales essentiellement calciques pour former un gel homogène.
Facteurs de coagulation	<ul style="list-style-type: none"> · Lait riche en protéines coagulables. · Acidification lente et progressive. 	<ul style="list-style-type: none"> · Lait riche en caséines et en calcium dissous. · Température et pH optimaux au moment de l'emprésurage 40°C et pH=5.
Structure physique	Faible cohésion entre les micelles et les submicelles.	Micelles soudées entre elles par des liaisons calciques.
Propriétés du caillé	Déminéralisé car l'acidification induit la solubilisation des sels minéraux dans le sérum fragile et friable.	Minéralisé. Déformable et élastique.
Egouttage	<ul style="list-style-type: none"> · Le sérum s'écoule spontanément entre les micelles. · Egouttage spontané, lent et limité. · Niveau d'égouttage faible. 	<ul style="list-style-type: none"> · A cause de la cohésion entre les micelles le sérum ne peut s'écouler qu'en périphérie. · Egouttage mécanique rapide et poussé.

		· Niveau d'égouttage fort.
Conséquence en fromagerie	Fromage humide de petit format. Extrait Sec 10-35%. pH caillé = 4,6. Conservation courte (Quelques semaines si affinage).	Fromage sec de gros format Extrait Sec 50-60% pH caillé = 5,2 Conservation longue (Plusieurs mois).

- 2- **L'égouttage** : le caillé se contracte et le petit lait s'écoule. Cette séparation se fait spontanément. Il peut être accéléré par brassage, tranchage et chauffage.
- 3- **- Le moulage** : la mise en forme des fromages se fait soit dans des moules perforés, soit par pressage dans des toiles cerclées de bois ou d'autres matériaux.
- 4- **Le pressage** : cette étape permet d'éliminer l'excès d'eau. On utilise un poids que l'on met sur le moule. Cette étape n'est pas obligatoire car elle dépend du type de fromage que l'on veut obtenir.
- 5- **Le salage** : réparti à l'intérieur ou sur la surface, le sel permet de maîtriser le développement de micro organismes spécifiques
- 6- **L'affinage** : Pour les fromages blancs, les opérations s'arrêtent avec l'égouttage. Pour tous les autres types de fromage commence l'affinage (période de maturation du fromage), il dure de plusieurs jours à quelques mois. Le caillé se transforme en pâte, sous l'effet de la fermentation, le goût et l'odeur apparaissent. Les fromages font l'objet de soins manuels constants (retournement, brossages...). La température et l'humidité ont une influence remarquable sur la progression de l'affinage pour atteindre la saveur finale. C'est la dernière étape de fabrication du fromage et, c'est lors de cette phase que le fromage va développer son goût, son arôme et ses caractères définitifs au niveau de l'aspect et de la texture. L'affinage est effectuée dans une cave. Le travail en cave consiste à contrôler et orienter le développement des agents d'affinage. Cela se fait selon le type de fromage que l'on veut fabriquer.

Quelques exemples des microorganismes entre dans la fabrication des fromages :

- **Le Camembert** : *Penicillium camembertii*,
- **Le Munster** : le fromage était lavé à l'eau salée, *Brevibacterium linens*,
- **Le Roquefort** : (*Penicillium roqueforti*) l'oxygène nécessaire à leur développement.
- **L'Emmental** : les bactéries, la première (une bactérie lactique) rejetant du lactate, la seconde (une bactérie propionique) mangeant ce lactate et rejetant du CO₂, responsable des bulles dans la pâte. On assiste alors à une véritable coopération entre les micro-organismes, surtout à la surface du fromage.

III.4 .3. Les grandes familles de fromage

Les différents types de fromages présentent des caractères spécifiques liés à la fois au mode de coagulation et d'égouttage et à la flore microbienne, qui libère des enzymes

responsables de la saveur, de la texture et de l'aspect de la pâte. On peut définir les différents types de fromage qui sont :

III.4 .3.1. Fromages frais

Le fromage frais résulte de la coagulation lente du lait par action de l'acidification combinées ou non à celle d'une faible quantité de présure. Le fromage frais présente une grande diversité selon le degré d'égouttage et la teneur en matière grasse du lait mis en œuvre. Ces caillés restent très humides (75-80%) et sont peu minéralisés. la pâte a un pH bas (4, 34, 5), n'a pas de cohésion et se prête à la fabrication de fromage sans forme ou de format réduit et de courte conservation (**Michel et al., 2000**). Les fromages frais se caractérisent tous par :

- Un caillé non pressé et une teneur élevée en eau.
- Une faible sensation acide
- Un produit à consommer sans période de maturation.

Exemple : Fromages blancs divers Petits suisses, Double ou Triple-crème... (Chavroux, Carré Gervais, Brillat-Savarin...), Mascarpone, ricotta...

III.4 .3.2. Fromages à pâte molle, à croûte lavée ou fleurie

La grande gamme des pâtes molles s'explique par les grandes diversités des conduites d'affinage. Les caillés obtenus sont mites a caractères lactique ou à caractère présure .La

recherche d'une synchronisation entre l'acidification et l'égouttage permet l'obtention d'un caillé caractéristique d'un fromage défini par son extrait sec, son pH et son degré de minéralisation (**Lenoir et al., 1985**). Lorsque l'on passe d'une technologie à caractère lactique vers une technologie à caractère présure :

- Le pH d'empresurage (6,60), la température, (34-36 °C) et la dose de présure (30-40ml/100l de lait) augmentent, le coagulum est plus finement découpé, l'acidité de sérum est faible.

Le développement de la mécanisation en fromagerie de pâte molles a donc conduit les industriels, pour des raisons de rendement, de productivité et de qualité, à se diriger vers des technologies à caractère plus présure

III.4 .3.3. Fromages à pâte pressée

Les catégories des fromages à pâte pressée désignent un ensemble de fromages très variés dans leur composition, leur format et leur aspect extérieur (croûte sèche ou présence d'une couverture microbienne). La coagulation à caractère enzymatique nécessite des lait frais et l'emploi de doses élevées en enzyme coagulant. Le temps de prise est court et la phase de durcissement est réduite pour éviter la déminéralisation du gel. Le pressage permet de compacter les grains et d'évacuer le lactosérum inter-granulaire (**Lenoir et al., 1985**). La bonne cohésion de la pâte permet la fabrication de fromages de gros format.

Les pâtes pressées se divisent en 2 familles :

1-Pâte pressée non cuite :

Elle présente une teneur en matières sèche comprise entre 44 et 55%. Certain PPNC subit un délactosage afin de limiter l'acidification et la baisse AW qui a un rôle important sur la sélection microbienne et sur l'action d'enzyme.

- Les PPNC à croûte sèche (edam, gouda, cantal, raclette...).
- Les PPNC à croûte fongique (tommes ...).
- Les PPNC à croûte morguée (saint-paulin...).

2- Pâte pressée cuite :

Elles subissent une cuisson (53-55 °C) pendant 30 - 50 min) lors de travail en cuves afin d'effectuer un égouttage plus poussé pour atteindre un extrait sec final 60% à 63%. Ce sont des fromages de garde, on distingue

-
- :Le groupe emmental qui se caractérise par des fromages de gros format (65 à 110 kg) à croûte sèche présentant des trous dans la pâte dus à la formation des propénoïques lors du passage en cave chaude (16 à 18 °C).
 - Le groupe du gruyère qui regroupe des fromages à croûte morguée, de format plus réduit présentant peu ou pas de trous dus à une faible fermentation propionique (**Lenoir et al., 1985**).

III.4 .3.4. Pates dures

Leur teneur en extrait sec (64%-72%) et leur durée de conservation peut atteindre 2 à 3 ans et en font de véritables fromages de garde. Leur technologie se rapproche de celle des fromages à pâte pressée cuite : le tranchage est poussé et le brassage est effectué à chaud pendant 1 à 2 heures avec une montée en température 55-58 °C, ce qui permet d'atteindre l'extrait sec recherché. La croûte est séchée et brossée régulièrement, parfois huilée (**Lenoir et al., 1985**).

III.4 .3.5. Pates filées

Ce sont des fromages d'origine italienne comme la mozzarella ou le provolone. Ces fromages présentent une grande analogie avec la fabrication des pâtes pressées jusqu'à la fin du brassage en cuve. Après soutirage du lactosérum, les grains sont alors pressés, laissés au repos pendant 3 à 8 heures jusqu'à un ES de 50-53% nécessaire pour avoir un bon filage. Le caillée est ensuite découpé en lamelles. Celles-ci sont alors immergées dans l'eau ou le lactosérum 70-85°C, pendant 10 à 20 min afin de favoriser l'élasticité et le filage. Le conditionnement est varié ; il peut être sous forme de balle, de cylindre ou de disque (**Lenoir et al.,1985**).

III.4 .3.6. Fromages fondus

A l'origine, la fabrication du fromage fondu permettait de recycler la fabrication défectueuse de gruyère. Actuellement, toutes les catégories de fromages sont utilisées en plus de beurres, de la caséine et de la protéine de lactosérum. Le procédé de fonte de fromage a pour fonction de transformer par la chaleur et avec l'aide de sels de fonte le gel de paracaseine insoluble en un sol de paracaseine c'est-à-dire de le faire passer à un état homogène et fluide ou

La masse de fromage peut être pasteurisée, et le sol se transforme en gel homogène. Les sels de fonte agissent comme émulsifiants et chélatants ; ils sont autorisés dans la limite de 3% du poids du produit fini. Sont autorisés par législation :

- Les polyphosphates de sodium.
- Les orthophosphates de sodium.
- Le citrate de sodium.
- L'acide citrique.

La cuisson et le brassage sont généralement effectués dans des pétrins à double paroi pour atteindre des températures de 90- 95°C, voire 120- 125 °C pour la stérilisation. La durée de conservation exceptionnelle permet son exportation dans les pays chauds (**Michael et al., 2000**).

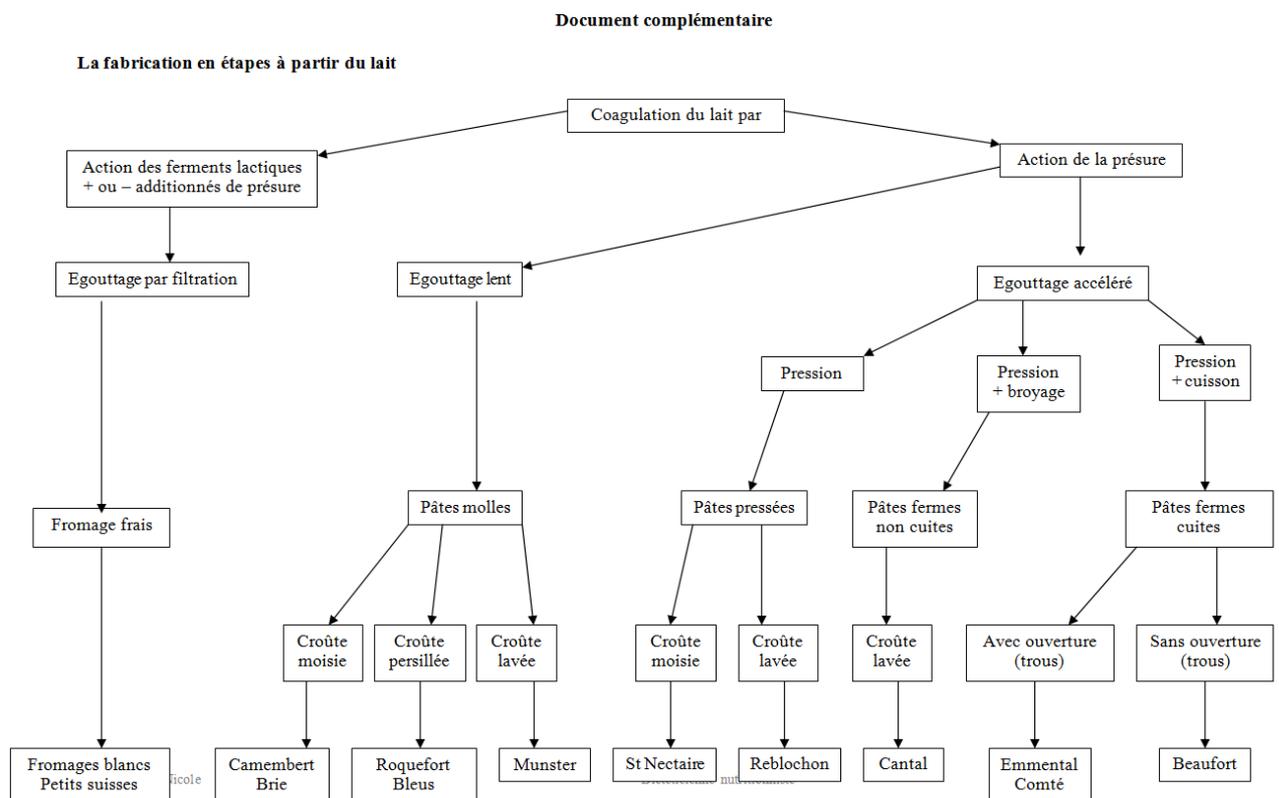


Figure 3 :Diagramme de fabrication : « les types de fromage »

III4..4 Exemples de défauts rencontrés dans le fromage

Au cours du processus technologique et pendant le stockage, quelques défauts technologiques peuvent apparaître. Ces défauts sont résumés dans le **tableau V**

Tableau V Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager: (Berger et al., 1998).

Aspect de la pâte	Origines possibles	Remèdes
La pâte n'est pas homogène	<ul style="list-style-type: none"> - Le pH est faible, et sa valeur dépend de la matière première employée (ex : emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar). - La teneur de sel de fonte est faible. - Le temps de cuisson étant court. 	<ul style="list-style-type: none"> -Augmenter le pH. - Augmenter la dose. - Augmenter le temps.
Le fromage fondu liquide	<ul style="list-style-type: none"> - La matière première utilisée n'est pas affinée, n'arrive pas à crémer ou à l'inverse, est trop vieille et ne gonfle pas. - Les sels de fonte employés n'étaient pas crénants. - Le mélange contient une 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée. - Mettre un sel de fonte crémant - Vérifier la qualité d'eau.

	pas exacte. - Brasseur d'une vitesse faible.	
A l'ouverture du pétrin la pâte est relativement épaisse	pH faible	-Augmenter le pH
Un goût prononcé de fromage	-Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux où une valeur élevée du pH.	- Si c'est possible de mélanger la matière première à un fromage plus jeune. - Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le goût indésirable.

	quantité élevée d'eau.	
La pâte forme des fils	- L'emploi des sels n'est pas adéquat. - Temps de fonte court. - Dose de sels de fonte n'est	- Augmenter le temps. - Augmenter la dose de sels. - Augmenter la vitesse des brasseurs.

III.4.5.La consommation Algérienne de fromage

Les habitudes alimentaires des Algériens évoluent à mesure que l'offre de produits alimentaires disponibles se diversifie. Un des secteurs en plus forte croissance est celui des produits laitiers, notamment des fromages. A tel point que l'Algérie est devenue une des marchés préféré pour les exportateurs de fromage. Au fil des années, la consommation

fromagère augmente. Les algériens consomment surtout du fromage fondu (20 000 tonnes par an)

III.4.6. Les fromages traditionnels en Algérie

En Algérie, les fromages ont une longue histoire et sont traditionnellement fabriqués par des processus anciens à partir du lait de vache, de chèvre, de brebis ou de mélanges. Plus de 10 fromages traditionnels sont produits dans tout le territoire algérien, les fromages les plus célèbres sont

6.1 Bouhezza

Ce type de fromage est répandu dans le territoire de l'Aurès (zone Chaouia). Il est fabriqué à partir de lait de chèvre, de vache ou de brebis baratté et écrémé (Iben) (Touati, 1990; Hallal, 2001). Lesalage, l'égouttage et l'affinage sont réalisés simultanément dans une outre perméable (Chekoua) avec incorporation de poudre de piment rouge la fabrication de bouhezza dure plusieurs semaines à plusieurs mois, il a un goût acidulé fort caractérisé au fromage (Zaidi, 2002).

6.2 Jben

Le Jben est un fromage traditionnel frais obtenu par coagulation enzymatique (présure extrait à partir de la caillette de veau). Le lait destiné à la fabrication est chauffé, une fois tiède, un fragment de caillette bovine est macéré dans le lait. Après coagulation du lait et égouttage, le caillé ainsi obtenu peut être salé ou additionné de quelques épices ou de plantes aromatiques, sa composition est donnée dans le tableau suivant (Abdelaziz et Ait kaci, 1992)

6.3 Klila

La klila est préparée à partir du Iben chauffé sur feu doux pendant 12 minutes environ pour favoriser la séparation du caillé et du lactosérum et accélérer le processus d'égouttage. Le lait caillé est égoutté dans un tissu fin. La klila peut être consommée à l'état frais ou additionnée à certains plats traditionnels après avoir été coupé en petits cubes et séchés au soleil (Touati, 1990)

6.4. Takammart

D'après (Hellal, 2001), c'est un fromage du Hoggar, il est fabriqué par introduction d'un bout de caillette de jeunes chevreaux dans le lait, après quelques heures, le caillé est retiré à l'aide

d'une louche et déposé en petits tas sur une natte et sera ensuite pétri pour évacuer le sérum puis déposé sur une autre natte faite de tige de fenouil sauvage qui lui donne de l'arome. Les nattes sont ensuite placées à l'ombre jusqu'à durcissement du fromage. Le fromage peut subir un affinage durant un mois (Abdelaziz et Ait kaci, 1992). Selon (Oteng-Gyang, 1984), il existe un fromage nommé Ahaggar. C'est un fromage séché et dur, est produit au Niger, en Inde "Tikkamarin" et en Afghanistan.

6.5 Aoules

Il est fabriqué à partir du lait de chèvre qui est extrêmement aigre. Après une coagulation intense, le fromage obtenu a une pâte dure (matière sèche représente 92%). L'égouttage se fait dans une paille ensuite, il est reformé sous forme des boules plates séchées au soleil, il peut être consommé en mélange avec les dates (Abdelaziz et Ait kaci, 1992).

6.6 Lebaa

La matière première est le colostrum, parfois il est mélangé avec des œufs, il est salé puis bouillit pendant 15 mn environ. Le produit obtenu est appelé lebaa (Lemouchi, 2008)

6.7. Méchouna

Il est fabriqué à partir du lait cru qui est chauffé jusqu'à ébullition. Ensuite, on ajoute de lait fermenté «lben» ou «rayeb» et du sel. En utilisant une gaze, le mélange est laissé égoutter. Il est consommé frais ou avec la galette (Lemouchi, 2008)

6.8. Madghissa

Le fromage est connu dans la zone du Chaouia coté Est du pays. Il est préparé avec la klila fraîche après salage et incorporation du lait frais. L'ensemble est porté à ébullition sur feu doux jusqu'à séparation du caillé et de lactosérum. Après refroidissement du mélange, la marmite est basculée pour éliminer le lactosérum. Le fromage ainsi préparé est une pâte jaune salée et élastique appelée Madghissa (Aissaoui, 2003)

III.4.7..Les contraintes de la filière fromage en Algérie

Parmi les principales contraintes de la filière fromagère en Algérie on peut citer:

- Une production laitière locale actuelle ne permet pas encore de couvrir la demande du marché.
- Le manque de l'effort de l'investissement dans la filière lait et dérivés. et la faible émergence des grandes entreprises multinationales (Allaya, 1995).
- Les carences sur les aspects de la qualité hygiénique et nutritionnelle.
- L'absence des élevages orientés à la transformation fromagère (Allaya, 1995).

•La production locale ne couvre qu'une faible partie de la demande en fromage. •Une grosse partie des fromages (frais ou à pâte molle) produits en Algérie sont fabriqués avec de la poudre de lait importée et subventionnée par l'état (CEFAM, 2015).

•La gamme des fromages fabriqués en Algérie reste étroite (Camembert, fromage frais, fromage fondu, pâtes pressées) (BBFA, 2015).

La surconsommation de poudre de lait au niveau des usines de production de produits laitiers est en partie la cause de la crise, selon les distributeurs.

Notons par ailleurs que le total des exportations françaises du lait écrémé en poudre, vers l'Algérie a atteint en juin 2018 près de 1 048 tonnes contre 7 070 tonnes en 2017 soit une baisse de 85.2%, selon un bilan de France Agrimer. Le cumul des exportations durant le premier trimestre 2018 a atteint 23 140 tonnes contre 24 303 tonnes en 2017 soit une baisse de 4.8%.

III.5. La charcuterie

Le saucisson sec est un produit cru et fermenté. Il est composé d'un boyau animal dans lequel est introduit un mélange de viande hachée, de sel, de sucre (glucose, lactose...), d'épices et de ferments. Le produit formé subit ensuite une phase d'étuvage de 72h à une température comprise entre 20 et 25°C puis une phase de séchage entre 13 et 14°C d'une durée variable, entre 15 et 75 jours. Ces deux phases ayant pour même objectif la dessiccation du produit et le développement de la flore.

La viande de porc ne contient que très peu de glucides, c'est pour compenser ce manque que du sucre est ajouté à la viande hachée, fournissant ainsi des substrats pour la fermentation bactérienne. Les deux ferments ajoutés à la préparation sont :

-**Des Lactobacilles**, bactéries à Gram positif anaérobies. Ils dégradent le lactose et le glucose en acide lactique par voie fermentaire, ce qui entraîne une acidification du milieu.

-**Des Micrococcaceae** dont *Staphylococcus* est le genre le plus adapté au milieu du saucisson. Ils réduisent les nitrates en nitrites et jouent alors un rôle dans la coloration du produit. Ils réalisent également une lipolyse permettant la synthèse de molécules aromatiques (cétones). Ces deux ferments, en plus d'élaborer le goût, la texture et la couleur du saucisson entraînent une inhibition de la croissance des microorganismes pouvant altérer le goût du saucisson ou être pathogènes. Cette inhibition est permise par l'acidification du milieu et le développement de la flore positive, cela s'ajoute à l'abaissement de l'activité de l'eau entraîné par le salage.

D'autres ferments, des levures et des moisissures, sont également déposés à la surface des saucissons. Leur développement permet de contribuer au séchage des saucissons, à leur maturation, au développement des arômes et à l'aspect général du produit. Par sa présence physique à la surface des saucissons, cette flore constitue elle aussi un frein au développement des microorganismes indésirables.

III.6. Les légumes lacto-fermentés [Montel et *al.*, 2005.]

La fermentation lactique n'est pas seulement utilisée pour conserver les produits laitiers, elle permet également la conservation de champignons et de légumes de toutes sortes : choux, betterave, carotte, haricot, oignon, etc. Cette technique consiste à conserver les légumes en favorisant le développement de bactéries lactiques qui acidifient le milieu et inhibent ainsi la croissance des autres organismes indésirables. Pour que la fermentation ait lieu, il faut que toutes les conditions de développement des bactéries lactiques soient réunies. Ainsi, les légumes doivent fournir du sucre, des vitamines du groupe B et des sels minéraux. La fermentation se déroulant en milieu anaérobie, l'oxygène doit être chassé du milieu, pour cela, les légumes sont le plus souvent recouverts d'eau salée (le sel inhibant les bactéries responsables de la décomposition des légumes). Enfin, la température doit se trouver entre 18 et 22°C en début de fermentation.

La fermentation se déroule ensuite en 3 phases :

- La préfermentation, d'une durée de 2-3 jours où de nombreuses espèces de microorganismes se développent, entraînant la décomposition et le ramollissement des légumes.
- La fermentation, qui débute lorsque les bactéries lactiques prennent le dessus sur les autres microorganismes.
- Le stockage, lorsque le pH descend en dessous de 4 °C, les microorganismes indésirables ne sont plus capables de se développer et de nouveaux arômes se révèlent. Les légumes peuvent ensuite être conservés durant au moins un an même si la température monte au-dessus de 10°C. Cette méthode de conservation est donc non seulement économique puisque qu'elle ne nécessite aucun apport d'énergie mais également bonne pour la santé car les bactéries lactiques produisent en parallèle de nombreuses vitamines et l'acide lactique a de nombreuses vertus digestives.

III.7. La fermentation alcoolique

Lors de la fermentation alcoolique, plusieurs changements peuvent apparaître : un dégagement de gaz carbonique, une augmentation de la température et de la couleur, un

changement d'odeur et de saveur, une diminution de la densité (transformation du sucre en alcool) et une augmentation des volumes.

III.7.1. Quelques exemples :

III.7.1.1. Le pain : Les levures de boulangerie sont de type aéroanaérobie [Pasteur, 1864].

En aérobiose : les levures respirent et se multiplient abondamment au dépend du glucose, mais sans formation d'alcool [Pasteur, 1864].

SUCRE + OXYGENE \diamond CO₂ + EAU + ENERGIE (700 Kcal)*

En anaérobiose : le sucre est en grande partie transformé en alcool au détriment de l'énergie libérée. On observe une faible multiplication des cellules.

SUCRE \diamond CO₂ + ALCOOL + ENERGIE (20 Kcal)

** énergie libérée par oxydation totale d'une molécule de glucose

- **Action de la levure en panification :** Son activité débute dès son incorporation dans la pâte et s'arrête 5 minutes après le début de la cuisson. Au cours du pétrissage en aérobiose, les cellules se multiplient rapidement. Puis durant le pointage (1^{ère} fermentation), la levure fermente et produit du CO₂ mais également beaucoup d'alcool, ce qui se traduit par un développement des arômes et parallèlement une diminution du pH (acidification). Après 1 heure d'activité, les sucres simples préexistants dans la farine sont consommés. Elle poursuit alors son action grâce au maltose provenant de l'hydrolyse de l'amidon. Durant l'apprêt (2^{ème} fermentation), la production de CO₂ est plus importante, elle s'accroît encore au cours des premières minutes de cuisson jusqu'à 50 °C, température où la levure est inactivée.

III.7.1.2. La bière : La présence de levures est une condition indispensable à une bonne fermentation alcoolique. Celles-ci doivent avoir un métabolisme anaérobie et être immergées. La température doit se situer entre 20 et 25°C.

Il existe 4 types de fermentations :

- **La fermentation spontanée :** dans ce procédé ancestral, les levures sauvages naturellement présentes dans l'air libre contaminent le mout, l'ensemencent et stimulent ainsi sa fermentation. - La fermentation haute : on ajoute des levures de type *Saccharomyces cerevisiae* au mout. Une fois qu'elles ont épuisé le glucose, les levures remontent à la surface. Les bières ainsi produites ont une forte teneur en alcool.

- La fermentation basse : on ajoute des levures de type *Saccharomyces carlsbergensis* au moût. Ces levures ont la particularité de migrer vers le fond de la cuve. Les bières ainsi produites sont moins alcoolisées, mais ont une teneur plus riche en CO₂, et un goût prononcé de houblon
- .La fermentation mixte qui allie les deux processus de fermentation haute et basse.

III.7.1.3 Le vin [Montel et al., 2005]

En 1876, Pasteur écrivait : « le goût et les qualités du vin dépendent certainement par une grande part de la nature spéciale des levures qui se développent pendant la fermentation de la vendange ». Ainsi les souches *Saccharomyces cerevisiae* sont appréciées pour leur aptitude à révéler l'arôme soufré des vins Sauvignons (en libérant des thiols volatils lors de la fermentation qui interviendront dans l'arôme du vin). Cependant, un moût de vin ayant des potentialités aromatiques très complexes, il est difficile de savoir si les levures utilisées sont les plus performantes. Ces variations possibles permettent d'échapper à la standardisation et de personnaliser les crus ou les millésimes.

III.8 La fermentation acétique

L'acide acétique provient de l'oxydation de l'alcool par l'oxygène de l'air. Le vin, la bière, le cidre et en général tous les liquides alcooliques fermentés s'aigrissent au contact de l'air.

Louis Pasteur s'est appuyé sur les expériences des vinaigriers de son temps ainsi que sur les effets de la fermentation pour déterminer la nature du ferment utilisé. Il a découvert que pour fabriquer un nouveau vinaigre, il suffisait de mélanger du vinaigre à du vin.

Il montre que le ferment est un être vivant qu'il appelle *Mycoderma aceti* (fleur de vinaigre) «on croirait avoir sous les yeux un amas de petits grains ou de petits globules. Il n'en est rien». Avec quelques tâches de *Mycoderma aceti* déposées sur une surface alcoolique, il constata le lendemain ou surlendemain que la surface est recouverte d'un voile formé par le mycoderme. Il observa la multiplication dans toutes les directions de ces mycodermes et effectua par la suite de nombreuses expériences pour montrer que *Mycoderma aceti* était le seul ferment dans la production du vinaigre. (Matsushita et al., 2005)

La réaction de fermentation acétique simplifiée est : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{-COOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Energie}$

Pasteur en 1864 établit ainsi scientifiquement le processus de fabrication du vinaigre. Il se succède en réalité plusieurs réactions pour former l'acide acétique :

18 -Formation de l'acétaldéhyde à partir de l'éthanol catalysé par l'alcool déshydrogénase, formation de 2 protons et 2 électrons.-Hydratation de l'acétaldéhyde

.-Formation de l'acide acétique catalysé par l'aldéhyde déshydrogénase, formation de 2 protons et 2 électrons

.-Les électrons sont transférés dans la membrane où se trouve un système de transporteur d'électrons (comparable à celui de mitochondries). Le dioxygène est alors réduit en H₂O. Matsushita et *al.*, 2005)

III.8 1.Production du vinaigre :

Il existe plusieurs méthodes de production du vinaigre :

1. La méthode allemande : elle consiste en un mélange d'alcool et de copeaux de hêtre, qui contiennent la bactérie nécessaire au déroulement de la fermentation. Le tout est placé dans un tonneau ventilé de bas en haut. Le vinaigre est récupéré en bas du tonneau [Lopez, 2013].

2.La méthode d'Orléans: elle consiste à faire une culture d'*Acetobacter aceti* en mélangeant dans un tonneau ventilé le vin et du vinaigre. Les bactéries sont alors présentes principalement à l'interface air-liquide c'est à dire en surface. Il s'agit d'une méthode de culture statique. Aujourd'hui cette méthode est utilisée pour produire du vinaigre traditionnel et de qualité [Roig., 2012]. Depuis les travaux de Pasteur, la bactérie *Acetobacter aceti* est mise en culture rationalisée pour une production de vinaigre industrielle. Le processus de fermentation est ainsi accéléré, autrefois de 3 semaines, il est aujourd'hui possible de produire d'importantes quantités de vinaigre en 24 heures[Lopez., 2013]. La méthode industrielle implique l'utilisation d'un bioréacteur fonctionnant avec un niveau élevé d'aération et des bactéries immergées dans la solution de culture. La fabrication du vinaigre industriel utilise différents processus résumés dans le diagramme suivant:

Le vinaigre peut être fabriqué à partir de différentes matières premières notamment du raisin, du riz, des pommes, des baies, des céréales, du petit-lait ou du miel. La législation concernant l'appellation vinaigre varie selon les pays: en Europe la concentration en acide acétique doit être au moins de 60g.L⁻¹ et aux Etats-Unis elle doit être d'au moins 40g.L⁻¹ [Roig, 2012.].

III.9 La fermentation propionique

La fermentation propionique utilise une grande diversité de substrats : les sucres, le glycérol,l'acide lactique, l'acide malique. La fermentation propionique ayant pour substrat l'acide lactique joue un rôle majeur en fromagerie. Les bactéries la réalisant sont les bactéries du genre *Propionibacterium*[FAO,1998].Ces bactéries sont divisées en deux catégories : les cutanées et les laitières, ces dernières étant utilisées en fromagerie. Pouvant se développer sur des sources de carbone très diversifiées et sans une exigence particulière concernant les

sources azotées, elles nécessitent néanmoins un apport impératif en minéraux, en biotine (vitamine B5) et en acide pantothénique. Cette fermentation conduit à la formation de propionate, d'acétate et de CO₂, à partir de glucose ou de lactate, et a lieu en anaérobie. Ces ferments sont couramment utilisés dans l'industrie fromagère, notamment pour la fabrication de fromages à pâte pressée cuite du type emmental. Le dioxyde de carbone, libéré par la fermentation propionique, est à l'origine de l'ouverture de la pâte, c'est-à-dire de la formation de trous dans le fromage. Par ailleurs, les produits de cette fermentation participent à l'enrichissement de la saveur de ces fromages. Ainsi, l'affinage des fromages est réalisé à des températures permettant le développement de flore propionique. (12°C ou 24°C) [FAO,1998].

21 En fin d'affinage, les proportions élevées (200mg/100g de fromage) en acide propionique sont caractéristiques des fromages à pâte pressée cuite. En moyenne, un gruyère contient 222mg d'acide propionique pour 100g de fromage [Berdague et *al.*, 1987]. Les bactéries du genre *Propionibacterium* ont également la capacité de survivre dans différents milieux de vie, allant du fromage au lait fermenté : elles résistent à des variations de température assez importantes (de 4°C durant la conservation de fromages affinés au froid jusqu'à 44°C durant la fabrication de laits fermentés)[Normand et *al.*, 2006].

Références Bibliographiques

- Amiot J. et al. (2002). Science et technologie du lait : Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait, Ed. Polytechnique (Québec).
- Berg, J., Tymoczko, J., Stryer, L., (2012). Biochemistry, Seventh edition. W. H. Freeman & Company, Chapter 16 : Glycolysis and gluconeogenesis, 468.
- Bourgeois C. M. (1996). Microbiologie alimentaire, Ed. II, Lavoisier (Paris),
- Branger, A., (2004). Fabrication de produits alimentaires par fermentation : les ferments. Techniques de l'ingénieur, F3500, 1-15.
- Branger, A., Richer, M.-M., Roustel, S., (2012). Microbiochimie et alimentation. Educagri éditions, Chapitre 8 : Aliments et fermentations : ferments et stratégies, 180-185.
- Branger, A., Richer, M.-M., Roustel, S., (2012). Microbiochimie et alimentation. Educagri éditions, Chapitre 7 : Quelques systèmes microbiens : la métabiose du saucisson sec, 150-157.
- Berdague, J.-L., Jeunet, R., Grappin, R., Duboz, G., (1987). Affinage et qualité du Gruyère de Comté III : Fermentation lactique et teneur en acides gras volatils des fromages de Comté. Hal, le Lait 67, 249-263.
- Camus, G., (2011). La fermentation lactique et son utilisation dans la fabrication du yaourt [en ligne]. Disponible sur : <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/fermentation-lactique/fermentation-lactique.html/>.
- Codex Alimentarius, World Health Organization, (1978). Codex Standard 283-1978 : Norme générale Codex pour le fromage [en ligne]. Disponible sur : www.codexalimentarius.org/input/download/standards/175/CXS_283f.pdf.
- Collectif d'auteurs, (2007). Microbiochimie et alimentation. Educagri éditions. Chapitre 3 : Dynamique et flux cellulaire, 52-53.
- De Roissart H. et Luquet F. M. (1994). Bactéries lactiques.. Ed. Loriga (Paris)
- Delaunay, S., (2015). L'hybridation moléculaire. ENSAIA 1ère année. Encyclopédie Larousse. Définition de ferment [en ligne]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ferment/33299>.
- Eddleman, H., (1998). Disknet : Optimum Temperature for Growth of Bacteria [en ligne]. Disponible sur : http://www.disknet.com/indiana_biolab/b062.htm
- Guiraud J.P, (1998). Microbiologie alimentaire, Ed. Dunod ,Paris
- Hunter, P., (1977). General Microbiology: The Student's Textbook. C.V. Mosby, 179-183.
- Jasniewski, J., Mathe, C., Muniglia. L., (2015). Cours de biochimie structurale et moléculaire. ENSAIA 1ère année
- Lee, B., H., (2014). Fundamentals of Food Biotechnology, Second Edition. Wiley-Blackwell, 18-19.
- Labbe, B., (2009). Slideplayer : Micromycètes [en ligne]. Disponible sur : <http://slideplayer.fr/slide/3154159/>.
- Lopez, F., (2013). Membrane Processing : Dairy and Beverage Applications. Wiley-Blackwell, Chapter 15 : Application of Membrane Technology in Vinegar, 334-338.
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brule, G., (2000). Initiation à la technologie fromagère, deuxième édition. Tech & Doc, Chapitre 5 : Egouttage du coagulum, 86

Matsushita, K., Inoue, T., Adachi, O., Toyama, H., (2005). Acetobacter aceti Possesses a Proton-Motive-Force-Dependent Efflux System for Acetic Acid. *Journal of Bacteriology*, 187, 4346–4352.

Mazliak, P.. Encyclopædia Universalis : « FERMENTATIONS - (repères chronologiques) », [en ligne].

Meyer, A., Dejana, J., Bernard, A., (2004). Cours de microbiologie générale : avec problèmes et exercices corrigés, deuxième édition. Doin, Chapitre 3 : Nutrition et croissance des bactéries et des champignons, 115.

Microbia. Les moisissures [en ligne]. Disponible sur : <http://microbia.free.fr/TS2ABM/Mycologie/moisissures.pdf>.

Moreda, R.. Morphologie et structure. Disponible sur : <http://biotechnologie.ac-montpellier.fr/spip.php?article>

Moreau, C., (1979). Nomenclature des *Penicillium* utiles à la préparation du Camembert. *Hal, Le Lait* 59, p.219-233

Montel, M., C., Beranger, C., Bonnemaire, L., (2005). Les fermentations au service des produits de terroir. INRA éditions, 137 -142.

Normand, M., Roland, N., Richoux, R., Kerjean, J.-R., (2006). Propriétés probiotiques des bactéries propioniques laitières [en ligne]. Programme Nutrition Santé en Bretagne, 2-3. Disponible sur : http://contact.standa.pagesperso-orange.fr/_fr/PRESSE/proprieteprbiotiquepropio072006.pdf.

Odumeru, J., A., (2012). Food Biochemistry and Food Processing. Wiley-Blackwell, Microbial Safety of Food and Food Products, 787-789.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le Réseau d'information sur les opérations après récolte (INPhO) (1998). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine [en ligne]. Collection FAO:

Pasteur, L., 1864. Mémoire sur la fermentation alcoolique. *Annales scientifiques de l'E.N.S. 1^{ère} série*, tome 1, 113 -158.

Raynal, G.. INRA : Moisissure sur orange due à *Penicillium italicum* et *P. digitatum* [en ligne]. Disponible sur : <http://mediatheque.inra.fr/media/detail/163542/private>.

Revol, A.- M., (2015). Le monde microbien. ENSAIA 1^{ère} année.

Roig, V., (2012). Académie Aix-Marseille : La fabrication du vinaigre par les bactéries [en ligne]. Disponible sur: https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2012-09/fabrication_vinaigre_acetobacter.pdf.

Tan, S., C., (2005). Vinegar fermentation [en ligne]. Disponible sur : <http://ucfoodsafety.ucdavis.edu/files/192137>

Todar, K.. *Todar's Online Textbook of Bacteriology : Nutrition and Growth of Bacteria* [en ligne]. Disponible sur : http://textbookofbacteriology.net/nutgro_4.html.

Sites internet

Anonime 1 : Académie de Grenoble. Le métabolisme énergétique chez les bactéries chimio-organotrophes. Disponible sur : http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/sti-biotechnologies/pages/microbiologie/cours_metabolisme.htm#

Anonime 2 : Alimentation et nutrition n° 28, Chapitre 5 : Lait fermentés. Disponible sur : [http://www.fao.org/docrep/t4280f/T4280F0D.HTM#Chapitre 5 Lait fermentés](http://www.fao.org/docrep/t4280f/T4280F0D.HTM#Chapitre%205%20Lait%20ferment%C3%A9s)

Anonime 3 : Blog Agroalimentaire: Les aliments fermentés [en ligne]. Disponible sur : <http://www.blogagroalimentaire.com/aliments-fermentes/>.

Futura-sciences. Bactérie [en ligne]. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/dico/d/medecine-bacterie-101/>.

Abonnement de la bibliothèque aux ressources électronique de l'éditeur elsevier : www.sciencedirect.com et au système SNDL.

