

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires  
Filière : Sciences Alimentaires  
Option : Industrie Laitière



Réf:.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

## **Thème**

# **Utilisation des bactéries lactiques dans la fabrication du yaourt**

Présenté par :

**M<sup>elle</sup>. KHENNICHE Noudjoud**

**Soutenu le : 19 Juin 2017**

Devant le jury composé de :

**M<sup>r</sup>. TAMENDJARI Abderezak**

**M<sup>me</sup>. BOUALI Nora**

**M<sup>me</sup>. OUKIL Naima**

Professeur

MAC

MAA

Président

Promotrice

Examinatrice

**Année universitaire : 2016 / 2017**

## Remerciements

*J'exprime ma profonde gratitude à ma promotrice M<sup>me</sup>.  
BOUALI Nora pour m'avoir assisté tout au long de mon  
travail.*

*Je tiens aussi à remercier les membres de jury : M<sup>r</sup>.  
TAMENDJRI Abderezak, et M<sup>me</sup>. OUKIL Naima  
d'avoir accepté de juger ce présent travail.*

*J'exprime ma grande reconnaissance à tous ceux qui ont  
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste  
travail surtout KAKOU.*

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Composition de la matière grasse du lait de vache.....	<b>04</b>
<b>02</b>	Les principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques.....	<b>13</b>
<b>03</b>	Mécanismes d'action des microorganismes probiotiques.....	<b>14</b>
<b>04</b>	Voies fermentaires de la dégradation du glucose.....	<b>19</b>
<b>05</b>	Métabolisme du citrate chez <i>Lactococcus lactis ssp</i> .....	<b>21</b>
<b>06</b>	Les interactions de <i>Streptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	<b>23</b>
<b>07</b>	Diagramme de production de ferments lactiques concentrés congelés ou lyophilisés.....	<b>29</b>
<b>08</b>	Aspect des cellules de <i>Streptococcus thermophilus</i> sous microscope électronique.....	<b>36</b>
<b>09</b>	Aspect des cellules de <i>Lactobacillus bulgaricus</i> sous microscope électronique.....	<b>37</b>
<b>10</b>	Diagramme de fabrication du yaourt étuvé aromatisé.....	<b>38</b>
<b>11</b>	Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt.....	<b>46</b>

---

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>I</b>	Composition moyenne du lait de vache.....	<b>03</b>
<b>II</b>	Classification des protéines du lait de vache.....	<b>05</b>
<b>III</b>	Composition minérale du lait de vache.....	<b>06</b>
<b>IV</b>	Composition vitaminique moyenne du lait cru.....	<b>07</b>
<b>V</b>	Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache.....	<b>07</b>
<b>VI</b>	Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine.....	<b>10</b>
<b>VII</b>	Les différents genres des bactéries lactiques.....	<b>16</b>
<b>VIII</b>	Besoins vitaminiques de quelques bactéries lactiques.....	<b>18</b>
<b>IX</b>	Composition des laits en poudre.....	<b>35</b>
<b>X</b>	Causes possibles de standardisation inadéquate d'un mélange et l'incidence sur la qualité du yaourt.....	<b>39</b>
<b>XI</b>	Causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt.....	<b>40</b>
<b>XII</b>	Causes possibles de traitement thermique inadéquat et incidences sur la qualité du yaourt.....	<b>41</b>
<b>XIII</b>	Composition physico-chimique du yaourt.....	<b>43</b>
<b>XIV</b>	Composition nutritionnelle de différents types de yaourt .....	<b>49</b>

# *Sommaire*

**Liste des figures****Liste des tableaux**

<b>Introduction</b> .....	01
---------------------------	----

**Chapitre I : Généralités sur le lait**

1. Lait.....	02
1.1. Composition du lait.....	02
1.2. Propriétés physico-chimiques du lait.....	07
1.3. Microflore du lait.....	09
2. Lait fermenté.....	09
2.1. Principaux types de laits fermentés.....	09
2.2. Probiotiques.....	12
2.2.1. Critères de sélection.....	12
2.2.2. Effets santé associés aux probiotiques.....	13
2.2.3. Activité antimicrobienne des probiotiques.....	14

**Chapitre II : Bactéries Lactiques**

1.Caractéristiques générales des bactéries lactiques.....	15
1.1.Principaux genres des bactéries lactiques.....	15
1.2. Besoins des bactéries lactiques.....	16
1.3. Fermentation lactique.....	18
1.4. Fonction des bactéries lactiques.....	19
1.4.1.Production d'acide lactique.....	19
1.4.2.Activité protéolytique.....	20
1.4.3. Activité aromatique.....	20
1.4.4.Activité texturante.....	22
1.5. Comportement associatif des deux bactéries lactiques.....	22
1.6. Principaux facteurs influençant sur le métabolisme des bactéries lactiques.....	23
1.6.1. Facteurs physiques.....	23
1.6.2. Facteurs chimiques.....	24
1.6.3. Facteurs microbiologiques.....	24
2. Fabrication des ferments lactiques.....	25
2.1. Ferments lactiques.....	25
2.2. Types de ferments.....	25
2.2.1.Ferments artisanaux.....	26
2.2.2. Ferments industriels.....	26
2.3. Technologie de production des ferments lactiques.....	26
2.3.1. Modes d'ensemencements.....	27
2.3.2. Diagramme général de production des ferments.....	27
2.3.3. Conservation et modes de commercialisation des ferments lactiques.....	29

2.4. Qualité et critères de sélection des ferments lactiques.....	30
2.4.1. Critères de sécurité.....	30
2.4.2. Fonctionnalités technologiques.....	31
2.4.3. Performances.....	32
2.4.4. Propriétés probiotiques.....	32
2.4.5. Aspects relatifs aux mélanges de souches/espèces.....	33

### Chapitre III : Yaourt

1. Yaourt, Lait fermenté.....	34
2. Caractères généraux de la flore du yaourt.....	34
3. Processus technologiques de la fabrication du yaourt.....	34
3.1. Matières utilisées.....	34
3.1.1. Lait frais.....	34
3.1.2. Poudre du lait.....	34
3.1.3. Bactéries lactiques.....	35
3.2. Diagramme de fabrication des yaourts.....	37
3.2.1. Réception du lait.....	38
3.2.2. Standardisation.....	39
3.2.3. Homogénéisation.....	40
3.2.4. Traitement thermique.....	40
3.2.5. Refroidissement.....	41
3.2.6. Ensemencement.....	41
3.2.7. Réchauffage.....	42
3.2.8. Conditionnement.....	42
3.2.9. Etuvage et Stockage.....	42
4. Qualités du yaourt.....	43
4.1. Aspects physico-chimiques.....	43
4.2. Aspects hygiéniques.....	43
4.3. Qualités organoleptique.....	43
4.3.1. Gélification acide.....	44
4.3.2. Comportement rhéologique.....	44
4.3.2.1. Viscosité.....	45
4.3.2.2. Facteurs influençant la viscosité du yaourt.....	45
5. Qualités nutritives du yaourt.....	48
5.1. Effets nutritionnels.....	48
5.2. Effets bénéfiques sur la santé humaine.....	49
<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>

# *Introduction*

L'industrie alimentaire, comme les produits laitiers fermentés, cherche à améliorer la structure et la texture des aliments, pour optimiser leur qualité ; comme par exemple les yaourts, en faisant varier un ou plusieurs facteurs à savoir la composition du mélange de départ, le traitement par chauffage du mélange avant la fermentation, la modification de la composition des ferments et les conditions d'incubation, manipulation du produit fini et ajout de stabilisants (**PELLETIER et al., 2007**).

Au fil des siècles, l'homme a commencé à développer des techniques de transformation aboutissant à différents produits avec de nouvelles propriétés physicochimiques (fromage, yaourt, poudre de lait,...) permettant une meilleure conservation du produit contre l'altération, de nos jours, ces différentes méthodes de transformation artisanales ont été améliorées, suite au progrès scientifique qu'a connu le domaine de l'agroalimentaire et ont été intégrées dans des procédés industriels permettant de produire plus et mieux, répondant de cette manière à un marché qui devient plus exigeant (**WEUSTER-BOTS, 2000**).

En plus de son importance nutritionnelle, le yaourt a été identifié pendant longtemps en tant que nourriture saine due à l'action bénéfique de ses deux bactéries vivantes (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), ces dernières concurrencent les bactéries pathogènes aussi bien dans l'aliment que dans l'environnement (**TAMIME, 2002**).

L'objectif de cette étude bibliographique est d'avoir des informations plus précises sur l'importance de l'utilisation des bactéries lactiques dans la fabrication du yaourt, dans les processus technologiques de fabrication et l'intervention des bactéries lactiques.

*CHAPITRE I :*

*lait*

## **1. Lait**

Le lait est la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans rien ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur, le lait était défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée, il doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir du colostrum », tout lait provenant d'une femelle laitière autre que la vache devra être clairement caractérisé (**Snappe et al., 2010**).

Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme, la date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite, le lait cru doit être porté à l'ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogènes), il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24h (**Fredot, 2006**).

Le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires, il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour la qualité et assurer une plus longue conservation (**Jeantet et al., 2008**).

### **1.1. Composition du lait**

Le lait est un substrat très riche fournissant à l'homme, et aux jeunes mammifères un aliment presque complet. Protides, lipides, sels minéraux, et vitamines sont présents à des concentrations tout à fait satisfaisantes, pour la croissance, et la multiplication cellulaire (**Larpen et Bourgeois, 1995**).

Le tableau I présente la composition moyenne du lait de vache.

Tableau I:Composition moyenne du lait de vache (**Vignola, 2002**).

Constituants		Quantité (g/l)	
Eau	Eau libre	842,625	875
	Eau liée	32,375	
Glucides	Lactose	46	
Matière grasse	Matières grasses proprement dite	36	37
	Lécithine (phospholipide)	0,5	
	Partie insaponifiable (stérol, carotène, tocophérols)	0,5	
Protéines	Caséine	25	32
	Protéines solubles (globulines, albumines)	5,5	
	Substances azotées non protéiques	1,5	
Sels minéraux	Acide citrique	2	8
	Acide phosphorique (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3,3	
	Acide chlorhydrique (HCl)	2,7	
Constituants mineurs	Vitamines, enzymes, gaz dissous, pigments, cellules diverses	Traces	

➤ **Eau**

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion, la présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire, ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum, puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne pourront se dissoudre et formeront une émulsion du type huile dans l'eau, il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides (**Amiot et al., 2002**).

➤ **Glucides**

Le lait contient des glucides essentiellement représentés par le lactose, son constituant le plus abondant après l'eau, sa molécule C<sub>12</sub> H<sub>22</sub> O<sub>11</sub>, est constituée d'un résidu galactose uni à un résidu glucose, le lactose est synthétisé dans les cellules des acini à partir du glucose sanguin, celui-ci est en grande partie produit par le foie (**Mathieu, 1999**).

Selon **Gourseaud, 2000**, le lactose est le composant majeur le plus simple et le plus constant en proportion, c'est le constituant du lait le plus rapidement dégradé par l'action

microbienne, en effet la microflore lactique transforme le lactose en acide lactique, cette transformation est souvent utile et parfois gênante, dans le lait de vache, la teneur en lactose varie peu (48 à 50g/l).

➤ **Matière grasse**

La matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras de diamètre de 0,1 à 10µm et est essentiellement constituée de triglycérides (98%), la matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait, elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés, il renferme (Jeantet et al., 2008) :

- une très grande variété d'acides gras (150) ;
- une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes, assimilés plus rapidement que les acides gras à longues chaînes ;
- une teneur élevée en acide oléique ( C18 :1) et palmitique ( C16 :0) ;
- une teneur moyenne en acide stéarique ( C18 :0) ;

La figure 01 présente un globule gras du lait.

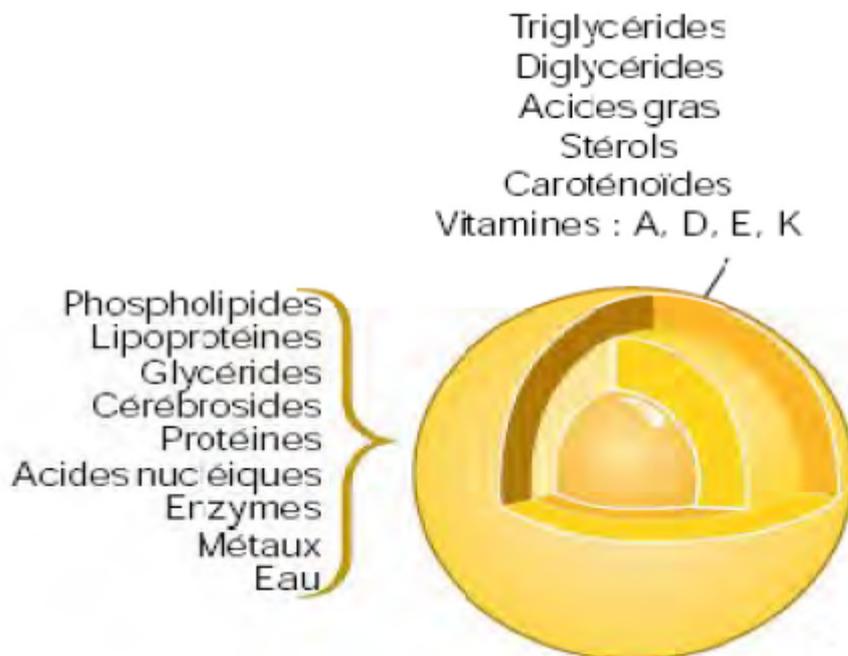


Figure 01:Présente un globule gras du lait de vache (Bylund, 1995).

➤ **Protides**

D'après **Armor, 2004**, les protides représentent 95% environ des matières azotées et sont constituées soit d'acides aminés ( $\beta$ -lactoglobuline,  $\alpha$ -lactalbumine), et d'acides phosphoriques (caséinate), une vingtaine d'acides aminés intervient dans la composition de ces protéines, leurs séquences confèrent à chaque protéine des propriétés propres, c'est sur la base de la précipitation au pH (4,6) qu'on sépare la fraction protéique en caséine et protéine soluble, ces protéines sont alors présentées dans deux phases différentes :

- phase micellaire instable constituée de particules solides, les micelles en suspension qui diffusent la lumière et donnent au lait son aspect blanc opaque : ce sont les caséines.
- phase soluble stable constituée de différents polymères protéiques hydrophiles appelés protéines solubles ou protéines du lactosérum.

En plus, il existe dans le lait une fraction de protéose-peptone qui représente les caractéristiques intermédiaires, ce sérum renferme aussi, mais en beaucoup plus faible quantité, d'autres constituants azotés, ceux-ci de nature très diverses, ne sont pas, à la différence des protéines, des longs enchainements d'acides aminés, raison pour laquelle on parle de matières azotées non protéiques.

Le tableau II présente les classifications des protéines du lait de vache.

Tableau II: Classification des protéines du lait de vache (**Pougheon, 2001**).

Noms	%des protéines	Nombre d'acides aminés
Caséines	75-85	
Caséine $\alpha_{S1}$	39-46	199
Caséine $\alpha_{S2}$	8-11	207
Caséines $\beta$	25-35	209
Caséines k	8-15	169
Caséines g	3-7	
Protéines du lactosérum	15-22	
$\beta$ -Lactoglobuline	7-12	162
$\alpha$ -Lactalbumine	2-5	123
Sérum-albumine	0,7-1,3	582
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	1,9-3,3	-
Protéoses-peptones	2-4	-

➤ **Sels minéraux**

Selon **Mahaut et al., 2005**, c'est l'ensemble des constituants présents à l'état d'ions ou de sels non dissociés, la fraction minérale, bien que mineure, dans la composition des laits est considérée comme très importante tant au point de vue nutritionnel que technologique, la composition du lait de chaque espèce est adaptée au besoin du jeune de la même espèce, ainsi, les teneurs en calcium et phosphore sont d'autant plus importantes que la croissance du jeune est rapide, la concentration en éléments minéraux est peu influencée par l'alimentation, les composants majeurs sont le potassium, le calcium, le sodium, le magnésium, le phosphate, ils sont pour une partie à l'état dissout et pour une autre, à l'état colloïdal associés aux caséines au sein des micelles, la fraction saline colloïdale représente 65% du calcium, 50% du phosphore inorganique, 60% du magnésium et 8% du citrate, les composants en solution sont présents sous diverses formes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  sont à l'état ionisé; phosphate et citrate sont sous formes mono-di-et triphosphates.

Le tableau III présente les compositions minérales de lait de vache.

Tableau III: Composition minérale du lait de vache (**Jeantet et al., 2008**).

<b>Eléments minéraux</b>	<b>Concentration (mg/kg)</b>
Calcium	1043-1283
Magnésium	97-146
Phosphate inorganique	1805- 2185
Citrate	1323-2079
Sodium	391-644
Potassium	1212-1681
Chlorure	772-1207

➤ **Vitamines**

Selon **Vignola, 2002**, les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires, l'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser, on distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (**Jeantet et al., 2008**).

Le tableau IV donne la composition vitaminique de lait cru

Tableau IV : Composition vitaminique moyenne du lait cru (**Amiot et al., 2002**).

Vitamines	Teneur moyenne( $\mu\text{g}/100\text{ml}$ )
Vitamine liposolubles	
Vitamine A	40
Vitamines D	2,4
Vitamines E	100
Vitamines K	5
Vitamine hydrosolubles	
Vitamines C (acide ascorbique)	2
Vitamines B <sub>1</sub> (thiamine)	45
Vitamines B <sub>2</sub> (riboflavine)	175
Vitamines B <sub>6</sub> (pyridoxine)	50
Vitamines B <sub>8</sub> (biotine)	0,45
Vitamine B <sub>12</sub> (cyanocobalamine)	90
Acide pantothénique	350
Acide folique	5,5

## 1.2. Propriétés physico-chimiques du lait

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont la masse volumique et la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité (Amiot *et al.*, 2002).

Le tableau V donne les valeurs de référence pour certaines caractéristiques physico-chimiques du lait.

Tableau V : Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache (Majoub *et al.*, 1993).

Caractéristiques	Valeurs
Densité à 15°C	1030 – 1034
Chaleur spécifique	0,93
Point de congélation	- 0,55°C
pH	6,6 à 6,8
Acidité exprimée en degrésDornic	16 à 18
Indice de réfraction à 20°C	1,35
Point d'ébullition	100,16°C

### ➤ Masse volumique et densité

La masse volumique d'un liquide est définie par le quotient de la masse d'une certaine quantité de ce liquide divisée par son volume, elle est habituellement notée  $\rho$  et s'exprime en  $\text{Kg/m}^3$  dans le système métrique, comme la masse volumique dépend étroitement de la température, il est nécessaire de préciser à quelle température (T), la masse volumique du lait de vache à  $20^\circ\text{C}$  et en moyenne de  $1030\text{Kg/m}^3$  (Pointurier, 2003).

La densité d'un liquide est une grandeur sans dimension qui désigne le rapport entre la masse d'un volume donné du liquide considéré et la masse du même volume d'eau, comme la masse volumique de l'eau à  $4^\circ\text{C}$  est pratiquement égale à  $1000\text{Kg/m}^3$ , la densité du lait à  $20^\circ\text{C}$  par rapport à l'eau à  $4^\circ\text{C}$  est d'environ 1.030 ( $d_{20/4}$ ), il convient de signaler que le terme anglais "density" prête à confusion puisqu'il désigne la masse volumique et non la densité (Pointurier, 2003).

### ➤ Point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation, cette propriété physique est mesurée pour déterminer s'il y a addition d'eau au lait (Neville et Jensen 1995).

Sa valeur moyenne se situe entre  $-0.54$  et  $-0.55^\circ\text{C}$ , celle-ci est également la température de congélation du sérum sanguin, on constate de légères fluctuations dues aux saisons, à la race de la vache, à la région de production, on a par exemple signalé des variations normales de  $-0.530$  à  $-0.575^\circ\text{C}$ , le mouillage élève le point de congélation vers  $0^\circ\text{C}$ , puisque le nombre de molécules, autres que celles d'eau, et d'ions par litre diminue, d'une manière générale tous les traitements du lait ou les modifications de sa composition qui font varier leurs quantités entraînent un changement du point de congélation (Mathieu, 1999).

### ➤ Point d'ébullition

Le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée, ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés, il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit  $100.5^\circ\text{C}$  (Amiot et al., 2002).

### ➤ Acidité du lait

L'acidité du lait résulte de l'acidité naturelle, due à la caséine, aux groupes phosphate, au dioxyde de carbone et aux acides organiques et de l'acidité développée, due à l'acide lactique formé dans la fermentation lactique, l'acidité titrable du lait est déterminée par dosage par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine, bien que l'acide lactique ne soit pas le seul acide présent, l'acidité titrable peut être exprimée en grammes d'acide lactique par litre de lait ou en degré Dornic ( $^\circ\text{D}$ ),  $1^\circ\text{D} = 0.1\text{g}$  d'acide lactique

par litre de lait, un lait cru au ramassage doit avoir une acidité  $\leq 21$  °D, un lait dont l'acidité est  $\geq 27$  °D coagule au chauffage ; un lait dont l'acidité est  $\geq 70$  °D coagule à froid (Jean-claude et al., 2002).

### **1.3. Microflore du lait**

#### ➤ **Flore originale**

Il s'agit essentiellement de germes saprophytes : microcoques, streptocoque lactique et lactobacilles (Larpen et Bourgois, 1995).

D'autres microorganismes peuvent se trouver dans le lait lorsqu'il est issu d'un animal malade, ils sont généralement pathogènes et dangereux au point de vue sanitaire, Il peut s'agir d'agents de mammites (Guiraud, 2003).

#### ➤ **Flore de contamination**

Le lait au cours de la traite, du transport et du stockage à la ferme ou à l'usine est contaminé par une grande variété de microorganismes, une partie seulement d'entre eux peut se multiplier dans le lait si la température est favorable et le milieu propice, il en résulte que la nature de la flore microbienne du lait cru est à la fois complexe et variable d'un échantillon à un autre et suivant l'âge du lait (Bourgeois et al., 1996).

## **2. Laits fermentés**

La dénomination lait fermenté est réservée au produit laitier préparé avec des laits écrémés ou non ou des laits concentrés ou en poudre écrémés ou non sous forme liquide, concentré ou en poudre, ils pourront être enrichis avec des constituants tels que la poudre de lait ou les protéines de lait, le lait subit alors un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation et estensemencé avec des microorganismes caractéristiques de chaque produit, la coagulation des laits fermentés ne doit pas être obtenue par d'autres moyens que ceux qui résultent de l'activité des microorganismes qui sont pour la plupart du probiotique c'est-à-dire bénéfique pour la santé (Fredot, 2006).

### **2.1. Principaux types de laits fermentés**

Il existe un grand nombre de laits fermentés qui diffèrent par leur matière première, leur flore microbienne, leur technologie, leur goût (FAO, 2002), leur texture (liquide, filante ou épaisse), leur acidité très variable et par et par leur durée de conservation (Mahaut et al., 2005).

Le tableau VI présente les exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine.

Tableau VI : Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine (INRA, 2009).

Nom	Description	Pays préssumé, d'origine	Ferment(s) implique(s)
Yoghourt/ Yaourt	Produit ferme ou brassé, arome caractéristique.	Asie, Balkans	<i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Lactobacillus bulgaricus</i>
Lait à l'acidophile	Produit ferme, brasseur liquide, faible arome.	Etats-Unis	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
Kéfir	Boisson brassée, consistance crémeuse, arome et gout caractéristique (CO <sub>2</sub> ).	Caucase	<i>Lactobacillus lactis</i> , <i>Lactobacillus Cremoris</i> , <i>Lactobacillus kéfir</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Leuconostoc</i> spp., levures
Koumis	Boisson pétillante, acide, gout rafraichissent et arome caractéristique.	Mongolie	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , levures
Lassi	Boisson laitière aigre diluée avec de l'eau, consommée sale, épicée ou sucrée.	Inde	<i>Lactococcus</i> spp., <i>Lactobacillus</i> spp., <i>Leuconostoc</i> spp., levures
Dahi	Produit ferme ou brassé, ou boisson liquide, flaveure agréable, acide ou faiblement acide.	Inde	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Leuconostoc diacétylacctis</i> , <i>Leuconostoc</i> spp
L'ben	Produit ferme ou brassé, gout et arome agréable.	Moyen orient	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus</i> <i>bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactococcus Lactis</i> , levures
Filmjolk	Boisson brassée, visqueuse, saveur acidulée	Suède	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactococcus cremoris</i> , <i>Lactococcus diacétylacctis</i> , <i>Leuconostoc Cremoris</i>
Villi	Produit brassée visqueux, acidulé et gout agréable.	Finlande	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactococcus cremoris</i> , <i>Lactococcus diacéty</i>

➤ **L'ben**

L'origine de ce produit remonte à des temps immémoriaux, probablement à l'époque où l'homme a commencé à domestiquer les espèces laitières et à utiliser leurs laits, sa fermentation lactique lui donne son arôme naturel et sa saveur inimitable, 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 du 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 (**Ouadghiri, 2009**).

Le L'ben est produit également à l'échelle industrielle, c'est un lait pasteurisé fermenté. L'acidification est provoquée par ensemencement des ferments lactiques mésophiles, le lait qui sert à la préparation du L'ben reconstitué, il subit une pasteurisation à 84°C pendant 30 secondes, puis refroidi à 22°C et ensemencé de levain lactique (*Streptococcus cremoris*; *Streptococcus lactis* et *Streptococcus diacetylactis* ; *Leuconostoc dextranicum*, *Leuconostoc citrovorum* et *Leuconostoc mesenteroides*) (**Benkerroum et Tamime, 2004**).

➤ **Raïb**

Le Raïb fait partie des produits laitiers fermentés populaires en Algérie, en plus du L'ben (lait écrémé fermenté), le Raïba est une très ancienne tradition en Algérie; il est fabriqué à partir du lait cru de vache ou de chèvre. La fermentation du lait, comme de nombreux procédés traditionnels de fermentation, est spontanée et incontrôlée et pourrait être une source précieuse des bactéries lactiques autochtones, contrairement au L'ben, le Raïb ne subit pas une opération de barattage et d'écémage, il s'agit d'un lait fermenté entier (**Mechai et Kirane, 2008**).

➤ **Kéfir**

De la catégorie des lait fermentés alcoolisés, le kéfir a des origines caucasiennes, on le confectionne généralement à partir du lait de vache, de brebis ou de chèvre. Son goût est fortement acide avec de légers arômes de levures et d'alcools (**Lamontagne, 2002**).

Une culture spéciale, connue sous le nom de grain de kéfir, est utilisée pour la production de kéfir, les grains sont constitués de protéines, polysaccharides et d'un mélange de plusieurs types de micro-organismes tels que des levures et bactéries lactiques et bactéries aromatiques. Les levures représentent environ 5 à 10% de l'ensemble de la microflore (**Gosta, 1995**).

➤ **Koumiss**

Le koumis fait partie de la catégorie des laits fermentés alcoolisés, le plus souvent, on le trouve sous forme de boisson, au départ, on fabriquait ce produit à partir du lait de jument, mais aujourd'hui, on trouve sur le marché du koumis fait à partir de lait écrémé de vache, le ferment de koumis utilisé est généralement constitué d'un mélange symbiotique de bactérie thermophile tel que *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* et de levures du genre *Saccharomyces* (Lamontagne, 2002).

## **2.2. Probiotiques**

Le terme « probiotique » a bénéficié de plusieurs définitions qui ont évolué dans le temps en fonction des connaissances scientifiques et des avancées technologiques (Ait-belgnaoui, 2006).

Plus tard, Fuller propose une définition très proche du sens actuel : « supplément alimentaire microbienvivant qui affecte de façon bénéfique l'hôte en améliorant l'équilibre de sa flore intestinale » (Fuller, 1989).

D'autre part selon Margoles et Garcia 2003, le terme probiotique se réfère à des « cultures de microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés à l'homme ou aux animaux (par le biais de cellules déshydratées ou de aliments fermentés), améliorent les propriétés de la microflore autochtone de l'hôte » ; cependant, la définition la plus largement acceptée du terme est celle de la consultation mixte d'experts (FAO/OMS, 2001) qui redéfinit les probiotiques comme « des microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantités adéquates (dans le cadre de l'alimentation), confèrent un bénéfice pour la santé de l'hôte », ce groupe a reconnu que les probiotiques doivent être capables d'exercer des bénéfices sur l'hôte grâce à la croissance et / ou l'activité dans le corps humain (Leahy et al., 2005).

### **2.2.1. Critères de sélection**

Ils doivent présenter une activité positive et persister durant leur passage dans le tractus digestif, ces propriétés sont propres à chaque souche et ne peuvent pas être extrapolables d'une souche à l'autre même au sein d'une même espèce (Dunne et O'mahony, 2001).

➤ **Critères de sécurité :**

- Identification taxonomique précise ;
- Souche caractérisée par des techniques phénotiques et génotypiques ;
- Historique de non pathogénicité et non-invasion de l'épithélium intestinal ;

-Pas de transmission possible de gènes de résistance aux antibiotiques ;

➤ **Critères fonctionnels**

- Tolérance de l'acidité à la bile et aux enzymes digestives ;
- Adhésion aux cellules intestinales et persistance dans le tractus intestinal ;
- Production de substances antimicrobiennes (bactériocines, acides organiques, peroxyde d'hydrogène ou autres composés inhibiteurs) et antagonisme envers les pathogène ;
- Immunomodulation ;
- Aptitude à produire des effets bénéfiques sur la santé de l'hôte ;

➤ **Critères technologiques**

- Stabilité au cours des procédés de fabrication et dans le produit fini ;
- Conservation des propriétés probiotiques après production ;
- Non modification des qualités organoleptiques du produit fini ;

### 2.2.2. Effets santé associés aux probiotiques

Plusieurs effets bénéfiques sur la santé ont été associés à la consommation des probiotiques, la figure 02 illustre cette diversité.

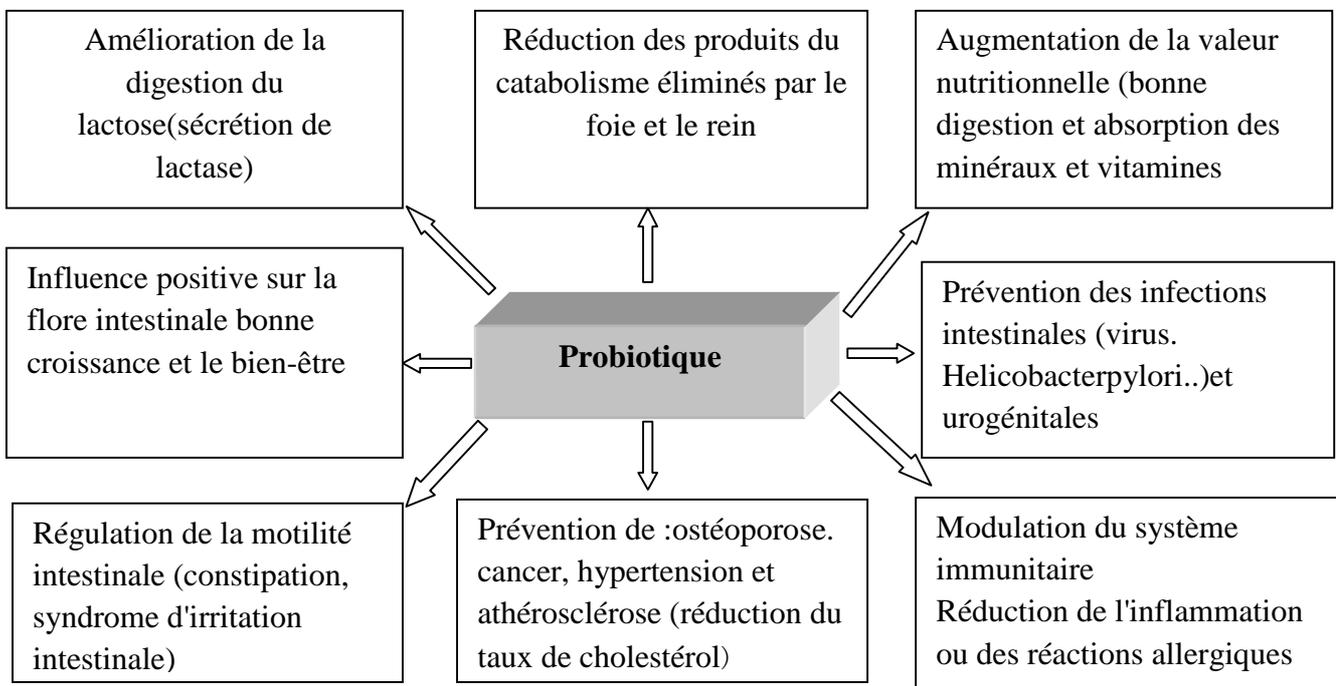


Figure02 : Les principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques (Merchenier et Pavan., 2003).

### 2.2.3. Activité antimicrobienne des probiotiques

L'activité antimicrobienne des probiotiques est probablement l'activité la plus documentée, plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer ces activités.

La figure 03 représenté les mécanismes d'action proposés des microorganismes probiotiques dans le traitement des infections entériques.

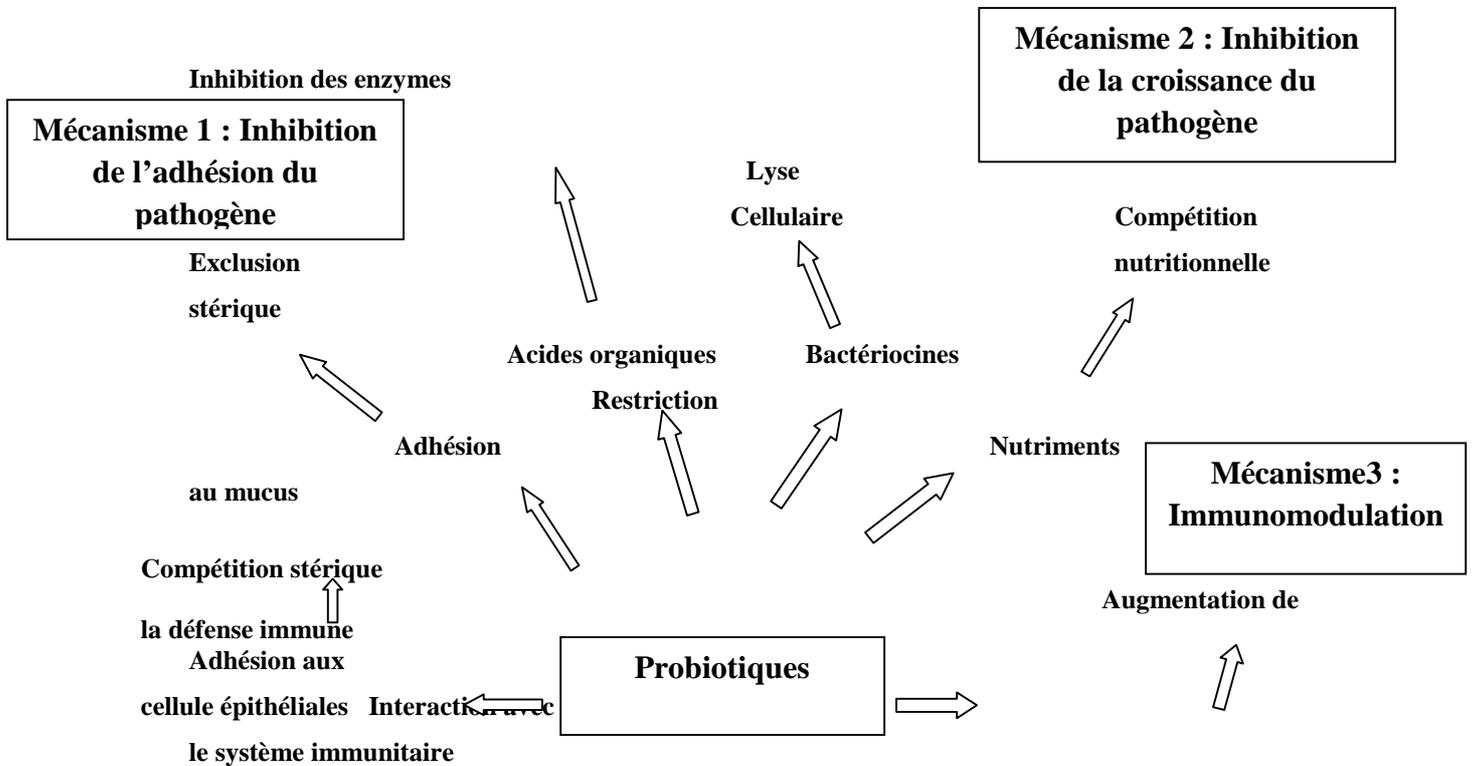


Figure 03 : Mécanismes d'action des microorganismes probiotiques (Calder et Kew, 2002).



*Chapitre II :*

*Bactéries lactiques*

## 1. Caractéristiques générales des bactéries Lactiques

Les ferments lactiques sont ajoutés au lait pour démarrer le procédé de fermentation, ils sont employés pour la production d'une grande gamme de produits laitiers comme le fromage, le yaourt, le lait fermenté, le beurre et la crème (Chen, 2010; HylckamaVlieg et Hugenholtz Van, 2007), puisque la flore lactique originale du lait est soit inefficace, incontrôlable, imprévisible, ou bien détruite sous l'effet de traitements thermiques auxquels le lait est soumis, les ferments lactiques ajoutés au lait, suite à l'étape de pasteurisation, assurent une fermentation plus contrôlée et plus prévisible (Yildiz, 2010; Chamba, 2008).

Il assemble des cellules procaryotes à Gram positif, ayant la forme : de coque, de bacille ou de coccobacille, immobiles, asporulées, anaérobies, ne possèdent pas de catalase ni cytochrome oxydase mais elle peuvent survivre en présence d'oxygène, hétérotrophes et chimio-organotrophes, requièrent des molécules organiques complexes comme source énergétique (acides aminés, peptides, sels, acides gras et glucides), elle ne possèdent pas de nitrate réductase, ces microorganismes fermentent principalement les monosaccharides « glucose » des disaccharides « lactose » et rarement un polysaccharide « amidon » (Rogers, 2006).

### ➤ Habitat

Les bactéries lactiques sont très abondantes dans la nature, elles se trouvent généralement associées à des aliments riches en sucres simples, elles peuvent être isolées du lait, du fromage, de la viande, de végétaux, elles se développent avec la levure dans le vin, la bière et le pain, quelques espèces colonisent le tube digestif de l'homme et des animaux (Hassan et Frank, 2001).

### 1.1. Principaux genres des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques regroupent, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactobacoccus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *vagococcus* et *Bifidobacterium*

Le tableau VII donne les différents genres des bactéries lactiques d'intérêt en microbiologie des aliments et leurs principales caractéristiques.

Tableau VII :Les différents genres des bactéries lactiques (Federighi, 2005).

Genre	Morphologie	Fermentation	Caractéristiques principales	Habitats principaux
<i>Lctobacillus</i>	Bacilles	Homofermentaire ou hétérofermentaire	Thermophilus ou Mésophiles	Homme, produits laitiers, carnés, végétaux
<i>Carnobacterium</i>	Bacilles	Hétérofermentaire	Psychotropes, peu acidotolérants	Produits carnés, poissons, produits laitiers
<i>Lactococcus</i>	Coques	Homofermentaires	Misophiles, croissance à 10°C et non à 45°C	Produits laitiers, végétaux
<i>Streptococcus</i>	Coques	Homofermentaires	Thermophiles	Produits laitiers
<i>Enterococcus</i>	Coques	hétérofermentaires	Mésophiles, croissance à 45°C et non à 10°C, thermorésistance	Intestin de l'homme et des animaux, produits laitiers
<i>Pediococcus</i>	Coque	Homofermentaires	Mésophiles halotolérants	Bière, produits végétaux, saucissons
<i>Tetragencoccus</i>	Coque en tétrades	Homofermentaires	Mésophiles halophiles	Saumures
<i>Leuconostoc</i>	Coques	Hétérofermentaires	Mésophiles	Produits végétaux, produits laitiers
<i>Oenococcus</i>	Coques	Hétérofermontaires	Mésophiles	Vin
<i>Bifidobacterium</i>	Forme irrégulière	Acide acétique et lactique	Mésophiles	Intestin de l'homme et des animaux
<i>Vagococcus</i>	Coque mobiles	Homofermentaires	Mésophiles	Intestin de l'homme et des animaux, produits laitiers

## 1.2. Besoins nutritionnels

Les bactéries lactiques ont un besoin pour leur nutrition car elles sont incapables de synthétiser un certain nombre des éléments qui sont variables d'une espèce à une autre (Dridier et Prevost, 2009).

### ➤ Besoins en acides aminés

Les bactéries lactiques sont incapables d'effectuer la synthèse des acides aminés, et doivent par conséquent faire appel à des sources exogènes pour assurer leur métabolisme (Luquet, 1986).

Les exigences en acides aminés des *streptococcus* sont différentes de celles des *lactobacillus*, ils ont besoin d'acide glutamique, d'histidine, de cystéine, de méthionine et aussi de valine, de leucine, de tryptophane ou de tyrosine, les lactobacilles ont besoin d'aspartate, d'histidine, de lysine, de leucine, de méthionine et de valine (Lenoir et al., 1992).

### ➤ Besoins en bases azotées

Les bases puriques et pyrimidiques ne sont pas vraiment essentielles au métabolisme des bactéries lactiques (Desmazeaud, 1996).

### ➤ Besoins en sels minéraux

Les besoins en éléments minéraux des bactéries lactiques ne sont encore partiellement connus, les principaux éléments tel que le magnésium et le manganèse sont généralement requis (Corrieu et Luquet, 2008), jouent un rôle important dans la nutrition des *Lactobacillus*, alors que les besoins en calcium et en potassium sont moins systématiques, les besoins en fer dépendant des micro-organismes (Impert et Blandeau, 1998).

Le zinc présente un effet positif pour la croissance de certains lactobacilles, mais il est toxique à fort concentration, à l'opposé, le sodium, le cadmium, et le cuivre démontrent un effet inhibiteur (Corrieu et al., 2008).

Des cations jouent un rôle important dans la résistance à l'oxygène, dans les différentes réactions métaboliques et dans la nutrition des bactéries lactiques et le rôle du  $Mg^{++}$  sur *Streptococcus thermophilus*. La forme ionisée entraîne une activation de la fermentation lactique par une meilleure utilisation des sucres (Boyavalet al., 1988).

### ➤ Besoins en vitamines

Les bactéries lactiques sont incapables de synthétiser les vitamines qui jouent un rôle irremplaçable de coenzymes dans le métabolisme cellulaire. *Streptococcus thermophilus* a une exigence absolue en acide pantothénique (vitamine B5) et en riboflavine (vitamine B2) et à moindre degré en thiamine (vitamine B1), en nicotinamide ou en acide nicotinique (vitamine B3) et en biotine (vitamine B8), le pyroxène ou ses dérivés (vitamine B6) stimulent fortement sa croissance (Desmazeaud, 1996).

Le tableau VIII donne principaux besoins vitaminiques des quelques bactéries lactiques.

Tableau VIII : Besoins vitaminiques des quelques bactéries lactiques (Corrieu et Luquet, 2008).

<b>Vitamines</b>	<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactococcus</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>
Acide ascorbiques (C)			++
Acides foliques		V	V
Acides nicotiniques (vitamine B3)			+
Acides pantothéniques (vitamine B5)	++	++	++
Biotine (vitamine B8)	V	+	+
Cobalamine (vitamine B12)	V	V	V
Niacine (PP)	++	++	+
Pyridoxine (vitamine B6)	V	+	+
Riboflavine (vitamine B2)	++	V	++
Thiamine (vitamine B1)	V	V	+

++ : Exigence absolue

+ : Stimulant mais non essentiel

V : Variable selon l'espèce.

### 1.3. Fermentation lactique

En se basant sur la voie empruntée et le produit final de la fermentation, les bactéries lactiques sont divisées en deux groupes :

➤ **Homofermentaires**

Les bactéries lactiques entrent dans la glycolyse pour dégrader les hexoses (glucose) qui subit une déférente étape de transformation pour donner le pyruvate qui est réduit en acide lactique qui est le produit unique, dans les conditions défavorables ces bactéries produisent également l'acide formique, l'acide acétique, l'éthanol et/ou le CO<sub>2</sub> par la voie de fermentation des acides mixtes (Mozzi et al., 2010).

➤ **Hétérofermentaires**

Les bactéries lactiques qui fermentent le glucose en produisant, en plus de l'acidelactique, de l'éthanol et du CO<sub>2</sub> sont dites hétérofermentaires, les groupes principaux de bactéries présentant ce type de métabolisme sont les *Leuconostoc* et certains *Lactobacillus* (Hadeif, 2012).

La figure04 représenté les deux voix de fermentation lactique homofermentaire et hétérofermentaire.

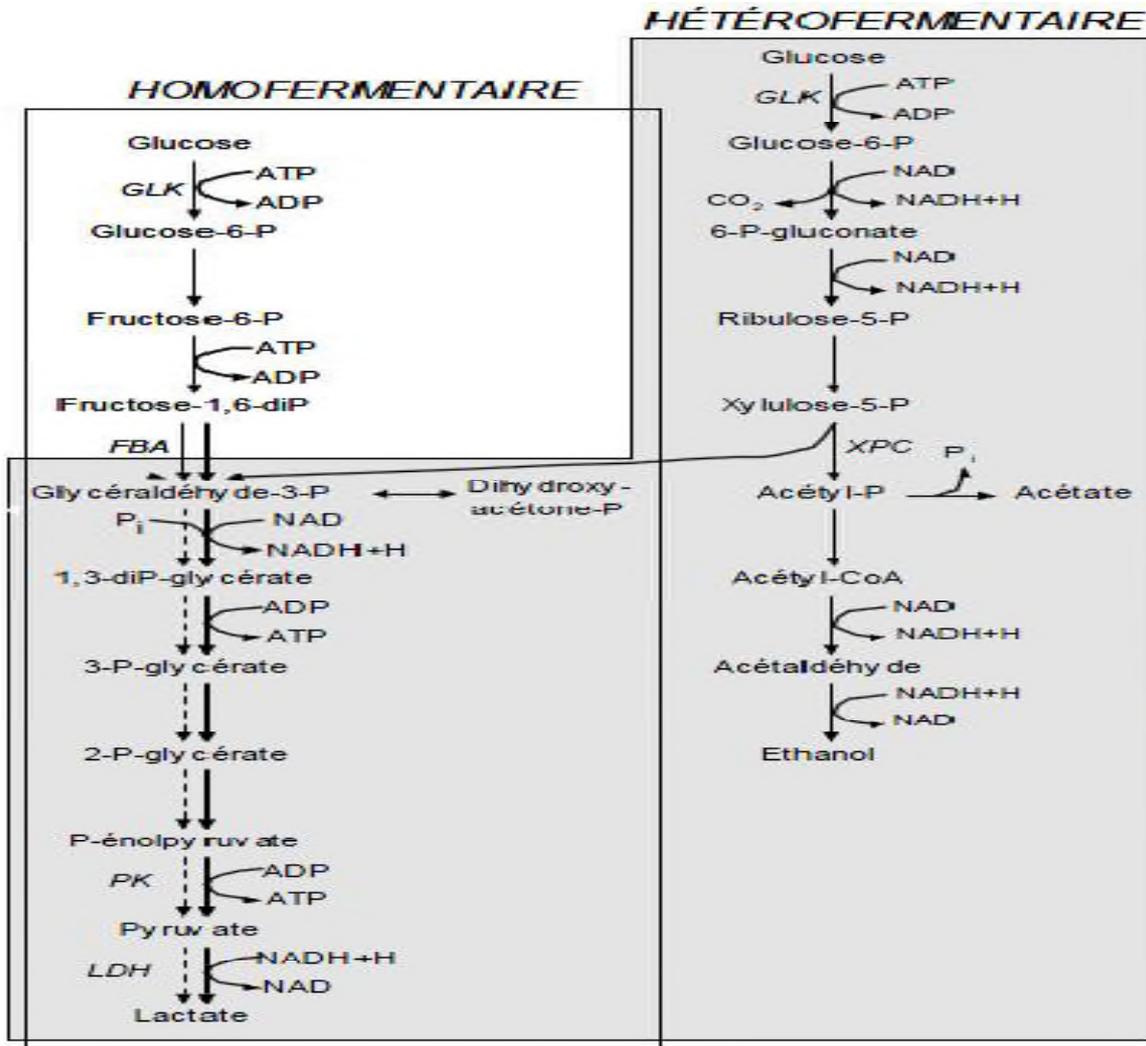


Figure04:Voies fermentaires de la dégradation du glucose (Novel, 1993).

**GLK**,glucokinase ;**FBA**, fructose-1,6- bisphosphatealdolase, **XPC**, xylulose-5-phosphate phosphocétolase ; **PK**,pyruvate kinase, **LDH**, lactate déshydrogénase ;

## 1.4. Fonction des bactéries lactiques

### 1.4.1.Production d'acide lactique

La production d'acide lactique est un une des principales fonction des bactéries lactiques en technologie laitière, car cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien, le métabolisme est du type homofermentaire(**Schmidt et al., 1994**).

L'acide lactique est produit sous l'une des formes isométriques L(+), ou D(-) ou bien en mélange racémique, la portion de L(+) est la forme la plus assimilable de l'acide lactique présent dans le yaourt, avec, un pourcentage de 40 à 70% (**Beal et Sodini, 2003**).

L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic ( $1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g/l}$  d'acide lactique, elle se situe entre 100 et  $130^{\circ}\text{D}$  (**Loones, 1994**).

L'acide lactique a plusieurs rôles du yaourt :

- Il aide à déstabiliser les micelles de caséine, ce qui conduit à la formation du gel ;
- Il donne au yaourt son gout distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt.
- Intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables (**Leory et al., 2002**).

### 1.4.2. Activité protéolytique

Pour satisfaire leurs besoins en acides aminés, les bactéries du yaourt doivent dégrader la fraction protéique du lait constituée de caséine et de protéines sériques, *Lactobacillus bulgaricus* dégrade la majorité des caséines notamment la caséine  $\beta$ , les Lactocoques hydrolysent les caséines  $\kappa$  et  $\beta$  avant la caséine  $\alpha_s$ , leur système protéolytiques est constitué de deux types d'enzymes distinctes : les protéases et les peptidases, *Lactobacillus bulgaricus* possède des protéases localisées, pour l'essentiel, au niveau de la paroi cellulaire, cette activité protéasique permet d'hydrolyser la caséine en polypeptides (**Annika et Marc, 2004**).

### 1.4.3. Activité aromatique

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt, c'est principalement le lactose qui intervient dans la formation de ces composés, l'acétaldéhyde, qui provient en grande partie de la thréonine, joue un rôle essentiel dans ces caractéristiques organoleptiques recherchées. La concentration optimale de ce métabolite est estimée à environ 10 ppm, sa production, due principalement au Lactobacille, est augmentée lorsque ce dernier est en association avec le streptocoque qui en élabore de faibles quantités, l'acétaldéhyde peut provenir :

-Du pyruvate, soit par action du pyruvate décarboxylase ou par action du pyruvate déshydrogénase (appelée aussi pyruvate formate lyase).

-De la thréonine par l'action de la thréonine aldolase, la réaction est réalisée par la thréonine aldolase (**Loones, 1994**).

Le d'acétyl contribue à donner un goût délicat qui est dû à la transformation de l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques, d'autres composés (acétone, acétoïne, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur, ceci résulte d'un choix avisé des souches, de leur capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication (FAO, 1995). La figure 05 présente les principales étapes de métabolisme de citrate par des bactéries lactiques.

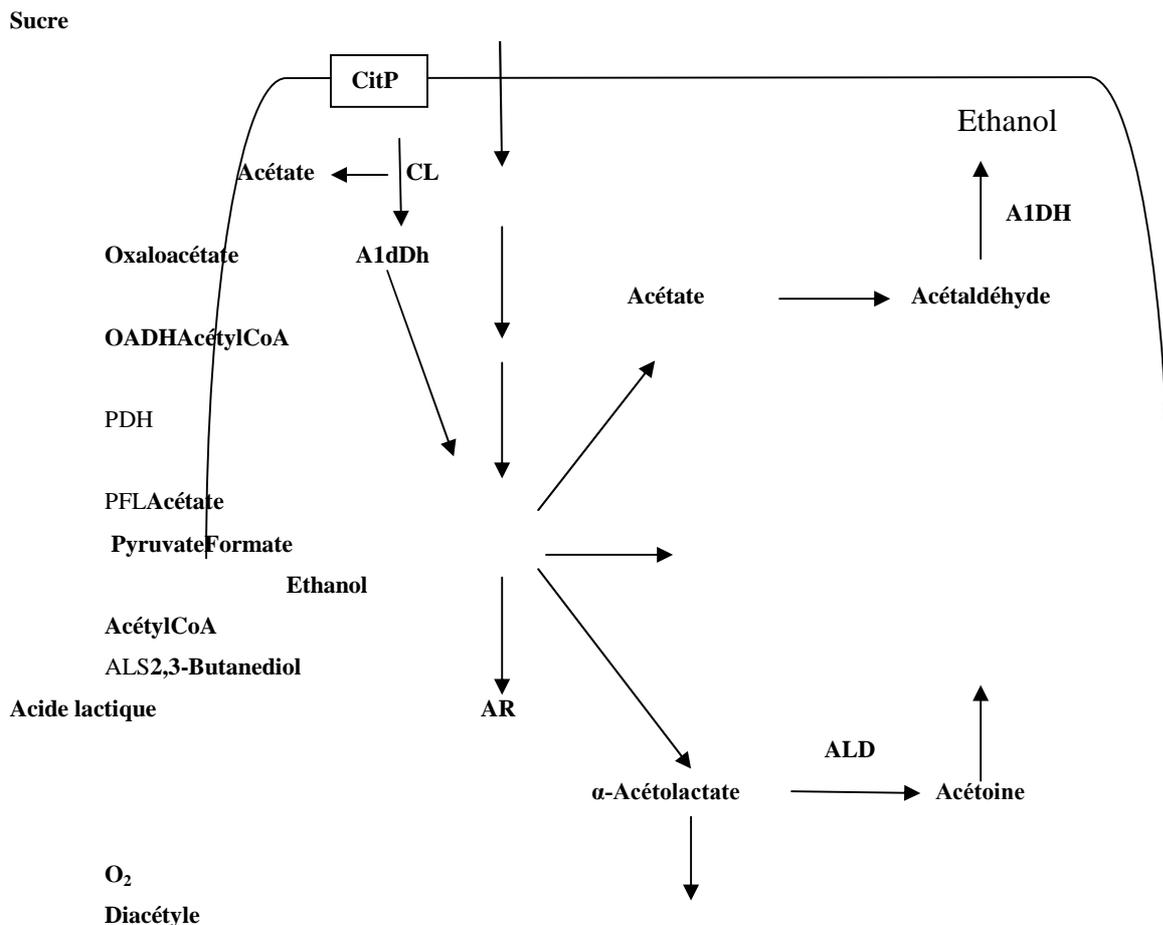


Figure 05: Métabolisme du citrate chez *Lactococcus lactis* ssp (Shirai et al., 2001).

**CitP**, citrate permease ; **CL**, citrate lyase ; **OADH**, oxaloacetate déshydrogénase ; **LDH**, lactate déshydrogénase ; **PDH**, pyruvate déshydrogénase ; **PFL**, pyruvate formate lyase ; **ALS**,  $\alpha$ -acétolactate synthase ; **ALD**,  $\alpha$ -acétolactate décarboxylase ; **A1DH**, alcool déshydrogénase ; **A1dDH**, aldehyde déshydrogénase ; **DR**, diacétyl réductase ; **AR**, acétoïne réductase ;

### 1.4.4. Activité texturante

La texture et l'onctuosité constituent pour le consommateur d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt, certaines souches bactériennes produisent à partir du glucose des polysaccharides qui en formant des " filaments " limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt, l'augmentation de la viscosité du yaourt est en général attribuée à la production d'exopolysaccharide (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composée de rhamnose, de arabinose, et de mannose, il est couramment admis que la production des exopolysaccharide est le résultat de l'action exercée par *Streptococcus thermophilus* (Schmidt et al., 1994).

### 1.5. Comportement associatif des deux bactéries lactiques

*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* se développent en association, appelée protocoopération, dans des cultures mixte ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel, 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 (Ngounou et al., 2003).

La figure 06 montre le développement en association de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans des cultures mixtes.

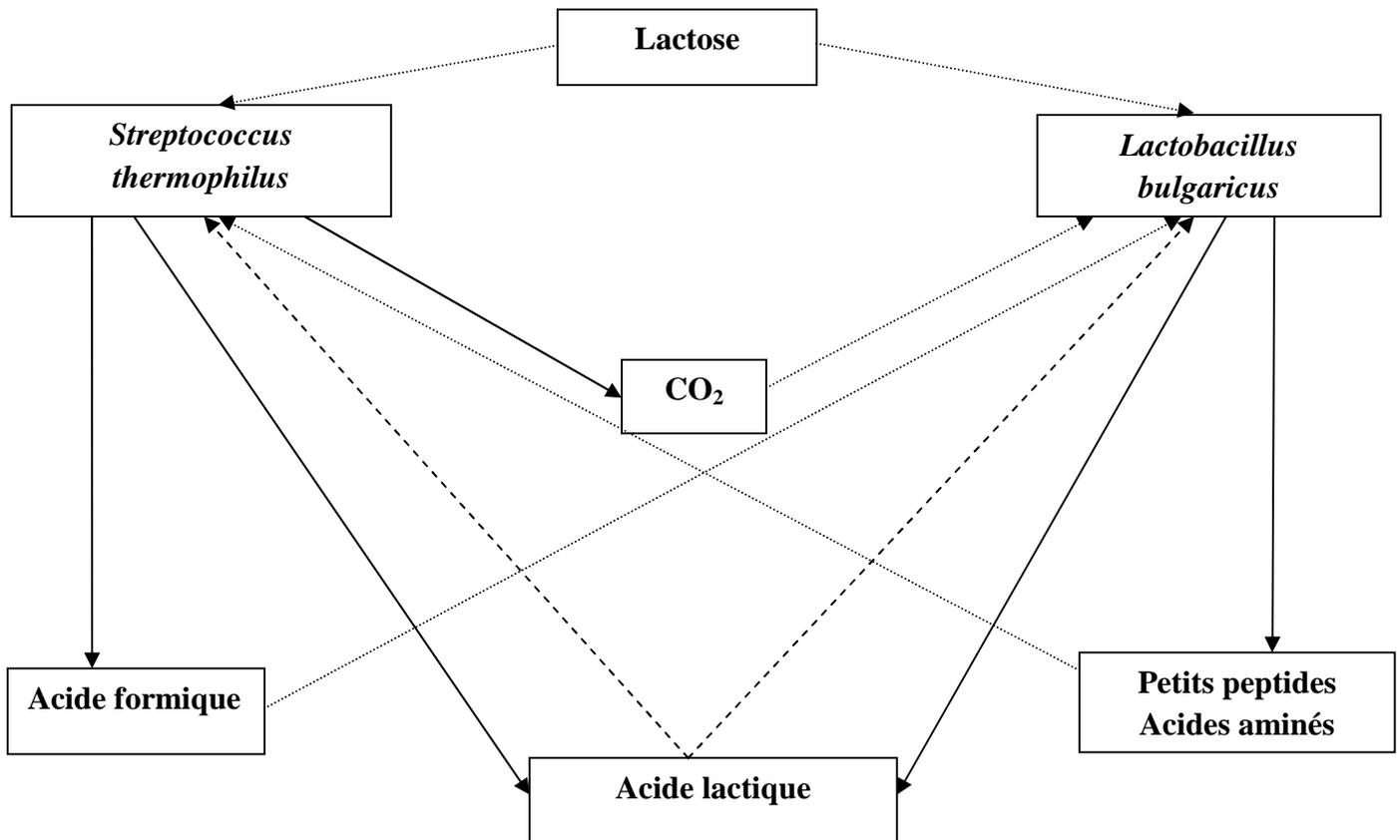
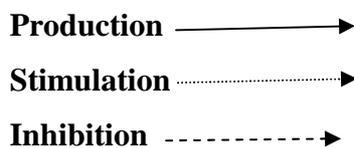


Figure 06 :Les interactions de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*(Mahaut et al., 2005).



## 1.6. Principaux facteurs influençant le métabolisme des bactéries lactiques

### 1.6.1. Facteurs physiques

#### ➤ La température

La température est le premier facteur environnemental à considérer pour le développement des bactéries lactiques, elle agit sur les vitesses des réactions chimiques et biochimiques, elle doit être aux alentours de 30°C pour les bactéries mésophiles et de 42°C pour les espèces thermophiles.

#### ➤ L'activité de l'eau ( $a_w$ )

L'activité de l'eau est liée à la présence de sels ou de sucres, lorsqu'elle diminue la quantité d'eau libre décroît et la disponibilité des nutriments est affectée, concernant les laits fermentés seule la présence de saccharose (cas des yaourts sucrés) peut diminuer cette

activité, c'est le cas lorsque cette dernière devient inférieure à 0,99 correspondant à une concentration en saccharose de 10%(**Tamime, 2002**).

### 1.6.2. Facteurs chimiques

#### ➤ La qualité du lait

La qualité du lait est un facteur d'influence prépondérante pour le développement des bactéries lactiques, si les teneurs initiales en lactose et en sels minéraux sont suffisantes dans le lait, ce n'est pas le cas de la fraction azotée libre (acides aminés et oligopeptides), la limitation en certaines molécules peut constituer un inhibé à la croissance.

#### ➤ Le traitement thermique

Le lait subi par le traitement thermique avant l'étape de fermentation va agir favorablement sur le métabolisme des bactéries, en effet, outre son rôle principal de destruction des microorganismes indésirables et pathogènes, il permet de détruire les principales substances antibactériennes naturellement présentes dans le lait (agglutinines, lactoperoxydases) ce qui favorisera les croissances bactériennes(**Farkye etImafidon, 1995**), de plus, il génère de faibles quantités d'acide formique à partir du lactose, ce qui stimulera la croissance des lactobacilles, enfin, il contribue à l'augmentation de la teneur du lait en petits peptides et en acides aminés libres(**Loones, 1994**).

#### ➤ Le pH

Le pH est un facteur chimique important pour la croissance des bactéries lactiques, il intervient sur la disponibilité en nutriments du milieu, sur la perméabilité de la membrane cellulaire et sur les vitesses d'activité enzymatique, lors de la production de yaourt il n'est pas contrôlé et représente donc un facteur majeur de ralentissement du métabolisme bactérien (**BealetSodini, 2003**).

### 1.6.3. Facteurs microbiologiques

#### ➤ Le taux d'ensemencement

Le taux d'ensemencement du lait avec les bactéries lactiques influence fortement sa transformation, plus il est élevé, plus rapide est la fermentation, généralement, ce taux se situe autour de  $10^6$  UFC/ml (UFC : unités formants colonies) pour simultanément obtenir des durées de fabrication courtes et limiter le cout d'achat des ferments, pour un ensemencement direct cela correspond à un taux d'inoculation compris entre 2,5 g et 70 g pour 100 L de lait selon l'espèce bactérienne considérée, les équilibres de population agissent également sur les cinétiques microbiennes, ainsi dans le cas de la fabrication du yaourt la durée de la

fermentation varie selon la valeur initiale du rapport entre Streptocoques et Lactobacilles, même si en fin de culture les Streptocoques sont toujours majoritaires (**Beal et Corrieu, 1991**).

## **2. Fabrication des ferments lactiques**

### **2.1. Ferments Lactiques**

Un ferment lactique est une préparation comprenant un grand nombre de micro-organismes (une seule espèce ou plusieurs), qui est ajoutée au lait pour produire un aliment fermenté en accélérant et en orientant son processus de fermentation (**Yildiz, 2010**).

La production des ferments lactiques est fondée sur la technique de la « culture pure » initialement élaborée par **Robert Koch**, dans une culture pure, chaque colonie microbienne se compose de cellules qui proviennent toutes de la même cellule, ceci assure que les cultures ne sont pas un mélange de différents micro-organismes inconnus et elles peuvent donc être dénombrées et exploitées pour produire les réactions biochimiques prédéterminées (**Solier et Giudici, 2009**).

### **2.2. Types de ferments**

Les ferments peuvent être classés sur la base de leur fonction, leur température de croissance... , avant l'arrivée de la biotechnologie moderne, des ferments artisanaux étaient utilisés, bien qu'ils soient encore en usage, leur instabilité microbologique a favorisé l'évolution de production de mélanges de bactéries lactiques prédéfinies afin d'obtenir une activité et une qualité d'acidification plus stables dans les produits finaux (**Marth et Steele, 2001**), cependant, les ferments artisanaux représentent des sources potentielles de nouvelles souches de bactéries lactiques à intérêt commercial, des cultures mono- ou multi- souches bien définies sont intensivement utilisées pour produire des produits laitiers variés, ces cultures sont commercialisées sous forme de cellules concentrées congelées ou lyophilisées pour être directement introduites dans les cuves de fermentation (**Bruset et al., 2008**).

### 2.2.1. Ferments artisanaux

Tous les ferments disponibles sont dérivés des *starters* artisanaux de composition non définie (contenant un mélange de différentes souches et/ou espèces non définies) (**Brusettiet al., 2008**).

La production de telles cultures, aussi définies comme « ferments naturels » est dérivée d'une pratique antique dénommée "back-slopping" (l'utilisation d'un vieux batch d'un produit fermenté pour inoculer un produit neuf) et/ou par l'application des pressions sélectives (traitement thermique, la température d'incubation, baisse de pH) (**Carminatiet al., 2010**).

### 2.2.2. Ferments industriels

Les ferments industriels sont en général commercialisés sous forme lyophilisée et peuvent être utilisés pour l'inoculation directe de la cuve de fermentation (DVI : Direct Vat Inoculation), ces ferments sont développés en grands volumes à partir d'une culture initiale définie ou non définie, concentrée (typiquement par centrifugation) et ensuite congelée ou lyophilisée pour le stockage et la distribution (**Marth et Seele, 2001**), le ferment concentré est directement introduit dans la cuve, ce qui évite la contrainte de la propagation sur place, actuellement, les ferments de type DVI sont devenus plus accessibles vu l'amélioration des technologies de la concentration et la conservation de ces micro-organismes (**Carminati, 2010**).

Selon leur composition, les ferments industriels peuvent être classés en trois catégories : les ferments purs, constitués d'une souche d'une seule espèce bien caractérisée ; les ferments mixtes, dont la composition est partiellement ou non déterminée ; les ferments mixtes sélectionnés, qui contiennent plusieurs souches bien définies issues d'une ou de plusieurs espèces (**Robinson, 2002**).

### 2.3. Technologie de production des ferments industriels

La production industrielle des ferments lactiques est généralement réalisée en cultures pures, discontinues ou continues, avec ou sans recyclage des cellules, à température et pH régulés et en anaérobiose ; la fermentation est suivie des étapes de concentration (refroidissement, concentration par centrifugation ou ultrafiltration), de protection et de stabilisation (congélation ou lyophilisation), la conservation des ferments s'effectue à basse température, respectivement -45 °C pour les ferments congelés et 4°C pour les bactéries lyophilisées (**Corrieu et Luquet, 2008 ; Farnworth, 2008**).

### 2.3.1. Modes d'ensemencements

Les ferments lactiques étaient fabriqués dans l'usine dans laquelle ils étaient ensuite utilisés, ils étaient conservés sur milieux solides, ou liquides, soit à 4 °C, soit sous forme congelée, avant leur utilisation, ils étaient propagés sur un milieu nutritif, en plusieurs précultures successives, pour atteindre le volume nécessaire à l'ensemencement des cuves de fabrication, actuellement, ces précultures subsistent chez certains producteurs notamment en fromagerie, malgré des inconvénients liés à leur lourdeur de mise en œuvre, leur répétabilité incertaine et les difficultés de maintien de l'hygiène au sein de l'unité de production (sensibilité aux infections phagiques) (Schwab *et al.*, 2007).

Afin de limiter la viabilité de ces ferments et d'accroître la sécurité des procédés, la production de ferments concentrés par ensemencement Direct ou DVI ('Direct Vat Inoculation' ou 'Direct set cultures'), cet ensemencement est effectué par l'association de souches bien caractérisées et dont les propriétés sont connues de façon préalable, l'ensemencement direct ou semi-direct présente plusieurs intérêts comme limitation des risques de contamination, contrôle facilité des bactériophages par simple rotation des cultures

La maîtrise des coûts de production pour l'utilisateur des ferments diffère dans les deux situations (Corrieu et Luquet, 2008).

### 2.3.2. Diagramme général de production des ferments

La production industrielle des ferments lactiques concentrés se déroule selon les étapes illustrées dans la Figure 07 :

#### ➤ Préparation du milieu de culture:

La préparation des milieux fait intervenir en premier lieu un choix raisonné des matières premières, en fonction des besoins des micro-organismes, du coût des constituants et du savoir-faire du producteur.

#### ➤ Traitement thermique:

Le milieu de culture constitué doit être traité thermiquement afin de le débarrasser des micro-organismes contaminants, puis refroidi à la température de fermentation, son pH est ajusté à la valeur optimale pour la bactérie à cultiver.

#### ➤ Inoculation ou Ensemencement:

L'inoculum est constitué soit d'une préculture préalablement incubée, soit de bactéries congelées ou lyophilisées qui sont ajoutées directement dans le fermenteur, quand les bactéries lactiques sont isolées pour être développées comme ferments, elles doivent démontrer une aptitude à être produites à grande échelle, pour résister au processus de lyophilisation et pour maintenir leur activité fonctionnelle (**Edwardet al., 2010**).

### ➤ Fermentation

La fermentation est généralement conduite en discontinu, dans des conditions contrôlées de température et de pH et sous une faible agitation, une anaérobiose partielle ou totale peut être maintenue (**Shah, 2000**).

### ➤ Concentration et récolte

Une étape de récolte et de concentration suit la phase de propagation des bactéries, elle permet d'éliminer la majeure partie de l'eau contenue dans les milieux de culture et d'aboutir à une concentration cellulaire élevée, elle est réalisée par centrifugation ou filtration tangentielle (**Salminen et al., 2004**).

### ➤ Stabilisation:

La stabilisation des bactéries concentrées protégées est réalisée soit par congélation, soit par lyophilisation, les conditions de réalisation de ces opérations sont définies de façon à limiter les dommages cellulaires qu'elles entraînent ;

### ➤ Conditionnement final:

Le conditionnement final des concentrés bactériens intervient soit avant, soit après l'étape de stabilisation, en fonction des conditions dans lesquelles, celle-ci est réalisée, il peut être précédé d'une étape de mélange de plusieurs souches ;

### ➤ Stockage:

Le stockage des ferments concentrés stabilisés est réalisé à température contrôlée, pendant une durée au moins égale à trois mois, selon les spécifications du producteur (**Corrieu et Luquet, 2008**).

La figure 07 présente la production industrielle des ferments lactiques concentrés congelés ou lyophilisés

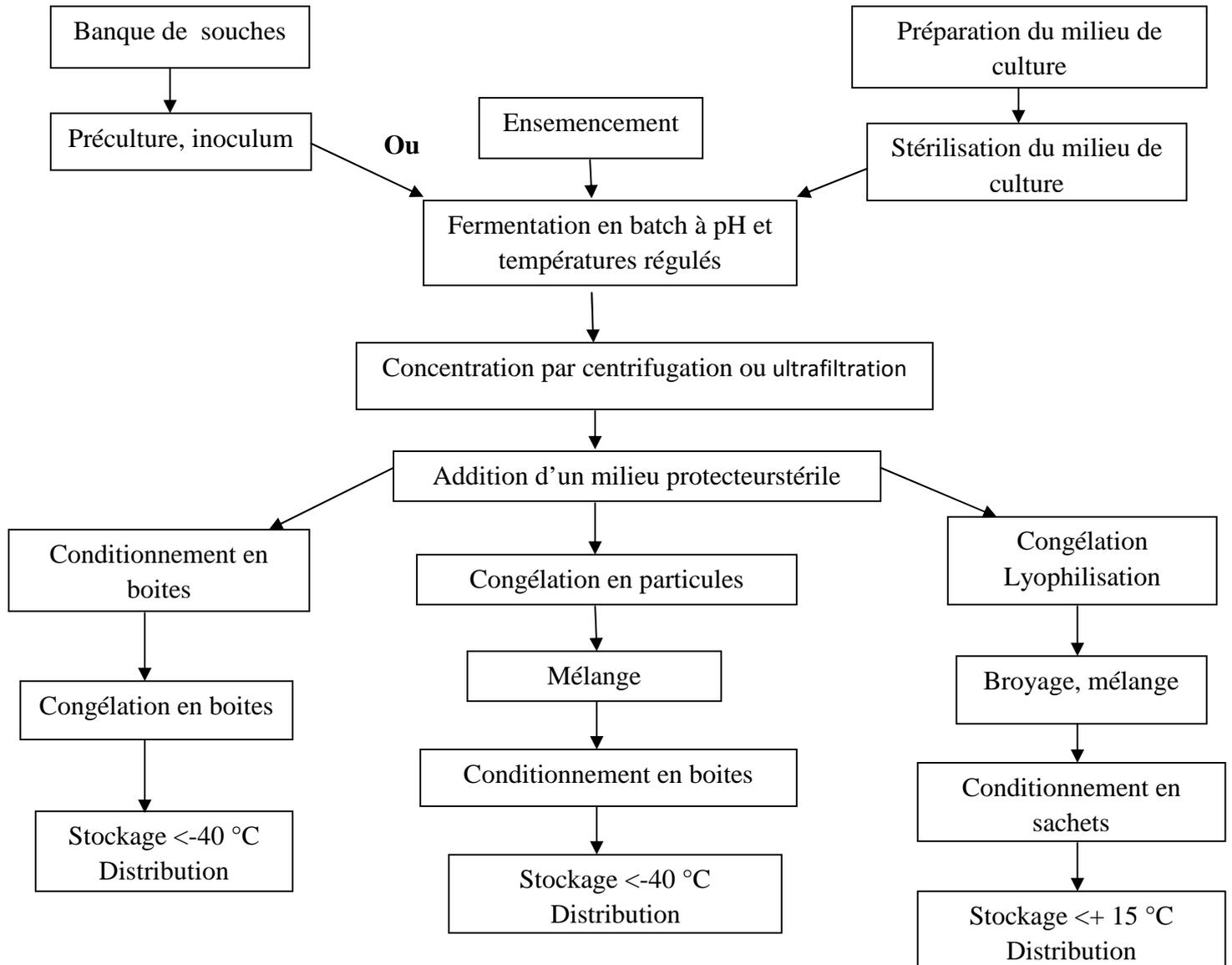


Figure 07: Diagramme de production de ferments lactiques concentrés congelés ou lyophilisés (Corrieu et Luquet, 2008).

### 2.3.3. Conservation et modes de commercialisation des ferments lactiques

La commercialisation des ferments concentrés nécessite leur stabilisation préalable par congélation, soit par lyophilisation, cette stabilisation permet de les conserver à la température préconisée, pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, les cultures concentrées congelées doivent être stockées à une température inférieure à -45 °C puis décongelées, soit avant l'ensemencement, soit directement lors de fabrication (Corrieu et Luquet, 2008).

A l'opposé, du fait de volumes de stockage plus faibles (liés au mode de conditionnement final) et de températures de conservation plus élevées, les coûts de stockage et de transport des ferments lyophilisés sont inférieurs à ceux des ferments congelés, cela peut

faciliter leur utilisation dans les contextes de production où la mise en œuvre de basses températures est plus difficile (pays chauds), un ferment lyophilisé peut, en outre, être stocké plusieurs années à basse température (**Salminen et al., 2004**), cependant, même à l'état sec, on observe une perte de viabilité pendant le stockage, et la survie des bactéries stockées dépend de plusieurs facteurs tels que la concentration initiale en cellules, l'état et le milieu de croissance, les conditions de séchage, le milieu de lyophilisation, les conditions de stockage et de réhydratation (**Kurtmann et al., 2009; Zhao et Zhang, 2009**).

### 2.4. Qualité et critères de sélection des ferments lactiques

La sélection d'un ferment lactique est réalisée soit par l'utilisateur potentiel, soit par le producteur de ferments, sur la base d'un cahier des charges généralement fixé par l'utilisateur, cette sélection s'appuie sur de nombreux critères afin de répondre à la fois aux spécifications demandées par l'utilisateur et aux contraintes imposées par le producteur (**Robinson, 2002**).

Ces critères relèvent habituellement des fonctionnalités technologiques des souches, de leurs performances, de leurs propriétés probiotiques éventuelles et de leur sécurité. Ils diffèrent selon le type de produit désiré, les caractéristiques des matières premières à transformer et la technologie appliquée, il importe également de s'assurer de la faisabilité économique de la propagation de la souche : coûts des milieux, mise en œuvre pratique de la culture, mise en œuvre de la phase de stabilisation, enfin, leur robustesse, notamment lors des différentes phases de leur production, constitue le critère ultime de sélection (**Robinson, 2002**).

#### 2.4.1. Critères de sécurité

Les bactéries susceptibles d'être produites et utilisées comme ferments lactiques ne doivent évidemment pas présenter de caractère pathogène et/ ou générer des substances toxiques, c'est le cas de la plupart des espèces de bactéries lactiques, (**Delorme, 2008**).

Les préparations de ferments commerciaux doivent, en outre, être exemptes de substances infectieuses ou susceptibles de provoquer des problèmes d'hygiène, elles ne doivent pas contenir de contaminants tels que des coliformes, des levures ou des moisissures. ; selon la Fédération Internationale de Lait.

#### 2.4.2. Fonctionnalités technologiques

Selon (**Corrieu et Luquet, 2008**), les fonctionnalités technologiques des ferments lactiques relèvent les propriétés suivantes :

- **Activité acidifiante**

Il s'agit, pour un ferment donné, de permettre une vitesse d'acidification élevée et/ou d'atteindre un niveau d'acidité finale prédéfinie, ce niveau d'acidité finale dépend des spécificités du produit, lesquelles vont conditionner le choix des souches ;

### ➤ **Métabolisme des sucres**

Le choix d'un ferment est conditionné par son aptitude à produire, soit de l'acide lactique presque exclusivement (métabolisme homofermentaire), soit de l'acide lactique et d'autres produits finaux tels que l'éthanol et le CO<sub>2</sub> (métabolisme hétérofermentaire) ;

### ➤ **Propriétés protéolytiques et peptidasiques**

Les bactéries démontrent des potentialités différentes, liées à leur équipement enzymatique, pour l'utilisation de la fraction azotée ;

### ➤ **Propriétés lipolytiques**

Généralement faibles chez les bactéries lactiques, elles peuvent cependant présenter un intérêt pour certaines applications fromagères ;

### ➤ **Activité gazogène**

Certains ferments lactiques sont capables de produire du CO<sub>2</sub> à partir d'une source de carbone, participant ainsi à la formation d'ouvertures dans les fromages ;

### ➤ **Production de composés d'arômes**

Cette fonctionnalité est particulièrement importante lors de l'élaboration des laits fermentés, des fromages frais, crèmes et beurres, dont l'arôme principal est lié à cette activité microbienne ;

### ➤ **Production de polysaccharides exocellulaires**

Il s'agit de sélectionner des ferments capables de produire, en quantité et en qualité, des exopolysaccharides qui vont accroître la viscosité du produit (cas des yaourts brassés par exemple) ;

### ➤ **Activité antimicrobienne:**

Certains ferments sont capables de produire des bactériocines ou d'autres inhibiteurs de micro-organismes indésirables, ces molécules sont particulièrement intéressantes pour l'élaboration de produits à partir de lait cru, donc susceptibles de contenir des microorganismes indésirables, voire pathogènes ;

### ➤ **Post-acidification:**

Le choix de souches faiblement post-acidifiantes permet, lors de la fabrication des laits fermentés, de limiter les phénomènes d'acidification qui peuvent intervenir lors de leur stockage à basse température (4 à 6°C), modifiant ainsi leur qualité

organoleptique, la sélection d'un ferment fait généralement appel à plusieurs de ces propriétés simultanément.

### **2.4.3. Performances**

La sélection d'un ferment lactique doit prendre en compte des critères de performance des bactéries, ainsi, quelle que soit la (ou les) propriétés fonctionnelles retenues, les bactéries devront répondre à certaines des spécificités suivantes :

- Résistance aux bactériophages (assortie d'un programme de rotation des cultures) ;
- Tolérance aux inhibiteurs de la croissance, tels que les antibiotiques ;
- Résistance aux traitements mécaniques (centrifugation, ultrafiltration) ;
- Aptitude à la congélation ou à la lyophilisation ;
- Aptitude à la conservation (congelée ou lyophilisée) pendant plusieurs mois ;
- Comportement en présence d'oxygène ;
- Tolérance au chlorure de sodium (pour les productions fromagères) ;
- Tolérance au saccharose (cas des laits fermentés sucrés) ;
- Tolérance à l'acidité ;
- Croissance à des températures non optimales (pour certaines fabrications fromagères).
- Tolérance aux températures élevées (fabrications fromagères thermophiles) ;
- Compatibilité avec d'autres souches ;
- Facilité d'emploi.

Les cinq premiers critères de performance concernent toutes les bactéries lactiques, quelles que soient leurs applications, et sont recherchés dès la production des ferments, en revanche, les critères suivants concernent plutôt leurs utilisations potentielles et sont donc plus variables (**Corrieu et Luquet, 2008**).

### **2.4.4. Propriétés probiotiques**

Lors de la sélection des ferments probiotiques, outre les caractéristiques précédentes, il faut prendre en compte certaines spécificités liées à leur activité probiotique, ces spécificités correspondent essentiellement à des propriétés de résistance lors du passage dans l'estomac, dans le duodénum et dans l'intestin (**Remacle et Reuses, 2004 ; Wildman, 2007**).

Selon **Farnworth, 2008**, les principales propriétés recherchées sont les suivantes :

- Être un habitant naturel de l'intestin (origine humaine) ;
- Être capable de coloniser le milieu intestinal, persister et se multiplier ;
- Adhérer aux cellules intestinales et exclure ou réduire l'adhérence des pathogènes ;

- Absence de toxicité ;
- Résistance à la bile, et à l'acidité du mucus intestinal.

#### **2.4.5. Aspects relatifs aux mélanges de souches espèces**

Lorsque le ferment est composé d'un mélange de plusieurs bactéries, il est nécessaire des'assurer tout d'abord de la compatibilité entre les souches associées, il s'agit notamment de considérerleur température de croissance, leur activité antimicrobienne (par de production de moléculesinhibitrices envers les souches associées) et les interactions bactériennes éventuelles, les critères quiprésident à l'élaboration des mélanges de ferments reposent sur la connaissance des propriétés décritesprécédemment, en fonction du type de produit à fabriquer, par exemple, pour l'élaboration d'un yaourtbrassé, il s'agira de choisir des souches de bactéries capables d'acidifier rapidement le lait, de produire des exopolysaccharides pour améliorer la texture finale du produit, et de postacidifier faiblement le produit lors de sa conservation (**Salminen *et al.*, 2004**).



*CHAPITRE III :*

*Yaourt*

## **1. Yaourt, Lait fermenté**

D'après le codex alimentaris, le yaourt est un produit laitier coagulé par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de substance (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire...), les microorganismes du produit final doivent être viables et abondants (Mahaut et al., 2005).

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes :

- Yaourtfermes, dont la fermentation a lieu en pot.
- Yaourts brassés, dont la fermentation a lieu en cuves avant le conditionnement(Luquet et Corrieu, 2005).

## **2. Caractères généraux de la flore du yaourt**

Dans la pratique industrielle, les levains de bactéries lactiques ne sont jamais constituées d'une souche pure, mais du mélange plus au moins complexes de souches d'espèces, le yaourt constitue un écosystème simple dont la fabrication repose sur les interactions symbiotiques entre les deux espèces de bactéries lactiques *Lactobacillus bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus*(Chaves et al. 2002).

## **3. Processus technologiques de la fabrication du yaourt**

### **3.1. Matières utilisées**

#### **3.1.1. Lait frais**

Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée, il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum, c'est le produit de la sécrétion mammaire normale obtenue par une ou plusieurs traites sans aucune addition ou soustraction d'élément (Dillon, 2005).

#### **3.1.2. Poudres de lait**

Les poudres de lait sont définies par le codex "norme 207-1999" comme « produits laitiers qui peuvent être obtenus par l'enlèvement partiel de l'eau du lait », le lait en poudre ou lait déshydraté ou lait sec est le produit obtenu directement par élimination de l'eau du lait, on

répartit les poudres en trois groupes : La poudre de lait entier , la poudre de lait partiellement écrémé et la poudre de lait écrémé(**Jean-claude et al., 2002**).

Le tableau IX représente la Composition des trois différents types de laits en poudre.

Tableau IX : Composition des laits en poudre (en %) (**FAO, 2002**).

<b>Composants</b>	Lait en poudre entier	Lait en poudre partiellement écrémé	Lait en poudre écrémé
Matière grasses	26 – 40	1,5 - 26	≤ 1,5
Eau maximum	5	5	5

### **3.1.3. Bactéries lactiques**

#### ➤ *Streptococcus thermophilus*

*Streptococcus thermophilus* est l'une des bactéries lactiques thermophiles, largement employé en tant que levain dans la fabrication de certains produits laitiers fermentés tel que le yaourt (en culture mixe avec *Lactobacillus bulgaricus*) et les fromages à pâte cuite (en culture mixe avec *Lactobacillus helveticus*), elle est connue par une forte production d'arôme tel que l'acétaldéhyde, et par sa capacité de produire de l'acide folique et des exopolysaccharides, *Streptococcus thermophilus* est la seule espèce non pathogène du genre *Streptococcus* (**Hols et al., 2005 ; Delorme, 2008**)

*Streptococcus thermophilus* est une bactérie à Gram positif, anaérobie facultatif, immobile, (**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 elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposés en chaînes de longueurs variables ou par paires, sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C et son métabolisme est du type homofermentaire (**Lamoureux, 2000**).

Le rôle principal de *Streptococcus thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique, en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés, elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose) (**Bergamaier, 2002**).

La figure 08 illustre l'aspect microscopique des cellules de *Streptococcus thermophilus*.



Figure 08 : Aspect des cellules de *Streptococcus thermophilus* sous microscope électronique (Durso et Huktins, 2003).

➤ *Lactobacillus bulgaricus*

*Lactobacillus* est un genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*, il contient de nombreuses espèces qui sont des agents de fermentation lactique intervenant dans de nombreuses industries. Certaines espèces qui sont rencontrées comme contaminants (Guiraud, 2003).

*Lactobacillus bulgaricus* est un bacille Gram positif, immobile, asporulé, microaérophile, 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, *Lactobacillus 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., 2002).

Cette bactérie peut ainsi occuper les sites d'attachement de certains pathogènes comme *Escherichia coli* enteropathogénique (EPEC) et *Escherichia coli* entérohémorragique (EHEC), souvent responsables des diarrhées chroniques chez l'enfant et des colites hémorragiques, elle possède une surface cellulaire plutôt hydrophobe ce qui lui confère la capacité à se lier non spécifiquement à la surface des cellules de l'hôte (Sherman et al., 2005).

La figure 09 illustre l'aspect microscopique des cellules de *Lactobacillus bulgaricus*.



Figure 09: Aspect des cellules de *Lactobacillus bulgaricus* sous microscope électronique (Corrieu et Luquet, 2008).

Ces deux bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène, ceci peut être probablement lié au peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) qui est produit dans les cellules en présence d'air, le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme, la catalase, dont les bactéries lactiques sont déficientes, ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase, comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites microaérophiles (Doleyres, 2003).

### 3.2. Diagramme de fabrication des yaourts

Les procédés de fabrication des yaourts et des laits fermentés se caractérisent par trois grandes étapes : la préparation du lait, la fermentation et les traitements post-fermentaires du produit (Beal et Sodini, 2003), le diagramme de production diffère selon le type de produit (yaourt ferme ou brassé) et présente des variantes selon sa teneur en matières grasses et son arôme.

La figure 10 illustre le diagramme de fabrication du yaourt.

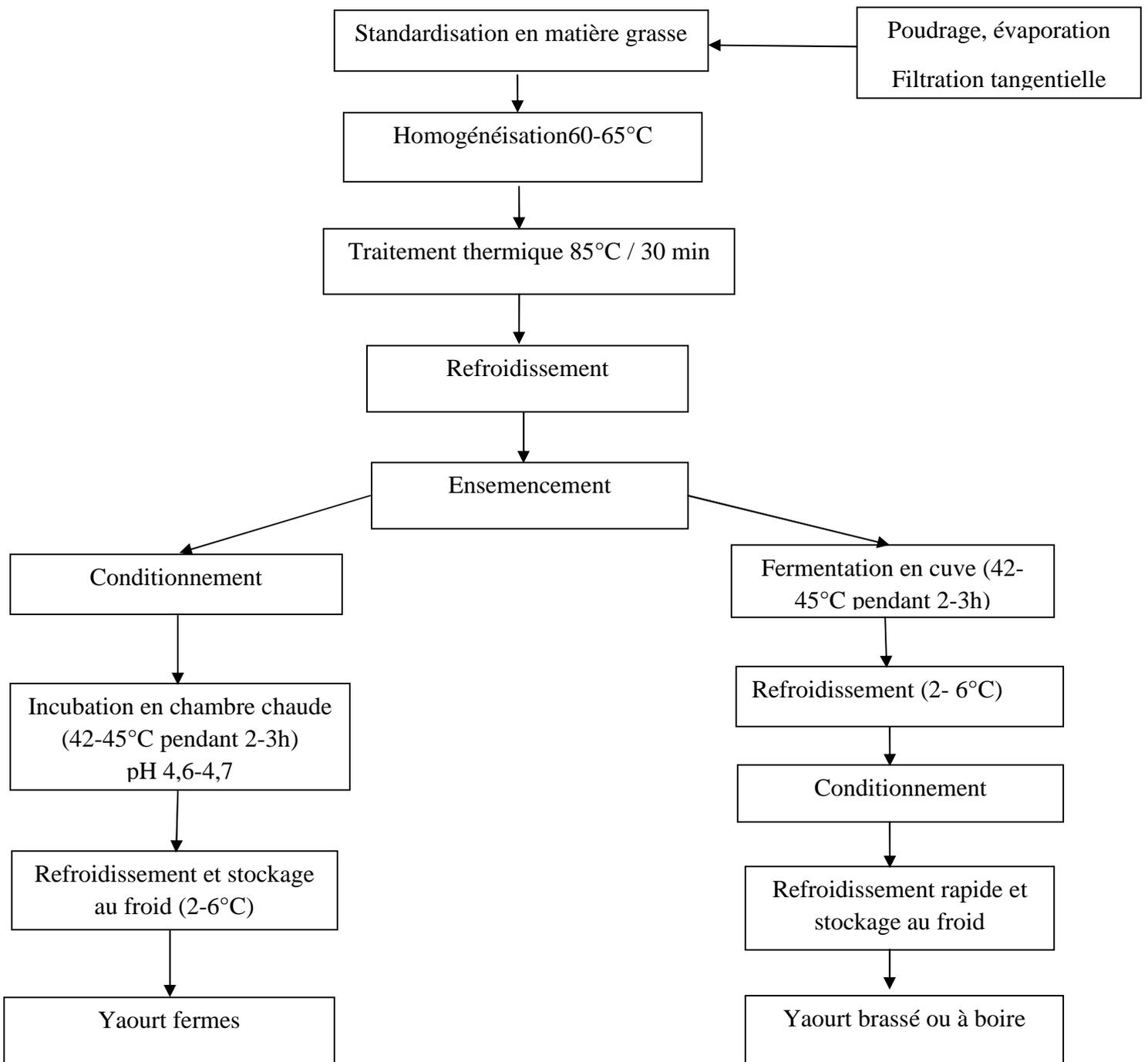


Figure 10 : Diagramme de fabrication du yaourt(Lucey, 2004).

### 3.2.1. Réception du lait

Le lait frais, collecté au plus tard 72 h après la traite, arrive en camion-citerne réfrigérés à l'unité de production, il est contrôlé lors de la réception, pompé et filtré pour éliminer les résidus solides (paille, feuilles, terre ...), puis stocké à froid (<5 °C) dans des tanks stériles, avec une double enveloppe permettant de maintenir le lait au froid (Beal

et **Sodini, 2003**), il est généralement reconnu qu'on ne peut pas faire un produit de qualité avec une matière première de mauvaise qualité, dans cet esprit, il y a deux paramètres à respecter dès la réception du lait : sa qualité microbiologique et physique et chimique qui permettent de procéder à la standardisation du mélange (**Lamontagne, 2002**).

### 3.2.2. Standardisation

En fabrication de yaourt, il est nécessaire de standardiser le lait en matière grasse et en matière protéique pour répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques des produits, et pour obtenir une qualité constante au cours de l'année (**Luquet et Corrieu, 2005**), pour cela, le lait est tout d'abord écrémé, puis mélangé avec la crème dans les proportions souhaitées, en conséquence, le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines laitières pour former un yaourt consistant et exempt de synérèse, les quantités de protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée, la fortification du lait de fabrication par de la poudre de lait écrémé ou du lait concentré est la technique la plus largement répandue dans l'industrie (**Beal et Sodini, 2003**).

Le tableau X donne les causes possibles de standardisation inadéquate d'un mélange et l'incidence sur la qualité du yaourt

Tableau X : Causes possibles de standardisation inadéquate d'un mélange et l'incidence sur la qualité du yaourt (**Lamontagne, 2002**).

Causes	Incidence sur la qualité du yaourt
Trop de protéines	Forte viscosité, consistance ou fermeté, texture gommeuse, gout râpeux au palais
Trop de gras	Très onctueux, style pouding, pâteux
Trop de sucre	Cristallisation, forte pouvoir sucrant
Protéines en quantité insuffisante	Synérèse, faible texture, gout d'eau
Pas assez de gras	Faible viscosité
Sucre en quantité insuffisante	Faible pouvoir sucrant
Température inadéquate lors de l'addition	Mauvaise solubilisation : présence des grumeaux, absence d'uniformité du gel, faiblesse du gel, synérèse
Volume à agiter trop grand	Non-uniformité du mélange
Temps de mélange insuffisante	Non-uniformité du mélange ou hydratation insuffisante des protéines (texture inadéquate)

### 3.2.3. Homogénéisation

Le lait standardisé en matières grasses et enrichi en protéines, éventuellement sucré, constitue le mix de fabrication, il est homogénéisé afin de réduire la taille des globules gras. Cette opération est indispensable pour éviter la remontée des matières grasses pendant la fermentation, elle permet aussi d'augmenter la viscosité du yaourt et de réduire le phénomène d'exsudation de sérum (ou synérèse) pendant le stockage du yaourt ferme. Enfin, elle confère un aspect plus blanc au lait et, par conséquent, au yaourt (**Beal et Sodini, 2003 ; Luquet et Corrieu, 2005**)

Le tableau XI donne les causes possibles d'homogénéisation inadéquates d'un mélange et les incidences sur la qualité du yaourt.

Tableau XI : Causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt(**Lamontagne, 2002**).

Causes	Incidences sur la qualité du yaourt
Pression trop faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Séparation du gras, obtention de deux phases (une surface très crémeuse)</li> <li>➤ Présence d'un gout d'eau dans le produit</li> <li>➤ Non-uniformité de la couleur</li> <li>➤ Produit plus liquide, donc une consistance et une viscosité moindres</li> <li>➤ Synérèse</li> </ul>
Pression trop forte	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diminution dans l'onctuosité</li> <li>➤ Viscosité et consistance inappropriées en raison d'un bris des protéines, produit plus liquide</li> <li>➤ Présence de mousse ou de bulles à la surface</li> </ul>

### 3.2.4. Traitement thermique

Le traitement thermique appliqué au mix vise à réduire la charge microbienne et à améliorer les propriétés physiques du yaourt (viscosité, capacité de rétention d'eau), son objectif est de dénaturer 80% de la fraction protéique sérique, soit totalement l' $\alpha$ -lactalbumine et la  $\beta$ -lactoglobuline, pour assurer une bonne texture du produit fini. Les barèmes de traitement thermique sont variables selon les installations : 30 min à 85°C, 5 min à 90-95 °C, ou 3 s à 115 °C. Le traitement le plus courant est un chauffage à 92 °C pendant 5 à 7 min, avec un débit de circulation compris entre 4 000 et 20 000 L/h .Le maintien du lait à 92 °C

pendant 5 à 7 min est réalisé dans une section de chambrage située à l'extérieur de l'échangeur ;. Il s'agit de tubes en acier inoxydable, compactés à l'intérieur d'une cuve thermostat (**Beal et Sodini, 2003**).

Le tableau XII donne les causes possibles de traitements thermiques inadéquats et incidences sur la qualité du yaourt.

Tableau XII : Causes possibles de traitement thermique inadéquat et incidences sur la qualité du yaourt (**Lamontagne, 2002**).

Causes	Incidences sur la qualité du yogourt
Traitement thermique trop faible ou temps de retenue insuffisant	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Viscosité et consistance plus faibles (protéines du lactosérum, concentré de protéine du lactosérum)</li><li>➤ Destruction moindre des contaminations microbiennes</li><li>➤ Diminution possible de l'activité ou ralentissement du ferment</li><li>➤ Absence de certaines saveurs recherchées</li></ul>
Traitement thermique trop poussé (élevé)	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Gout de brûlé</li><li>➤ Couleur plus foncée (brunissement)</li><li>➤ Dénaturation trop grande des protéines (grumeaux, produit plus liquide, consistance et viscosité faible)</li><li>➤ Perte d'efficacité du ferment (ne reconnaît pas les composants présents)</li></ul>

### 3.2.5. Refroidissement

Dans certains cas, en production de yaourt, le lait est refroidi à 4°C, avant inoculation, il peut être alors conservé quelques heures dans des cuves à basse température, il est ensuite porté à la température de fermentation après inoculation au moment du conditionnement, par des systèmes de chauffage spécifique, étalonnés par rapport à la conditionneuse, cette méthode permet plus de souplesse et limite les pertes en cas de panne de la conditionneuse (**Beal et Sodini, 2003**).

### 3.2.6. Ensemencement

L'ensemencement d'une culture de *Lactobacillus delbrueckii*ssp*bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* doit se faire à un taux assez élevé pour assurer une acidification correcte : il varie selon la vitalité des cultures entre 1 et 7%, et selon le rapport *streptococcus thermophilus* /*lactobacilles delbrueckii*ssp*bulgaricus* de 1,2 à 2 pour les yaourts

natures (**Mahaut et al., 2005**), en réalité, chaque fabricant travaille dans des conditions qui lui sont propres, en privilégiant plutôt l'impact de chaque association sur les caractéristiques finales du produit (**Beal et Sodini, 2003**), ces ferments sont commercialisés sous forme congelée (stockage à  $T^{\circ} < -40^{\circ}\text{C}$ ) ou lyophilisée (stockage à  $T^{\circ} < 4^{\circ}\text{C}$ ) (**Luquet et Corrieu, 2005**).

### **3.2.7. Réchauffage**

La température optimale de développement se situe selon les auteurs de 37 à 46°C pour *Streptococcus thermophilus* et de 42 à 50°C pour *Lactobacillus Bulgaricus* (**Mahaut et al., 2005**),

Le mix laitier est porté à la température de fermentation (42-45°C) par réchauffage en ligne (**Luquet et Corrieu, 2005**).

### **3.2.8. Conditionnement**

Deux types d'emballages sont utilisés : les pots en verre et les pots en plastique (thermoformage) (**Paci kora, 2004**).

La conditionneuse assure à la fois :

- Le formage des pots à partir des films d'emballage ;
- Le remplissage et le dosage des pots (c'est à ce niveau que s'effectue l'ajout d'arômes) sous --protection avec air filtré (hotte à flux laminaire) ;
- La fermeture hermétique des pots par thermo-scclage ;
- L'impression et le marquage de la DLC ;
- Confection des pots.

L'ajout éventuel des arômes intervient avant le conditionnement (**Paci kora, 2004**).

### **3.2.9. Etuvage et Stockage**

Dans le cas des yaourts fermes, le mélange lait/ferment est soutiré et l'acidification se fait en pots tandis que celle des brassés se fait en cuve, l'incubation est réalisée à des températures entre 42 et 44°C, cette étape dure entre 2h30 et 3h30, l'objectif de cette phase est d'atteindre une acidité de 70-80°D, lorsque cette acidité est atteinte, on procède à un refroidissement rapide pour bloquer la fermentation, ce refroidissement est effectué soit dans des chambres froides fortement ventilées (le plus souvent), soit dans un tunnel, les yaourts sont stockés en chambre froide à 4°C (**Loones, 1994**).

## 4. Qualités du yaourt

### 4.1. Aspects physico-chimiques

D'après **Laurence et Cohen, 2004**, est résumée dans le tableau suivant, la composition du yaourt.

Tableau XIII : Composition physico-chimique du yaourt (**Laurence et Cohen, 2004**)

Caractéristiques	Compositions
Protéines	4%
Lipides	0-4g
Cholestérol	15mg
Glucides	5-18%
Lactose	3%
Ph	4,5
Teneur en matière sèche laitière pour le yaourt	10-16%
Calcium	155-200mg (17 à 24%)
Vitamine	A, D, B (B2, B12)
Calorie pour 100g	90 Kcal

### 4.2. Aspects hygiéniques

Selon la norme nationale de 1998, N°34 parue au Journal Officiel, les yaourts ne doivent contenir aucun germe pathogène, le traitement thermique appliqué sur le lait avant fabrication du yaourt est suffisant pour détruire les micro-organismes non sporulés pathogènes ou non, leur présence dans le yaourt, ne peut être que de manière accidentelle, le pH acide du yaourt le rend hostile aux germes pathogènes, comme pour la plupart des autres germes indésirables, cependant, des levures et des moisissures peuvent se développer dans le yaourt, ces dernières proviennent principalement de l'air ambiant dont la contamination se situe au stade du conditionnement (**Larpen et Bourgeois, 1995**).

### 4.3. Qualités organoleptiques

L'analyse sensorielle est et demeure aujourd'hui une approche indispensable à l'évaluation de la qualité d'un produit alimentaire, étroitement associée à la caractérisation

des propriétés physico-chimiques, elle peut être un outil d'acide à la maîtrise de la qualité et la formulation des produits transformés :

- La saveur d'un yaourt est formée par des composants volatils par fermentation et / ou dégradation thermique de certains constituants du lait, un des composés aromatiques les plus importants dans le yaourt est l'acétaldéhyde, pour une saveur optimale dans le yaourt, la concentration en acétaldéhyde devrait se situer entre 23 et 41 mg / kg de yaourt (**Sahan et al., 2008**).
- Pour l'arôme du "yaourt", l'acétaldéhyde est considéré comme le principal composé d'arôme, mais la 2,3 pentanedione, le dimethylsulfure, le limonène et l'undecanal ont également un impact. Par ailleurs, de nombreuses notes aromatiques supplémentaires peuvent être apportées au yaourt par ajout de composés d'arôme et de préparation de fruits.
- La texture est définie comme l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit, perceptibles par les mécanorécepteurs (**Paci kora, 2004**).

### 4.3.1. Gélification acide "Fermentation"

Les caséine se présentent sous la forme de particules sphériques ou micelles, elles sont constitué d'un noyau, fortement hydrophobe, composé exclusivement des caséines  $\alpha_s$  et  $\beta$ , reliées entre elles par des ponts salins de phosphate de calcium, et par des liaisons hydrophobes et électrostatiques, et d'une enveloppe hydrophile contient majoritairement des caséines k et  $\alpha_s$ , et quelques monomères de caséine  $\beta$ , elle développe une charge négative qui maintient les micelles en suspension, à l'écart les unes des autres (**Beal et Sodini, 2003**).

Pendant la fermentation, le pH du lait diminue et les propriétés physico-chimiques des micelles de caséine sont profondément modifiées, les fonctions acides de certains acides aminés fixent les protons formés, entraînant une annulation progressive de la charge négative des micelle, en parallèle, une solubilisation du phosphate de calcium micellaire est observée, entraînant une déminéralisation progressive des micelles de caséines, celles-ci vont s'associer entre-elles par formation de liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques pour former un réseau protéique retenant la phase aqueuse (**Paci kora, 2004**).

### 4.3.2. Comportement rhéologique

La transformation du lait en yaourt s'accompagne aussi d'un changement des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide à un gel à destruction non réversible.

#### **4.3.2.1. Viscosité**

La viscosité du yaourt fait partie des critères de qualité de ce dernier, et ce, quelque soit le type (ferme ou brassé), la texture du yaourt est évaluée par la mesure de sa viscosité, la viscosité est définie comme étant la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle, elle est exprimée en centpoises ( $10^{-3}\text{Pa.s}$ ), celle-ci dépend de 4 paramètres indépendants (Scher, 2003) : La nature physico-chimique du produit ; La température du produit ; La pression ; Le gradient de vitesse ; Le temps.

#### **4.3.2.2. Facteurs influençant la viscosité du yaourt**

L'un des attributs les plus importants pour la qualité du yaourt est la texture, qui est en fonction de la concentration en matière sèche, de la méthode d'enrichissement du lait, du traitement thermique mais aussi des souches bactériennes utilisées (Damin et al., 2009).

##### **➤ L'Effet des protéines**

La teneur du lait en protéines est une caractéristique essentielle de sa valeur marchande car plus le taux protéique est élevé, meilleur sera le rendement de la transformation technologique, l'augmentation du niveau des protéines du lait est le facteur principal influençant la texture (Damin et al., 2009).

Selon Xu et al., 2008, le procédé de la formation de gel d'un yaourt commence avec l'agrégation des protéines sériques liées aux caséines, particulièrement les  $\beta$ -lactoglobulines, il a été rapporté que deux interactions principales ayant lieu entre les protéines sériques et les micelles de caséine suite chauffant appliqué, c'est-à-dire, une interaction directe de  $\beta$ -lactoglobuline avec des micelles de caséines, par l'intermédiaire de caséine-k, et l'interaction entre  $\alpha$ -lactalbumine et  $\beta$ -lactoglobuline en solution et leur réaction avec les micelles ainsi, la réticulation et les ponts formés par les protéines sériques dénaturées liées aux micelles de caséine a comme conséquence une augmentation du nombre et de la force des liens entre les particules de protéines, le degré de dénaturation des protéines sériques est un paramètre très important qui affecte le comportement rhéologique des gels. (Serra et al., 2009).

La figure 11 donne effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt.

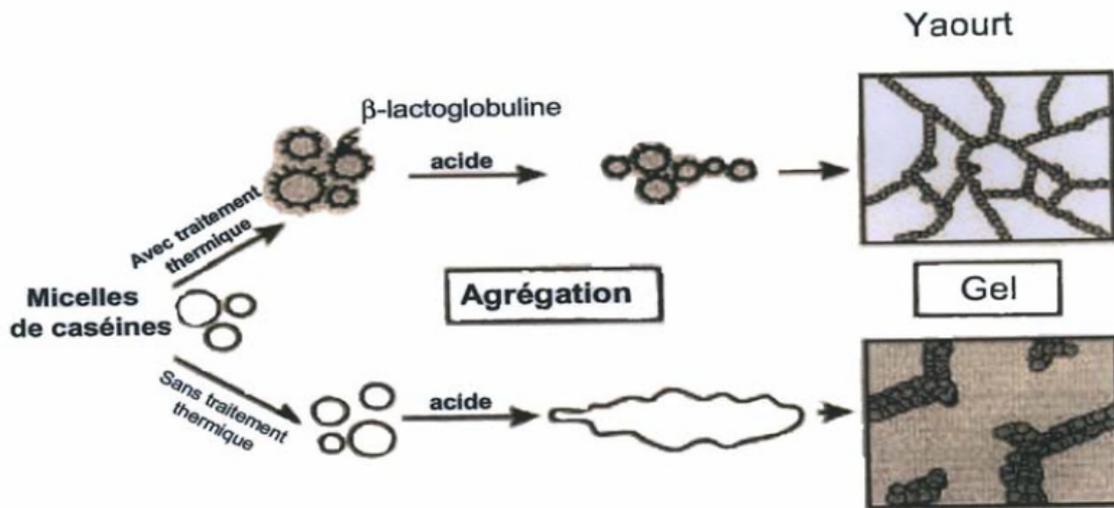


Figure 11 : Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt (Kessler, 1998).

➤ **Effet de la température et du traitement thermique**

Le traitement thermique du lait avant l'acidification change nettement les propriétés de gel formé comparées à ceux du lait non chauffé (Vasbinder et al., 2003), en effet, les micelles de caséines d'un yaourt fabriqué à partir d'un lait chauffé forment des chainettes bien liées entre-elles, tandis qu'elles forment des agrégats dans un yaourt fabriqué à partir de lait non chauffé, cette différence est essentiellement due au comportement des  $\beta$ -lactoglobuline, ou un rapport clair entre la dénaturation provoquée par la chaleur de  $\beta$ -lactoglobuline et les caractéristiques de yaourt a été observé (Augustin et al., 1999).

Selon Vasbinder et al., 2003, le traitement thermique du lait a changé des micelles de caséine en micelles avec des annexes composées de protéines de lactosérum sur la surface, ce changement a comme conséquence une augmentation de la rigidité du gel formé par l'augmentation du nombre de points de contact entre les micelles, donc, il est bien établi que ce traitement thermique du lait qui cause la dénaturation des protéines sérique du lait est nécessaire pour la production de yaourt avec une texture ferme et une résistance à la synérèse (Augustin et al., 1999).

➤ **Effet de la flore lactique**

Différentes bactéries lactique sont connues pour leur capacité de produire des expolysaccharides (EPS) pendant la fermentation, qui agissent à la fois sur la fermeté et l'onctuosité des produits fermentés (Renard et al., 2006), ils sont présents sous forme de filaments attachés aux micelle de caséines et à la surface des bactéries, les interactions entre les bactéries, les interactions entre les bactéries, les EPS et les caséines contribuent à former

un réseau qui emprisonne l'eau dans le gel (**Tamime, 2002**), la texture et la stabilité globales des produits alimentaires dépend non seulement des propriétés des protéines et des polysaccharides, mais également de la nature et de la force des interactions de protéines/polysaccharides(**Hemar et al., 2001**).

En plus, lors de la croissance de ces bactéries, le lactose est converti en acide lactique entraînant une baisse du pH et la gélification du milieu avec des modifications structurales irréversibles (**Paci kora, 2004**).

➤ **Effet del'homogénéisation (pression / vitesse)**

La viscosité des yaourts est directement proportionnelle à l'augmentation de la pression lors de l'homogénéisation, une pression entre 140 à 200 bars est optimale pour la viscosité des laits fermentés, une pression trop faible conduit à un produit plus liquide donc une consistance et une viscosité moindre, cependant, une pression trop forte provoque une viscosité et une consistance inappropriées en raison d'une dégradation des protéines (**Lamontagne, 2002**), de même, l'homogénéisation évite la remontée de la matière grasse pendant la coagulation, améliore la rétention de l'eau et la fermeté du produit fini (**Mahaut et al, 2005**).

➤ **Effet du pH**

L'abaissement du pH par acidification entraîne une déminéralisation progressive des micelles de caséines, celles-ci vont s'associer entre-elles par la formation de liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques pour former un réseau protéique retenant la phase aqueuse, à un pH inférieur au point isoélectrique (pH=4,5), les micelles qui flocculent, précipitent, du fait de leur densité, et le réseau formé se stabilise et m'évolue pratiquement plus, le pH souhaitable pour un lait fermenté est un pH entre 4,2 et 4,8, dans cette gamme de pH on obtient un meilleur réarrangement et agrégation des particules de caséine, contribuant à la formation d'un gel plus stable et évitant la synérèse (**Debon et al., 2010**).

➤ **Effet de l'extrait sec total**

L'ajout de poudres de lait pour la fabrication des yaourt augmente sa teneur en matière sèche et rend ainsi les yaourt plus fermes (**Famelart et al., 2011**),un changement de la concentration des solides totaux conduit aux changements des propriétés rhéologiques des yaourts(**Debonet al., 2010**).

➤ **Effet de la variation du rapport caséine /protéines de lactosérum**

La nature et les proportions relatives des différentes protéines dans la matière sèche affectent de manière significative la texture du produit fini ;même à une concentration de protéines constante, lorsque la proportion de caséine croît, la fermeté du gel augmente, à l'inverse, les gels acides préparés à partir de laits enrichis graduellement en protéines sériques

sont de moins en moins fermes, la présence de protéines sériques perturberait donc la bonne gélification des particules de caséines (**Snappe et al., 2010 ; Damin et al., 2002**).

Selon **Amatayakul et al., 2005**, l'augmentation des ratios des caséines/ protéines sériques abouti à des valeurs de fermeté plus élevées, les yaourts faits à base de lait avec un ratio de 4,52 étaient plus fermes que celles qui sont faites en utilisant le lait avec le ratio de 3,20 à 3,40.

➤ **Effet des minéraux**

Un fort déplacement du calcium et du phosphate soluble vers la micelle de caséine, il en résulte un accroissement de la taille des micelles de caséine ; un diamètre moyen de 200 nanomètres, sont des assomonomères de caséine stabilisés par des interactions hydrophobes et des cristallites de phosphate de calcium, et la caséine-k établit une couche de terminaison externe qui est responsable de la stabilité colloïdale du système (**Jacob et al., 2010**).

➤ **Effet de la matière grasse**

Les protéines sériques comme les globules gras qui agissent en tant que remplisseur, l'un sur l'autre avec la protéine matrice par les réticulations des caséines avec la membrane des globules de gras (**Xu et al., 2008**).

## **5. Qualités nutritives du yaourt**

### **5.1. Effets nutritionnels**

Les meilleures valeurs nutritionnelles du yaourt résultent de la composition du lait après sa modification, ainsi le yaourt est (**Beal et Sodini, 2003**) :

- Une bonne source de protéines ;
- Une bonne source de minéraux tels que le calcium ;
- Une bonne source de molécules biologiques, comme les vitamines (vitamine D, et vitamine de groupe B) ou les facteurs de croissance (acides aminés, acides gras essentiels,...) ;

Le tableau XIV indique la composition nutritionnelle de différents yaourts.

Tableau XIV : Apports des différents yaourts(Syndifraise, 1997).

	<b>Protides (g)</b>	<b>Lipides (g)</b>	<b>Glucides (g)</b>	<b>Calcium (mg)</b>	<b>Kcal</b>	<b>KJ</b>
Yaourt nature lait partiel (écrémé)	5,4	1,5	6,2	185	60	251
Yaourt nature maigre (lait écrémé)	5,6	0,3	5,6	185	51	213
Yaourt nature au lait entier	5,2	4,3	6,2	194	84	351
Yaourt maigre aux fruits	4,5-5	0,3	13,7	175	106	443
Yaourt lait partiel (écrémé et aux fruits	91,8	77,6	3,2	15,2	1,69	
Yaourt lait entier et aux fruits	4	3,3	23,7	175	140	585
Yaourt aromatisé partiel écrémé sucre	4,8	1,3	17,5	175	101	422

## 5.2. Effets bénéfiques sur la santé humaine

### ➤ Améliorer l'utilisation du lactose par l'organisme

L'un des effets des bactéries lactiques qui a été le plus mis en avant et démontré chez l'Homme est celui qui concerne l'amélioration de l'intolérance au lactose (**De vrese et al., 2001**), *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* améliorent la digestion du lactose et réduisent les symptômes liés à l'intolérance au lactose (douleurs abdominales, ballonnements), plusieurs travaux ont montré que la lactase de bactéries lactiques participe à la digestion du lactose du yaourt (90%) chez les sujets déficients en lactase (**Guarner et al., 2008**).

### ➤ Stimulation du système immunitaire

L'effet du yaourt sur l'immunité a un effet pro-inflammatoire en stimulant la production de cytokines et anti-inflammatoire et cela est probablement lié aux différentes souches utilisées, la consommation régulière de yaourt stimule le système immunitaire chez l'homme et diminue les symptômes d'allergie (**Van de water et al., 1999 ; Meyer et al., 2007**).

### ➤ Guérison des diarrhées

Le yaourt diminue la durée de certains types de diarrhées, en particulier chez l'enfant, ces ferments régularisent l'activité intestinale et tendent à rétablir un équilibre bactérien favorable à la normalisation du tube digestif (**Bouraa et al., 1990**).

L'organisation mondiale de la santé « OMS » recommande de remplacer le lait par le yaourt, dans la mesure du possible, au cours du traitement des diarrhées car il est mieux toléré que le lait et peut contribuer à la prévention de la malnutrition ou à rétablir une nutrition suffisante.

#### ➤ **Prévention du cancer**

La consommation de yaourt réduit les risques de cancer colorectal en particulier chez l'homme et peut prévenir le risque du cancer du colon en exerçant une activité anti-tumorale et ce en augmentant l'apposé, et peut aussi agir en diminuant les taux d'enzymes pro-carcinogéniques dans le contenu caecal, et peut réduire significativement le nombre de tumeurs (Narushima et al., 2010 ; Pala et al., 2011).

#### ➤ **Influence sur la cholestérolémie**

L'hypercholestérolémie est un des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires qui constituent une cause majeure de mortalité dans les pays développés, la littérature montre des aspects contradictoires en ce qui concerne le rôle des bactéries lactiques ou du yaourt sur le taux de cholestérol sanguin des tests *in vitro* ont montré une réduction du taux de cholestérol dans un milieu de culture avec certains *Lactobacillus* (Zhanget al., 2008).

*Conclusion*

L'objectif de cette recherche bibliographique était de mieux comprendre le rôle et l'utilisation des bactéries lactiques dans la fabrication du yaourt et de connaître l'interaction entre la texture et la saveur dans un produit fini.

Le lait est l'aliment essentiel pour tous les mammifères à cause de sa richesse en matières nutritionnelles, pour la prolongation de sa conservation le lait est utilisé sous d'autres formes (yaourt...).

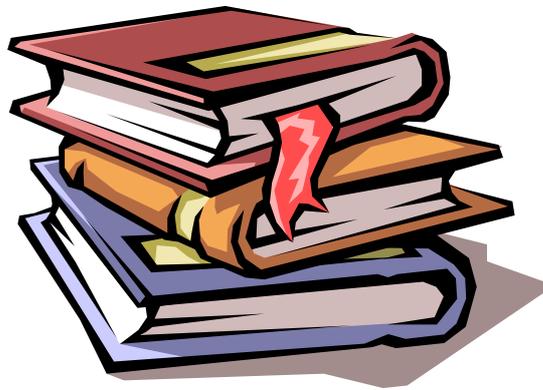
Les bactéries lactiques occupent une place importante dans l'alimentation, elles sont responsables de la fermentation de produits alimentaires, la flore lactique naturellement présente dans les matières premières est maintenant remplacée par les mélanges industriels de différents ferments.

Le yaourt est l'un de ces produits, préparé industriellement à partir du lait cru de vache, parfois utilisé à l'état frais, parfois on lui ajoute : un colorant, un arôme, un fruit.....

Une fois l'introduction des bactéries lactiques dans le lait elles provoquent la production d'acide lactique, ainsi que des activités aromatiques, texturantes et protéolytiques.

En plus d'être apprécié pour son goût et sa texture, le yaourt a une valeur nutritionnelle remarquable et un effet thérapeutique sur l'humain par l'utilisation des bactéries lactiques qui stimulent la fonction immunitaire et améliorent la santé intestinale.

# *Références Bibliographiques*



-A-

**Ait-belgnaoui A., 2006.** Influence d'un traitement probiotique (*Lactobacillus farciminis*) sur les altérations de la sensibilité viscérale liées au stress : rôle de la barrière épithéliale colique. INRA, 5pp3-152.

**Amatayakul T., Halmos A.L., Sherkat F. et Shah N.P. 2006.** The physical characteristics of yoghourts makes with the exopolysaccharide assistance producing Starter Cultures and while varying casein with ratios of whey proteins. International Dairy Journal, pp40-51.

**Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H., 2002.** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In **VIGNOLA C.L.**, Science et technologie du lait-Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, pp25-29 (600 pages).

**Annika M.M et Marc B. 2004.** Industrial Use and Production of Lactic Acid Bacteria. Ed Marcel Dekker, pp381- 427.

**Armor M., 2004.** Influence de la durée de réfrigération du lait cru sur l'évolution de principale caractéristique physico-chimique, biochimique, technologique et sensorielle au corps de la manipulation d'un fromage semi industriel de type camembert Rome, p72.

**Augustin M.A., Cheng L.J. et Clarke P.T. 1999.** Effects of preheat treatment of milk powder on the properties of reconstituted set skim yogurts. International Dairy Journal. 9pp415- 416.

- B -

**Bachir N, Kadim S, KARINE A. 2005.** Annuaire des statistiques du commerce extérieur 2006 (Direction de la Statistique et de la Démographie du Sénégal), pp 7-8.

**Beal C. et Corrieu G. 1991.** Influence of pH, temperature, and inoculation composition on mixed cultured of *Streptococcus thermophilus* 404 and *Lactobacillus bulgaricus* 398. Biotechnol. Bioeng., 38 pp90-98.

**Beal C. et Sodini I. 2003.** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. In *Technique de l'ingénieur, traité Agrol'alimentaire*, F6,315 pp 2-16.

**Benkerroum, N. and Tamime, A.Y. 2004.** Technology transfer of some Moroccan traditional dairy products (lben, jben, smen) to small industrial scale. *Food Microbiol.* 21, pp 399-314.

**Bergamaier D., 2002.** Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *Lactobacillus rhamnosus* RW-959 M dans un milieu à base de permeat de lactosérum. Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada.

**Boudraa G., Touhami M., Pochrt P., Soltana R., Mary J.Y. et Desieux F., 1990.** Effect of yogurt versus milk in children with persistent diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 11 pp509-512.

**Bourgeois C. M., Larpent, J.P., 1996.** Aliments fermentés et fermentation alimentaire, *Microbiologie alimentaires*. Tome 2. Ed © Technique Documentation Lavoisier, Paris. *British Journal of Nutrition* 88 pp165-176.

**Boyaval P., Terre S et Corre C., 1988 -** Production d'acide lactique à partir de permeat de lactosérum par fermentation continu en réaction à membrane lait 1 pp 65-84.

**Brunner J., 1981.** Cow milk proteins: twenty five years of progress. *J Dairy Sci*, 1981,64pp1038-1054. In **Pougheon S.,** Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, France, pp31.

**Brusetti L., Malkhazova I., Mora D., Borin S., Merabishvili M., Zaccaria A., Colnago D., Chanishvili N. et Daffonchio D., 2008.** Fluorescent-Box-PCR, an improved tool for resolving bacterial genetic diversity and biogeography studies. *BMC Microbiol.*, 8pp220-232.

**Bylund G., 1995.** Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems AB S-221 86 , Lund ,Sweden, 18 pp23-381.

- C -

**Calder P. C. and Kew S,2002.** "The immune system: a target for functional foods?"British Journal of Nutrition 88pp 165-176.

**Carminati D., Giraffa G., Quiberoni A., Binetti A., Suarez V. et Reinheimer J., 2010.** Advances and Trends in Starter Cultures for Dairy Fermentations, In **Mozzoi F.** Biotechnology of Lactic Acid Bacteria Novel Applications,Wiley-Blackwell Publishing, USA, pp 393.

**Chamba J. F., 2008.** Applications des bactéries lactiques lors des fabrications fromagères. In : **Corrieu G. and Luquert F.M.** (Eds.), Bactéries lactiques - De la génétique aux ferments. Lavoisier, Paris, pp787-815.

**Chaves A., Fenandez M., Lerayer A., Mierau M., Kleerebeze, et Hugenholtz J.2002.** Metabolic Engineering of Acétaldéhyde Production by Streptococcus thermophilus, Applied and environmental microbiology 68, p 5656-5662 chemically de fined medium. Curr. Microbiol. 37 pp 64-66.

**Chen G. Q., 2010.** Plastics from bacteria 'Natural functions and applications', Springer, Microbiology Monographs, Volume 14, Münster, Germany, pp 450.

**CorrieuG., Luquet F M., 2008** - bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Ed. Lavoisier. Paris. France, pp 472 -849.

-D -

**Damin M.R., Alcaintara M.R., Nunes A.P. et Oliveira M.N, 2009.** Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey prottein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properies and structure of nonfat stirred yaourt. LWT-Food Science and Technology. 42pp 1744-1750.

**De vrese M., Stefelmann A., Richter B., Fenselau S., LAUE C. and Schrezenmeir J., 2001.** Probiotics – Compensation for lactase insufficiency. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73pp421-429.

**Debon J., SchwindenPrudencio E. et Cunha Petrus J.C. 2010.** Rheological and physicochemical characterization of prebiotic microfiltré fermented milk. *Journal of Food genie* 2pp128-135.

**Dellaglio F., Rossart H., Torrias S., Curk M., et Janssens D, 1994.** Caractérisation générale des bactéries lactiques. Tec et Doc (Eds), Loriga, 1pp25-116.

**Delorme C., 2008.** Safety assessment of dairy microorganisms: *Streptococcus thermophilus*. *Internationa Journal of Food Microbiology*. 126 pp174-277.

**Desmazeud M., 1996.** Les bactéries lactiques dans l'alimentation humaines, utilisation et innocuité: cahier agriculture. DOC, Lavoisier, Paris. 5 pp 331-343.

**Dilon J.C. 2005.** Place du lait dans l'alimentation humaine en région chaude (INAPG Agro Paris Tech.) p 5

**Doleyres Y, 2003.** Production en continue du ferment lactique probiotique par la technologie des cellules immobilisées. Thèse de Doctorat. Université de Laval, Quebec.

**Drider D et Prevost H., 2009** - Bactéries lactique Physiologie, Métabolisme, Ed. Economica. Paris, pp 224-233.

**Dunne C, L et O'mahony, 2001.** "In vitro selection criteria for probiotic bacteria of human origin: correlation with in vivo findings." *American Journal of Clinical Nutrition* 73(2),ed. Economica. Paris, pp 224-233.

**Durso L et Hukins R., 2003.** Starter cultures. Universitu of Nebraska, Linocoln, NE, USA. Elsevier Science Ltd pp 5583-5593.

- E -

**Edward V. A., Huch M., Dortu C., Thonart P., Egounlety M., Van zyl P. J., SINGH S., Holzapfel W. H. et FRANZ C. M. A. P., 2010.** Biomass production and small-scale testing of freeze-dried lactic acid bacteria starter strains for cassava fermentations. Food Control, 22(3-4) pp389-395.

- F -

**F.A.O, 2002.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Chapitre 5 : Laits fermentés. Collection FAO/Alimentation et Nutrition, 28, p 7.

**FAO/ OMS, 2001.** World Health Organization. Evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria, p 34.

**Farkye N.Y et Imafidon G.I. 1995.** Thermal denaturation of indifenuous milk enzymes. In Heat-induced changes in milk. Ed. Fox, P.H., International Dairy Federation, Brussels, 2 Ed, pp 331-345.

**Farnworth E.R., 2008.** Kefir: from folklore to regulatory approval. J. Nutraceuticals Funct. Med. Foods, 1 pp57-68.

**Federighi M., 2005.** Bactériologie alimentaire compendium d'hygiène des aliments. 2, Ed. Economica. Paris, pp 224-233.

**Fredot E., 2006.** Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier, 25 p 397.

**Fuller R., 1989.** Probiotics in man and animals. J. Appl. Bacteriol., 66, pp365-378.

- G -

**Gosta B., 1995.** Cultured milk products. In cultured milk products in dairy processing. Edition Teknotext AB, p 427.

**Gourseaud J. 2000.** Composition de lait et potentialité technique Rév. Industrie, alimentaire et agriculture, 14 pp27, 31.

**Guarner F., Khan A., Garisch J., Eliakim R. and Gangl A., 2008.** Recommandation Pratique : Probiotique et prébiotiques. Organisation mondiale de Gastroentérologie, pp3-17.

**Guiraud J.P., 2003.** Microbiologie Alimentaire. Tec et Doc, Dunod. Paris, pp90-292.

- H -

**Hadef S., 2012.** Evaluation des aptitudes technologiques et Propiotiques des lactiques locales. Mémoire de magister: pp 7-8.

**Hassan A.N. et Frank J. F., 2001** - Star Cultures and their use. In: Applied. Dairy. Microbiology (Marth E H. et Steele J L). 2<sup>nd</sup>Ed. Marcel. Dekker. Inc. New York, pp 151-205.

**Hemar Y., Tamehana M., MuNRO P. A. et SINGH H. 2001.** Viscosity, microstructure and phase behavior of aqueous mixtures of commercial milk proteins products and xanthan gum. Food Hydrocolloids. 15, pp565-574.

**Hols P., Hancy F., Fontaine L., Grossioed B., Prozzi D., Leblond-boourget N., Decaris B., Blotin A., Delorme C., Duskoehrlich S., Guedon E., Monnet V., Renault P., et Kleerebezem M., 2005.** New insights in the molecular biology and physiology of *Streptococcus thermophilus* revealed by comparative genomics. FEMS Microbiology Reviens. 29, pp435-463.

**Hylckamavliega J. E. T. etHugenholtzb vanJ., 2007.** Mining natural diversity of lactic acid bacteria for flavor and health benefits, International Dairy Journal, 17, pp290–1297.

- I -

**Imbert M., Blandeau R., 1998-** On the iron requirement of lactobacilli grown in Lactobacillus strains for their effect on bile tolerance, taurocholatedeconjugation and cholesterol removal. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 24, pp 7-14.

**INRA, 2009.** Du lait aux produits laitiers. – Paris : Cidil. – p 19.

- J -

**Jacob M., Nobel S., Jaros D. et Rohm H. 2010.** Physical properties of acid milk gels :Acidification rate significantly interacts with cross-linking and heat treatment of milkFood Hydrocolloids. 3, pp 1-7.

**Jean-claude M., Pouliot M., et Richard J, 2002.**Lait de consommation. In « **Vignola C.L** ». Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed. Presses internationales poly technique, pp277-318.

**Jeanetet R., Croguennec T., Mahaut M., SchuckP. et Brule G., 2008.**Les produits laitiers ,2<sup>ème</sup> édition, Tec et Doc, Lavoisier: 1, pp 3-17.

- K -

**Kessler H.G.,1998.** The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition.In Texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF Symposium Vicenza, Italy, 5-6 May 1997, pp 93-105.

**Kurtmann L., Carlsen CH. U., Risbo J. et Skibsted L. H., 2009.** Storage stability of freeze–dried Lactobacillus acidophilus (La-5) in relation to water activity and presence of oxygen and ascorbate, Cryobiology, 58, pp175–180.

- L -

**Lamontagne M. 2002.** Produits laitiers fermentés. In « **Vignola C.L** ». Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed. Presses internationales poly technique, pp 443-469.

**Lamoureux L, 2000.** Exploitation de l'activité  $\beta$ -galactosidas de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.

**Larpent J.P, et Bourgeois C.M, 1995.** Microbiologie alimentaire : Aliment fermentés et fermentation alimentaire. Tom 2.2<sup>ème</sup> Ed Tec et Doc. Lavoisier. Paris, pp 309-310.

**Laurence audenet V et Cohen maurel E, 2004.** Conserve traditionnelle et femière Paris 2dition Tec et Doc. Lavoisier, p 633.

**Leahy S. C., Higgins D. G., Fitzgerald G. F. and VAN SINDEREN D., 2005.** Getting better with bifidobacteria. Journal of Applied Microbiology, 98, pp1303-1315.

**Lenoir J., Hermier J., Weber F., 1992.** Les groupes microbiens d'intéret, Ed Cidil, pp30-50.

**Leory F., Degeest B. and De vuyst L. 2002.** A novel area of predictive modeling : describing the functionally of beneficial micro-organisms in foods. International Journal of FoodMicrobiology, 73, pp251-259.

**Loones A, 1994.** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In « **De roissart H et Luquet F.M** » Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologique. Vol 2. Ed. Loriga. Uriage, pp135-154.

**Lucey J.A, 2004.** Culture dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *Int. J. Dairy Technol* 57, pp 77-84.

**Luquet F .M., 1986.** Lait et produits laitiers (vache, brebis, chèvre, T3., qualité, énergie et tables décomposition). Ed .Tec et Doc. Paris, p 343.

**Luquet F.M. et Carrieu G, 2005.** Bactéries lactiques et probiotique. Collection science et techniques agroalimentaire. Tec et Doc, p 273.

- M -

**Mahaut M. Jeantet R. Brule G et Schuck P. 2005.** Les produits industriels laitiers. Ed : Tec et Doc ; Lavoisier. France, pp 1-40.

**Majoub R., Allaic C et Veisseyre R, 1993:** Méthode de conservation et rôle des microorganismes dans les produits laitiers, p 214.

**Margoles A. and Garcia L., 2003.** Characterisation of a bifidobacterium strain with acquired resistance to cholate: A preliminary study. *International Journal of Food Microbiology*, 80 pp191–198.

**Marth E. H. et Steele J. M., 2001.** Applied dairy microbiology, 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc, New York, USA, p 744.

**Marty-teyssset C., De La Torre F. et Garel J.R, 2000.** Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* upon aeration: involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), pp262-267.

**Mathieu J., 1999.** Initiation à la physicochimie du lait, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, pp 3-190.

**Mechai A et Kirane D., 2008.** Antimicrobial activity of autochthonous lactic acid bacteria isolated from Algerian traditional fermented milk —Raïbl. *African Journal of Biotechnology*, 7 (16), pp2908-2914.

**Mercenier A., PAVAN S . 2003.**"Probiotics as biotherapeutic agents: Present knowledge and future prospects." *Current Pharmaceutical Design* 9(2), pp175-191.

**Meyer A. L., Elmadfa I., Herbace L. et Micksche M. 2007.** Probiotic, as well as conventional yogurt, can enhance the stimulated production of proinflammatory cytokines. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 20, pp590-598.

**Mozzi F., Raya R. et Vignilo G. M., 2010.** *Biotechnology of Lactic Acid Bacteria Novel Applications*, Wiley-Blackwell Publishing, USA, p 393.

- N -

**Narushima S., Sakata T., Hioki K., Itoh T., Nomura T. et Itoh K. 2010.** Inhibitory Effect of Yogurt on Aberrant Crypt Foci Formation in the Rat Colon and Colorectal Tumorigenesis in RasH2 Mice. *Experimental Animals* 59, pp487-494.

**Neville M.C et Jensen R.G., 1995.** The physical properties of human and bovine milks In **JENSEN R.**, *Handbook of milk composition-General description of milks*, Academic Press, Inc: 82, pp 919

**Ngounou C., Ndjouenkeu R., Mbofung F. et Noubi I. 2003.** Mise en évidence de la biodisponibilité de calcium et de magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé du Zébu. *Journal of Food Engineering*, 57, pp 301-307.

**Novel G, 1993.** Les bactéries lactiques In: *microbiologie industrielle, les microorganismes d'intérêt industriel*. Ed: Lavoisier, Paris, pp172-329.

- O -

**Ouadghiri M., Vancanneyt M., Vandamme P., Naser S., Gevers G., Lefebvre K. and Swings J, 2009.** Identification of lactic acid bacteria in Moroccan raw milk and traditionally fermented skimmed milk 'lben'. *J. Appl. Microbiol.* 106, pp486–495.

- P -

**Paci kora E, 2004.** Interaction physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la saveur ; Thèse de doctorat présentée à l'Institut National Agronomique. Paris. Grignon.

**Pala V., Sieri S., Berrino F. et OTHER AUTHORS 2011.** Yogurt consumption and risk of colorectal cancer in the Italian European prospective investigation into cancer and nutrition cohort. *International Journal of Cancer* 129, pp2712-2719.

**Pelletier Jean-François, Jean-Michel Faurie, Alan François et Philippe Teissier, 2007.** Lait fermenté : la technologie au service du goût, *International Journal of Dairy Technology*, 42 pp 15-20.

**Pointurier H., 2003.** La gestion matière dans l'industrie laitière, Tec et Doc, Lavoisier, France: 64, p 388

**Pougeon S, 2001.** Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie. Thèse de doctorat vétérinaire présentée à l'Université Paul-Sabatier. Ecole vétérinaire de Toulouse.

- R -

**Remacle C. et Reusens B., 2004.** Functional foods, ageing and degenerative disease, CRC Press LLC, p 771.

**Renard D., Van de velde F. et Visschers R.W. 2006.** The gap between food gel structure, texture and perception. *Food Hydrocolloids*, 20, pp423-431.

**Robinson R. K., 2002.** Dairy Microbiology Handbook, third Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York USA, p 764.

**Roger P, 2006.** Organic Acid and Solvent Production Part I: Acetic, Lactic, Gluconic, Succinic and Polyhydroxyalkanoic Acids in Prokaryotes (Ed 3).1, pp511-755.

**RousselY., Pebay M., GuedonG., SimonetJ.P. and Decarism B, 1994.** Physical and genetic map of streptococcus thermopiles A054. Journal of Bactériology, 176(24), pp 7413-7422.

- S -

**Sahan N., Yasar K. et Hayaloglu A.A, 2008.** Physical, chemical and flavor quality of non-fat yogurt as affected by a B-glucanhydrocolloidal composite during storage. Food Hydrocolloids. 22, pp1291-1297.

**Salminen S., Wright A. et Ouwehand A., 2004.** Lactic Acid Bacteria Microbiological and Functional Aspects, Third Edition, Marcel Dekker, Inc.USA, p 628.

**Scher J, 2003.** Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires. In Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, f3300, pp 2-15.

**Schwab C., Vogel R. et Ganzle M. G., 2007.** Influence of oligosaccharides on the viability and membrane properties of *Lactobacillus reuteri*, during freeze-drying, Cryobiology 55, pp 108–114.

**Scmidet J.L., Tourneur C. et Lenoir J. 1994.** Fonction et choix des bactéries lactiques laitières in « bactéries lactiques ». Vol II. **De roissart H. et Luquet F.M.** Ed. Loriga, paris, pp37-46.

**Serr M., Trujillo A.J., Guamis B. et Ferragut V, 2009.** Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Food Hydrocolloids*. 23 pp82-91.

**Sherman P M., Johnson-henry K., Yeung H P., Ngo P S C., Goulet J. and Tompkins T A., 2005** - Probiotics reduce enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7- and enteropathogenic *Echerchia. coli* O127: H6-Induced changes in polarized T84 Epithelial cell monolayers by reducing bacterial adhesion and cytoskeletal rearrangements. *Infection and Immunity*. Vol: 73 (8), pp 5183-5188.

**Shah N.P., 2000.** Probiotic bacteria: Selective enumeration and survival in dairy foods. *Journal of Dairy Science*, 83 pp894–907.

**Shirai K, Guerrero I, Huerta S, Saucedo G, Castillo A, O Gonzalez R, George M. 2001.** Effect of initial glucose concentration and inoculation level of lactic acid bacteria in shrimp xasteensilation Hall Enzyme and Microbial Technology, pp446-452.

**Snappe J.J., Lepoudere A. et Sredzinski N. 2010.** Protéines laitières. In *Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, f4820, pp 1-19.

**Solieri L. et Giudici P., 2009.** *Vinegars of the World* Springer-Verlag Italia, p 297.

**Syndifrais mission scientifique, 1997.** Yaourt, lait fermentés, *Lait* 77, pp 321-358.

- T -

**Tamime A.Y., 2002.** Microbiology of starter cultures. In: *Dairy microbiology handbook (Robinson R.K.)*. 3<sup>ème</sup> Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, pp261-366.

- V -

**Van de water J., Keen C.L. et Gershwin M. E. 1999.** The Influence of Chronic Yogurt Consumption on Immunity. *The Journal of Nutrition*, pp 129, 1492.

**Vasbinder A.J., Alting A.C., Visschers R.W. et De kruif C.G.2003.** Texture of acid milk gels: formation of disulfide cross-links during acidification; International Dairy Journal; 13,pp29-38.

**Vignola C.L. 2002.**Science et technologie du lait, transformation du lait. Fondation et technologie du Québec, p 600.

- **W** -

**Weuster-botz D., 2000.** Experimental design for fermentation media development: statistical design or global random search?Journal of Bioscience and Bioengineering, 90pp 473-483.

**Wildman R. E. C., 2007.** Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods, Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, USA, p 541.

- **X** -

**Xu Z.M., Emmanouelidon D.G., Raphaelides S.N. et Antonion K.D. 2008.** Effects of heating temperature and fat content on the structure development of set yogurt. Journal of Food Engineering. 85, pp590-597.

- **Y** -

**YildizF., 2010.**Developpement and manufacture of yougurt and other dairy products, CRC Press Taylor & Francis Group, USA, p 435.

- **Z** -

**Zhang M., Hang X., Fan D., Li H. and Yang X., 2008.** Characterization and selection of *Lactobacillus* strains for their effect on bile tolerance, taurocholatedeconjugation and cholesterolremoval. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 24, pp7-14.

**Zhao G. et Zhang G., 2009.** Influence of freeze-drying conditions on survival of *Oenococcusoenifor* malolactic fermentation, International Journal of Food Microbiology135, pp 64-67.



Les produits laitiers ont toujours été perçus auprès des consommateurs comme des produits sains et constituent une partie importante du régime alimentaire, l'incorporation de bactéries lactiques dans les différents produits laitiers a renforcé les propriétés acclamées pour la santé, et donné lieu à une consommation de plus en plus importante de ces produits. L'efficacité de ces bactéries lactiques dans le yaourt dépend de leur viabilité qui doit être maintenue au cours du processus technologique, de stockage et de conservation. De plus, les bactéries lactiques doivent survivre dans l'environnement du tractus gastro-intestinal.

Le but de cette étude bibliographique est de mieux comprendre l'interaction des bactéries lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans la fabrication du yaourt. Cependant, ces bactéries présentent des qualités organoleptique et thérapeutique.

**Mots clés :** yaourt, bactéries lactiques, processus technologique.

Dairy products have always been perceived as healthy products and constitute an important part of the diet, and the incorporation of lactic acid bacteria in the various dairy products has strengthened the acclaimed health properties and of these products. The effectiveness of these lactic acid bacteria in yoghurt depends on their viability, which must be maintained during the technological process, storage and preservation. In addition, lactic acid bacteria must survive in the environment of the gastrointestinal tract.

The purpose of this bibliographic study is to better understand the interaction of lactic bacteria *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* in the manufacture of yogurt. However, these bacteria exhibit organoleptic and therapeutic qualities.

**Key words:** yoghurt, lactic bacteria, technological process.

تعد منتجات الحليب من قبل المستهلكين منتجات صحية وتالف جزء كبير من النظام الغذائي بالإضافة الى ذلك لقد أدمج بكتيريا لبنية في الحليب المخمر مختلف الخصائص الصحية المشهودة لها وأسفر على ذلك الاستهلاك الهائل لهذه المنتجات.

فعالية بكتيريا لبنية في الياغورت تعتمد على قدرتها في الاستمرار على قيد الحياة خلال مختلف المراحل التكنولوجية وخلال عملية التخزين الحفظ والبقاء الحياة في البيئة المعوية.

والغرض من هذه الدراسة البيبلوغرافية هو معرفة أفضل تفاعل لبكتيريا لبنية *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* في صناعة الياغورت مع ذلك هذه البكتيريا تبرز مختلف الخصائص الذوقية والعلاجية.

**كلمات البحث:** الياغورت، بكتيريا لبنية، العملية التكنولوجية

