

Chapitre premier : Le yaourt

I. 1. Introduction

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

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

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

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

contre le vieillissement de l'homme. La légende raconte ensuite que le kéfir a été créé sur le versant nord par un mélange de micro-organismes qu'ils se développaient mieux à 25-28°C. Le nom de kéfir peut provenir de la langue turque. La première syllabe du nom, *kef*, signifie agréable en turc, probablement le premier commentaire du berger sur la saveur. Le kéfir contient différents types de micro-organismes dont la levure est le plus réputé parce qu'à même de produire de l'alcool. Le kéfir contient un taux d'alcool maximal d'environ 0,8% [VIGNOLA. 2002].

I. 2. Généralités

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

I. 2. 1. Définition

La dénomination yoghourt ou yaourt est réservée au lait fermenté frais obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement des seules bactéries lactiques thermophiles spécifiques dites *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* qui doivent êtreensemencées simultanément et viables dans le produit fini à raison d'au moins 10^6 bactéries par gramme rapportées à la partie lactée. La quantité d'acide lactique libre contenue dans le yoghourt ne doit pas être inférieure à 0,8 % (80°D) lors de la vente au consommateur [LOONES *in* GHEBBI et al. 1997].

I. 2. 2. Classification

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

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

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

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

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

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

I. 2. 3. Valeur nutritive

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

La digestibilité des protéines du yaourt est beaucoup plus meilleure que celle du lait. En effet la proportion d'acides aminés libres et de petits peptides augmente au détriment de la fraction protéique au cours de la fermentation. Cette proportion est cinq fois plus importante dans le yaourt que dans le lait [VAN ASSCHE *in* GHEBBI et al. 1997]. En plus, le yaourt permet une bonne assimilation du calcium, phosphore et

magnésium, puisqu'une fois solubilisés se fixent aux peptides, acides aminés et acides organiques, facilitant ainsi leur assimilation [LOONES *in* GHEBBI et al. 1997].

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

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

I. 3. Technologie de fabrication du yaourt

I. 3. 1. Conditions requises générales et principe

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

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

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

I. 3. 2. Diagramme de fabrication

La principale matière première pour la fabrication du yaourt est le lait, le lait de vache essentiellement, dont la composition est résumée dans le tableau I.I.1

Tableau 01: Composition quantitative du lait (%). D'après VIGNOLA 2002

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

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

I. 3. 2. 1. Préparation/Standardisation

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

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

I. 3. 2. 2. Traitement thermique

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

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

I. 3. 2. 3. Ensemencement et fermentation lactique

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

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

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

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

Dès que le pH atteint une valeur comprise entre 4.7 et 4.3, un refroidissement rapide (la vitesse de refroidissement varie suivant le type du yaourt) est appliqué afin de mettre fin à la fermentation. [PACI-KORA 2004 et VIGNOLA 2002].

I. 3. 2. 4. Conditionnement et stockage

Que se soient fermes ou brassés, les yaourts conditionnés subissent une conservation frigorifique à des températures de 4 à 6°C. A ce stade ils sont prêts à être consommés. La caducité du produit varie, suivant les conditions de production, de 21 à

24 jours. Pendant la conservation, les bactéries lactiques maintiennent une activité résiduelle très réduite, appelée post-acidification qui se manifeste par un léger abaissement du pH. [LOONES 1994 in GHEBBI et al, 1997]

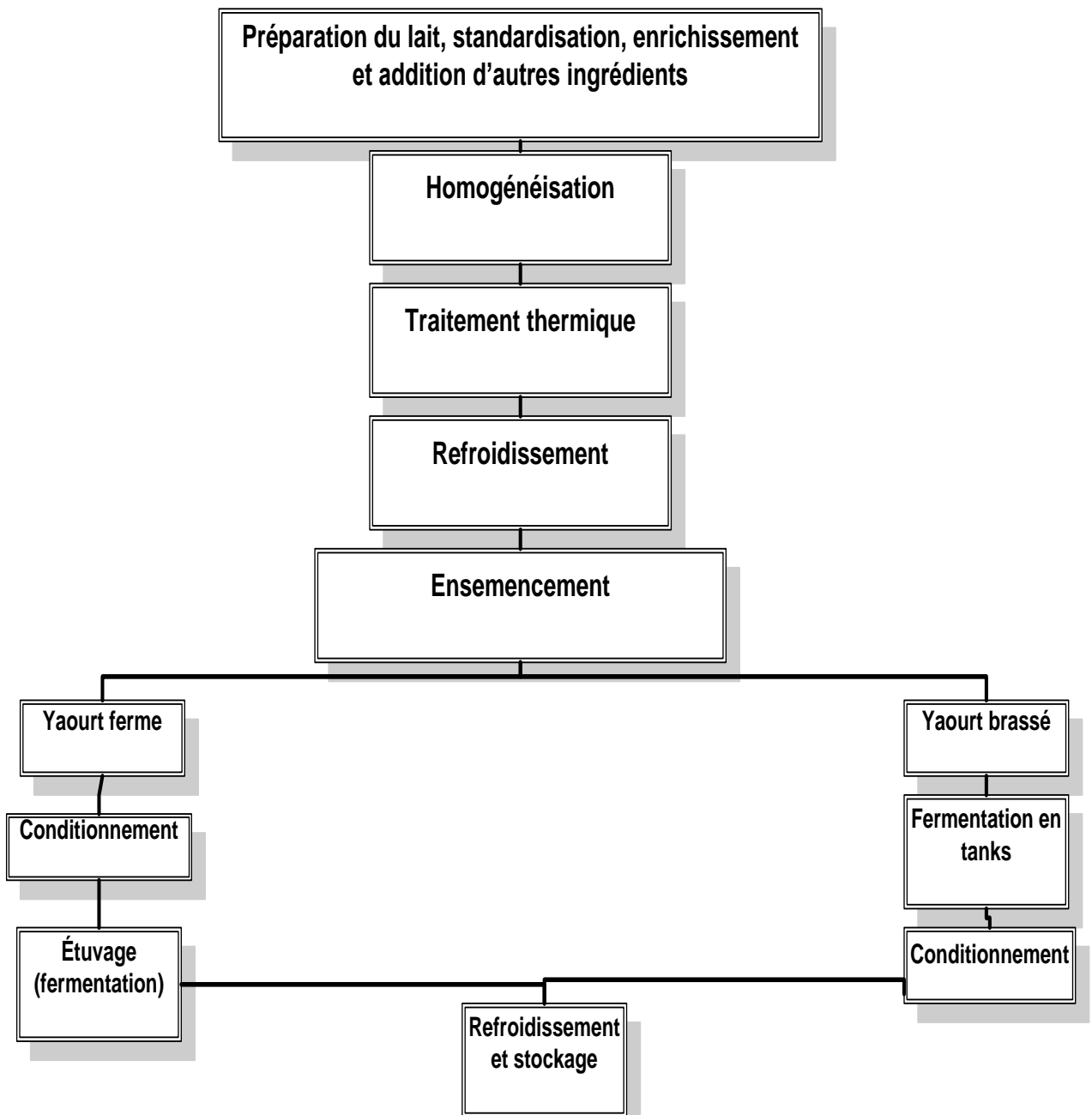


Figure 01: Diagramme simplifié de fabrication du yaourt.

Adapté de VIGNOLA (2002)

I. 4. Facteurs influant sur la qualité du yaourt

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

I. 4. 1. Choix du lait

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

I. 4. 2. Standardisation du lait

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

I. 4. 2. 1. Matière grasse

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

I. 4. 2. 2. Matière sèche

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

- Evaporation (10-20% du volume de lait est normalement évaporé);
- Addition de poudre de lait écrémé, habituellement jusqu'à 3%;
- Addition de lait concentré;
- Addition de retentât d'ultrafiltration de lait écrémé. [VIGNOLA. 2002].

I. 4. 3. Additifs laitiers

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

I. 4. 4. Dégazage

Le taux d'air dans le lait utilisé pour fabriquer des produits laitiers de culture en générale doit être le plus bas possible. Quelque mélange d'air est toutefois inévitable si la teneur en matière sèche dégraissée (MSD) est accrue par addition de poudre de lait. Le cas échéant, une phase du procédé consiste à dégazer le lait. Lorsque la teneur en M.S.D. est accrue par évaporation, le dégazage fait partie de ce procédé. Le dégazage offre les avantages suivants :

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

I. 4. 5. Homogénéisation

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

I. 4. 6. Traitement thermique

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

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

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

I. 4. 7. Choix de levain

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

I. 5. Défauts de fabrication

Généralement le yaourt peut présenter trois catégories de défauts, il s'agit de : défauts de goût, défauts d'apparence et défauts de texture. Ces différents types de défauts sont rapportés sommairement dans les tableaux I.I.2

Tableau 02 : Défauts du yaourt. Tiré de Anonyme (2004)

Défauts du goût	
Amertume :	Trop longue conservation Activité protéolytique trop forte des ferments
Goût levure et moisi, fruité, alcool	Contamination par des moisissures Fruits de mauvaise qualité pour les yaourts aux fruits
Goût plat, absence d'arôme	Mauvaise activité de ferments
Manque d'acidité (yaourt très doux)	Mauvaise activité des levains, taux d'ensemencement trop faible incubation trop courte.
Trop d'acidité :	Taux d'ensemencement trop fort Refroidissement pas assez poussé, trop lent Conservation à trop haute température
Rancidité :	Contamination par des germes lipolytiques ou oxydation de MG
Goût farineux de poudre	Poudrage trop poussé
Goût oxydé	Présence de métaux (fer ; cuivre)
Goût de cuit	Traitement thermique trop sévère
Goût aigre	Mauvaise conduite des levains
Goût gras	Teneur en matière grasse trop élevée
Défauts d'apparence	
Décantation et synérèse	Sur acidification, température trop élevée pendant le stockage, conservation trop longue
Production de gaz	Contamination par levures ou coliformes
Colonies en surface	Contamination par levures ou moisissures
Couches de crème	Mauvaise ou absence d'homogénéisation

Défauts de texture	
trop filant :	Mauvais ferments Température d'incubation trop faible
Trop liquide (brassé) :	Brassage trop violent, mauvaise incubation (temps trop faible), matière sèche trop faible, mauvais ferments
Texture sableuse :	Chauffage du lait trop important, homogénéisation à température trop élevée, poudrage trop fort, mauvais brassage
Texture granuleuse :	Mauvais brassage, teneur en matière grasse trop élevée, mauvais ferments
Manque de fermeté (yaourt étuvé) :	Ensemencement trop faible, mauvaise incubation (temps et/ou température trop faible), agitation avant complète coagulation Matière sèche trop faible

I. 6. Développement post-étuvage et conservation du yaourt

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

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

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

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

En raison de son pH bas ($\text{pH} \approx 4$), le yaourt est un milieu défavorable au développement des bactéries pathogènes. Par contre les levures et les moisissures peuvent s'y développer, déviant ainsi la fermentation vers la voie alcoolique et formant une couche de mycélium à la surface du yaourt ou se développant dans la masse. Cependant, le traitement thermique du lait servant à la fabrication des yaourts est suffisant pour les détruire. De ce fait, les levures et moisissures de contamination proviennent essentiellement de l'environnement ambiant en cours de fabrication [BOURGEOIS et LARPENT. 1996].