

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA - Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Microbiologie

Mémoire de fin de cycle

en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Biologie

Option : Génie Biologique

Thème

Impact de l'homogénéisation en phase descendante sur la qualité physicochimique et sensorielle du yaourt étuvé aromatisé Yaoumi de Danone Djurdjura Algérie.

Présenté par :

M^{elle} Halima BOUHALI

Devant le jury :

Président : M^r. B. SADOUN

Examineur : M^r. K. BENDJEDOU

Encadreur : M^{me} K. BENACHOUR

Co-encadreur : M^r W. OUDIHAT

PROMOTION 2011

Remerciements

Je remercie en premier lieu Allah de m'avoir accordée santé, patience et foi dès le commencement de ce travail.

Je tiens à remercier Mme. BENACHOUR K. d'avoir dirigé ce mémoire avec rigueur et tolérance à la fois, et pour ses conseils.

Je remercie également Mr. SADOUN B. de m'avoir faite l'honneur de présider le jury, Mr. BENDJEDOU K. d'avoir accepté d'examiner mon travail et Mr. OUDIHAT W. pour son aide durant mon stage à DDA et pour m'avoir facilité l'accès aux différents laboratoires de l'unité et à la documentation.

J'exprime mes remerciements au personnel de DDA, en particulier : Mr. AMROUCHE S., Mr. OUHNIA M. ainsi que l'équipe des laboratoires de process, de physicochimie et de microbiologie.

Je remercie du fond du cœur mes très chers parents qui, en plus de leurs prières, m'ont soutenue, encouragée et motivée tout au long de ce travail.

Que mon frère Abdelhalim soit remercié pour sa patience et son aide en informatique, particulièrement lors des derniers jours de rédaction du mémoire.

Merci à tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin.

Dédicaces

Je dédie mon travail à :

Mes chers parents, qu'Allah vous protège ;

Mes chers frères et sœurs : Abdeslam, Fadila, Samira et Abdelhalim ;

Ma grand-mère "Yemma Zahra" ;

Ma belle-sœur Zahra et mes beaux-frères Athmane et Idir ;

Mes neveux : Rayane, Amel et Yacine ;

Mes oncles et tantes ainsi que toute ma famille ;

Mes amis(es) et tous ceux qui me sont chers.

Halima.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	2
1. Les produits laitiers fermentés	2
2. Le yaourt étuvé	4
3. Les vertus du yaourt.....	4
3.1. Intérêts nutritionnels	4
3.2. Intérêts thérapeutiques	4
4. La Technologie du yaourt	5
4.1. Standardisation	5
4.2. Homogénéisation	7
4.3. Traitement thermique	7
4.4. Refroidissement	8
4.5. Réchauffage.....	8
4.6. Ensemencement.....	8
4.7. Aromatisation, conditionnement.....	9
4.8. Etuvage et refroidissement	9
5. Traitements thermique et mécanique du mix laitier : influence sur la qualité du lait, ses protéines et globules gras.....	11
5.1. Pasteurisation.....	11
5.2. Homogénéisation	13
6. Analyse sensorielle.....	14
7. Accidents de fabrication et défauts sensoriels	15
Chapitre II : Matériels et méthodes	19
1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	19
2. Analyses physicochimiques	20
2.1. Préparation des échantillons	20
2.2. Analyse du mix laitier.....	20
2.3. Analyse du produit fini	21
3. Analyses microbiologiques.....	21
4. Analyse sensorielle.....	24
Chapitre III : Résultats et discussion	26
1. Analyses physicochimiques	26

1.1. Le mix laitier :	26
2. Analyses microbiologiques	30
3. Analyse sensorielle : résultats du team tasting	32
Conclusion	35

Glossaire

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

ATB: Antibiotique

DLC: Date limite de consommation

EST: Extrait sec total

FAO: Food and Agriculture Organization

ISO: International Organization for Standardization

J+1: Jour+1

JORA: Journal Officiel de la République Algérienne

Lb: *Lactobacillus*

MG: Matière grasse

MPa: MégaPascal

MRS: De Man Rogosa Sharpe

NF: Norme Française

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

PDL: Poudre de lait

pH : Potentiel Hydrogène

Sc: *Streptococcus*

Ssp: Sous-espèce

UFC: Unité formant colonie

Liste des figures

Figure 1 : Les laits fermentés	3
Figure 2 : Processus de fabrication du yaourt étuvé de Danone Djurdjura Algérie.....	6
Figure 3 : Chambre d'incubation associée au tunnel de refroidissement.....	11
Figure 4 : Ratatiné.....	18
Figure 5 : Aspect trop ferme	18
Figure 6 : Le MilkoScan FT120™ de FOSS.....	20
Figure 7 : pH-mètre HANNA Instruments.....	21
Figure 8 : Viscosimètre Brookfield.....	21
Figure 9 : Dénombrement de la flore lactique	23
Figure 10 : Evaluation de la quantité de sérum en surface.....	25
Figure 11 : Empreinte à la cuillère	25
Figure 12 : Notes du test des descripteurs.....	25
Figure 13 : Résultats d'analyses du mix laitier ; Down	27
Figure 14 : Résultats d'analyses du produit fini ; Down.....	29
Figure 15 : Evolution de la flore lactique du témoin.....	30
Figure 16 : Evolution de la flore lactique de l'essai.....	31
Figure 17 : Résultat du team tasting ; comparaison entre le témoin et l'essai Down	33

Liste des tableaux

Tableau I : Défauts de corps et de goût	16
Tableau II : Les produits de l'unité DDA.....	19
Tableau III : Résultats d'analyses du mix laitier ; Témoin	26
Tableau IV : Résultats d'analyses du produit fini ; Témoin.....	28

Tableaux en annexe :

Tableau V : Résultats des analyses physicochimiques du mix laitier ; Down
Tableau VI : Résultats des analyses physicochimiques du produit fini ; Down
Tableau VII : Résultats des analyses microbiologiques ; Down
Tableau VIII : Résultats des analyses microbiologiques ; Témoin

Introduction

La fermentation est l'une des méthodes les plus anciennes pratiquées par l'Homme pour la transformation du lait en produits laitiers avec une durée de vie prolongée. L'origine exacte de la fabrication de laits fermentés est difficile à établir, mais elle pourrait remonter à 10000-15000 ans lorsque le mode de vie de l'Homme a changé de celui de cueilleur à celui de producteur (Tamime et Robinson, 2000).

En Algérie, nous trouvons des variétés de laits fermentés traditionnels, les plus connus : L'ben, Raïb et un plus récent : le yaourt. Ce dernier a connu une évolution importante en Algérie vu la concurrence existant entre les différentes laiteries et les exigences des consommateurs.

Le yaourt est un produit que nous pouvons consommer quotidiennement, à plus forte raison lorsque nous connaissons ses vertus.

Les producteurs de yaourt, en collaboration avec des chercheurs, ont toujours essayé de développer les processus de fabrication aussi bien pour satisfaire les consommateurs que pour répondre aux impératifs économiques.

Au niveau de l'unité Danone Djurdjura Algérie, un projet a été proposé consistant à modifier le processus de fabrication du yaourt étuvé aromatisé "Yaoumi" en homogénéisant le mix laitier en phase descendante de la remontée de température, dans le but de réduire la quantité de poudre de lait ajoutée tout en conservant la même qualité que celle du produit issu de l'ancien processus ; est-il donc possible dans ce cas de garder la même qualité physicochimique et sensorielle du produit ?

C'est dans ce cadre qu'une étude a été réalisée pour répondre à cette question avec des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

1. Les produits laitiers fermentés

Les produits laitiers préparés par fermentation lactique ou par une association de la fermentation lactique et de la fermentation par levures (comme le kéfir, par exemple) sont dénommés laits fermentés ou laits de culture. Le nom générique de lait de culture vient du fait que le lait destiné au produit estensemencé avec un levain qui transforme une partie du lactose en acide lactique. Pendant le procédé de transformation, se forment du dioxyde de carbone, de l'acide acétique, du diacétyle, de l'[acétaldéhyde](#) et différentes autres substances qui donnent aux produits leur goût frais et leur arôme caractéristiques.

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 (Bylund, 1995).

La légende raconte que le yaourt et le *kéfir* ont vu le jour sur les pentes du Mont Elbrouz, dans la chaîne du Caucase.

Sur le versant sud du Mont Elbrouz, des micro-organismes qui préféraient des températures relativement élevées, 40- 45°C, se sont rencontrés dans un pot de lait qui appartenait probablement à un nomade turc et cela a produit ce que les Turcs appelaient le "Yogurut". Selon certaines sources, ce nom a été introduit au VIIIème siècle et a été modifié dans sa forme actuelle, *yaourt*, au XIème siècle.

La légende raconte ensuite que le *kéfir* a été créé sur le versant nord par un mélange de micro-organismes qui 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 (Bylund, 1995).

Plusieurs types de laits fermentés ont été produits dans divers pays à travers le monde pour des milliers d'années, et les consommateurs de ces communautés ont incorporé les laits fermentés dans leurs régimes alimentaires dès que l'Homme a commencé à domestiquer les animaux. Néanmoins, ce n'était qu'au début du 20^{ème} siècle lorsque Metchnikoff (1910) publia son travail sur les vertus du yaourt pour la santé, qu'une petite partie du public commença à s'intéresser aux laits fermentés. Le yaourt nature et/ou le « *culturedbuttermilk* » étaient des produits très populaires aux Balkans et beaucoup de pays du Moyen-Orient, pendant que le babeurre est devenu populaire en Scandinavie et également, par immigration, en Amérique du Nord (Tamime, 2007).

On peut citer quelques laits fermentés par une flore autre que celle du yaourt :

- dans les pays scandinaves : le *skir*, le *taette*, le *lattemjolk*, le *vilia-vüli* et l'*ymer* ;
- dans les Balkans, un des berceaux des laits fermentés : le *naja* et le *mladost*, (fermentés uniquement avec *Lb. bulgaricus*) ;
- en Yougoslavie : le *zimme* (à partir de lait de brebis);
- au Moyen-Orient : le *zabady* et le *leben* (obtenu par **barattage** de lait acidifié) ;
- en Turquie : le *touloum* (lait fermenté très salé) le *kéfir* (lait fermenté alcoolisé, avec *Saccharomyces kefir*) et le *koumiss* (à partir de lait de jument);
- aux Etats-Unis : le « *culturedbuttermilk* » qui, contrairement à son nom, est produit à partir de lait écrémé ;

En France, les laits fermentés au *Bifidobacterium* et *Lb. acidophilus* ou *casei* font partie de l'univers des **probiotiques** (Mahaut *et al.*, 2008).

La *figure 1* représente les types de fermentations du lait ainsi que quelques exemples de produits.

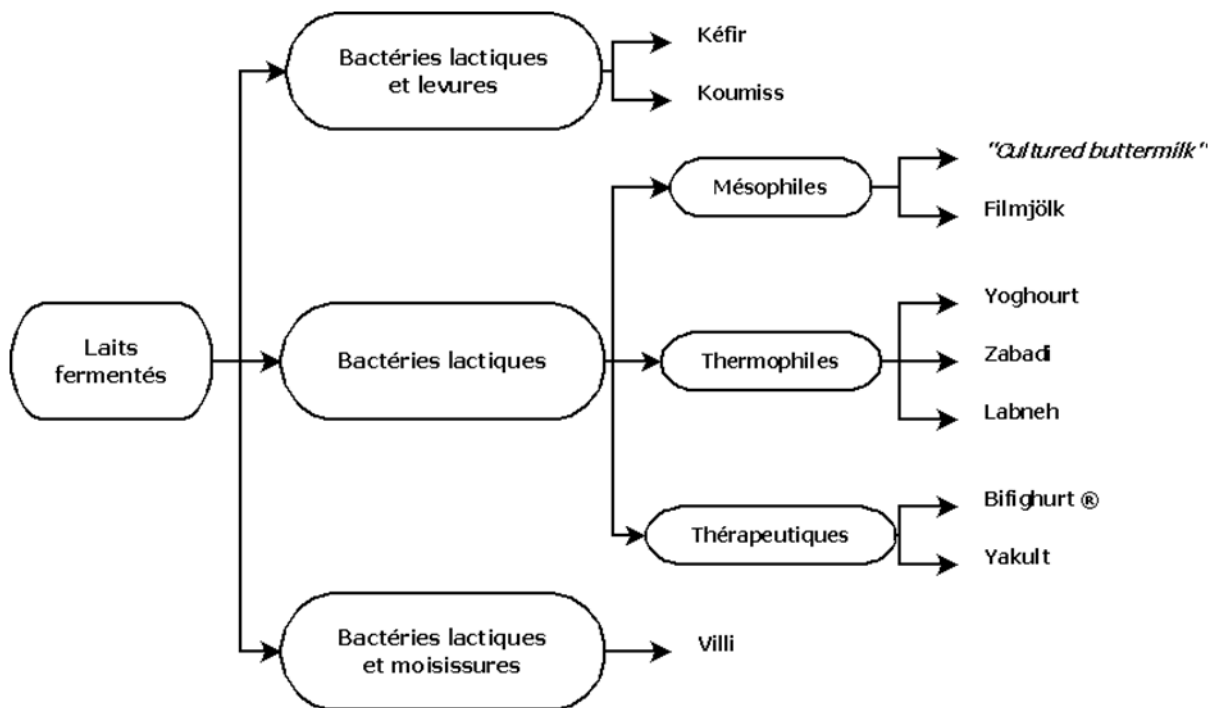


Figure 1: les laits fermentés (Tamime et Robinson, 2000).

2. Le yaourt étuvé :

« Le yaourt est le produit laitier coagulé, obtenu par fermentation lactique grâce au développement des seules bactéries lactiques thermophiles spécifiques dites *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, à partir de lait et de produits laitiers.

Les bactéries lactiques thermophiles spécifiques doivent êtreensemencées simultanément et se trouver vivantes dans le produit fini à raison d'au moins 10 millions de bactéries par gramme rapportées à la partie lactée. » (JORA, 1998).

3. Vertus du yaourt

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 aussi bien nutritionnelle que thérapeutique par rapport au lait.

Les observations suivantes montreront que le yaourt possède des propriétés nutritionnelles et physiologiques particulièrement intéressantes (Mahaut *et al.*, 2008).

3.1. Intérêts nutritionnels

- Source de protéines (environ 3,2% pour le yaourt étuvé aromatisé) ;
- Lipides et glucides à un taux variable ;
- Source de minéraux tels que le calcium ;
- Meilleure assimilation du lactose chez les personnes déficientes en lactase grâce aux bactéries lactiques (30% du lactose est transformé en galactose et acide lactique) ;
- Amélioration de la digestibilité des protéines : le yaourt est 2 fois plus digeste que le lait et contient 2 fois plus d'acides aminés libres qui résultent du traitement thermique, de l'acidification et de l'activité protéolytique des bactéries ;
- Amélioration de la digestibilité des matières grasses : grâce à la teneur élevée en acides gras libres (malgré la faible activité lipolytique des bactéries) et à l'homogénéisation (Mahaut *et al.*, 2008).

3.2. Intérêts thérapeutiques :

- Activité antimicrobienne : les bactéries du yaourt produisent de l'acide lactique, des substances antimicrobiennes et des **prébiotiques**, notamment des oligosaccharides, d'où le rôle préventif contre les infections gastro-intestinales ;

- Stimulation du système immunitaire : le rôle dans l'augmentation de la production d'[interférons](#) et des immunoglobulines et de l'activation des lymphocytes B est attribué à *Lb. bulgaricus* ;
- Action préventive contre les cancers de la sphère digestive : les lactobacilles modifieraient les enzymes bactériennes à l'origine des carcinogènes dans le tube digestif. Cet effet serait notamment attribué à la production de polysaccharides par les ferments ;
- Action hypocholestérolémiante : la consommation du yaourt permet de prévenir les maladies coronariennes et serait plus efficace que le lait pour maintenir une cholestérolémie basse. Cet effet, bien que non totalement élucidé, serait dû à une synergie entre des composés du lait (acide [orotique](#) ou urique) et un produit issu du métabolisme bactérien (acide 3-hydroxy-3-méthylglutarique) (Mahaut *et al.*, 2008).

4. Technologies du yaourt

Les étapes de fabrication du yaourt sont indiquées dans la *figure 2*. Les points importants du processus de fabrication sont les suivants :

4.1. Standardisation :

En fabrication du 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. Un ajout de sucre est parfois réalisé à ce stade à des fins gustatives (Luquet et Corrieu, 2005).

« L'incorporation, en tant que produit de substitution, de matières grasses et/ou protéiques d'origine non laitière, est interdite » (JORA, 1998 ; Annexe IV).

Une teneur en matière grasse de 1,5% approximativement est typique pour un yaourt faible en matière grasse (Fernandes, 2008).

La teneur du lait en matière grasse et en matière sèche est généralement standardisée suivant le code et les principes FAO/OMS décrits ci-dessous.

Le yaourt peut avoir une teneur en matière grasse de 0 à 10%, il peut être classifié dans un des groupes suivants, conformément au code et aux principes FAO/OMS :

- Yaourt entier matière grasse minimale 3 %
- Yaourt partiellement écrémé matière grasse maximale moins de 3 % matière grasse minimale plus de 0,5 %
- Yaourt écrémé matière grasse maximale 0,5 % (Bylund, 1995 ; JORA, 1998).

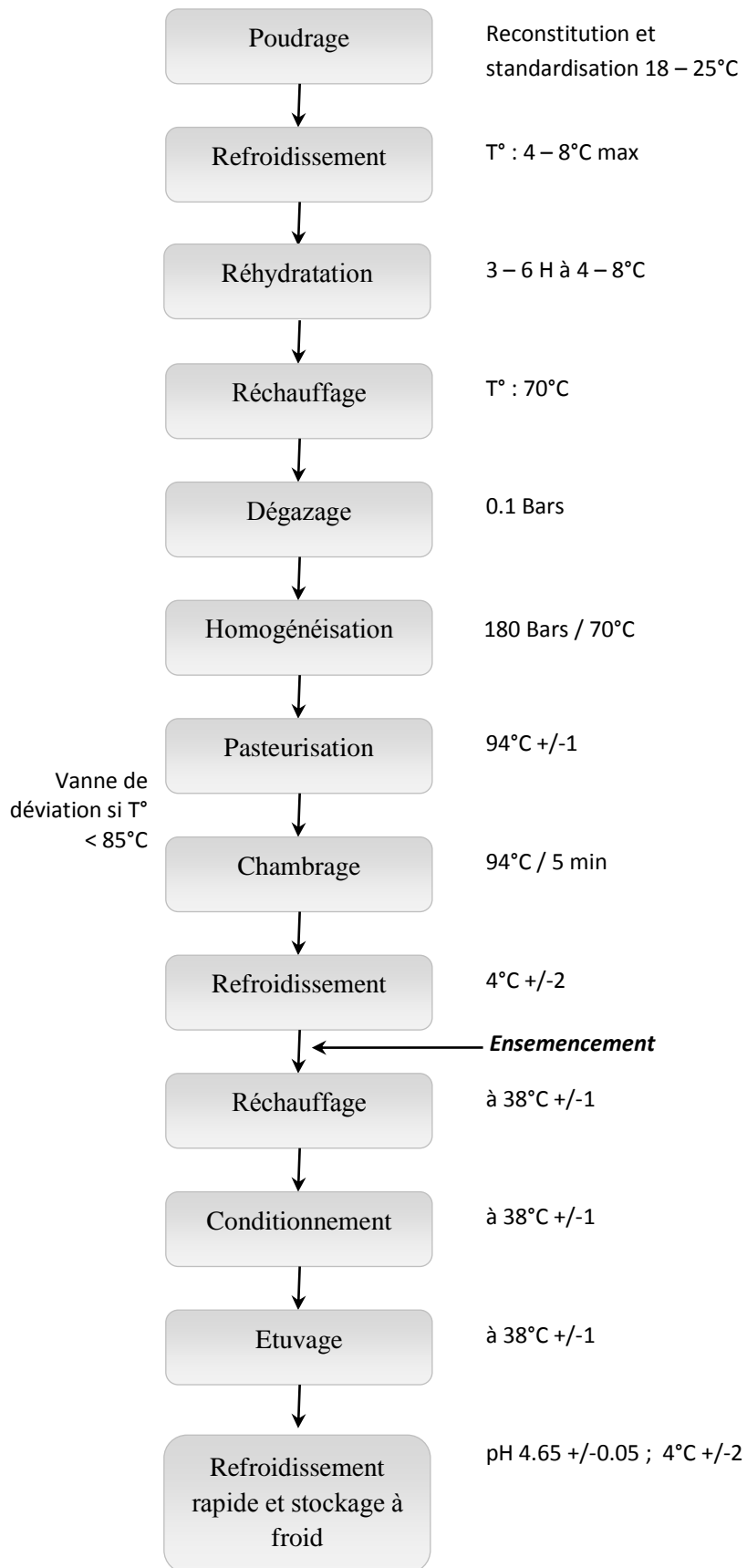


Figure 2 : processus de fabrication du yaourt étuvé de Danone Djurdjura Algérie (DDA, 2010).

Selon le code et les principes FAO/OMS, la teneur minimale en matière sèche est de 8,2 %. Une augmentation de la teneur totale en MS, 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 (Bylund, 1995).

Les façons les plus courantes de standardiser la teneur en matière sèche sont les suivantes :

- évaporation (10-20% du volume de lait est normalement évaporé) (Bylund, 1995) ;
- addition de poudre de lait écrémé (Bylund, 1995; Fernandes, 2008), ou d'autres poudres lactières (Fernandes, 2008) ;
- addition de lait concentré (Bylund, 1995) ;
- addition de rétentat d'ultrafiltration de lait écrémé (Bylund, 1995; Fernandes, 2008) ou de l'osmose inverse (Fernandes, 2008).

4.2. Homogénéisation :

Ce traitement est pratiqué dans le cas des laits gras (25.10^6 Pa à 55-60° C) soit en phase montante de la pasteurisation, soit en phase descendante mais avec des risques de recontamination dans ce cas (Mahaut *et al.*, 2008).

L'homogénéisation vise, avant tout, à réduire la taille des globules gras et est indispensable pour éviter la remontée de la matière grasse pendant la fermentation (Luquet et Corrieu, 2005).

L'homogénéisation du mix laitier aide dans l'hydratation des stabilisants, et l'interaction des stabilisants avec les protéines du lait. Dans l'industrie du yaourt et autres produits laitiers, il est commun d'homogénéiser les mix approximativement à 63°C (Clark *et al.*, 2009).

4.3. Traitement thermique :

La pasteurisation a pour but la destruction des formes végétatives incluant certains pathogènes (*Salmonella*, *Brucella*, *Listeria*, etc.) et la réduction de la flore banale.

L'activité résiduelle des enzymes du lait est un bon indicateur de la nature du traitement thermique. Ainsi, un traitement de pasteurisation doit inactiver la phosphatase alcaline, mais préserver la peroxydase. (Contrairement à Mahaut *et al.*, 2008, qui stipulent que la peroxydase est aussi détruite par ce traitement) (Jeantet *et al.* 2001 ; Mahaut *et al.*, 2008).

Effectué à 90-95°C pendant 3 à 5 min, ce traitement a aussi pour but d'inactiver les γ -globulines et de favoriser le développement de la flore lactique spécifique par la formation d'acide formique et d'autres facteurs de croissance (Mahaut *et al.* 2008).

4.4. Refroidissement :

Après traitement thermique, le mix laitier est refroidi à 4°C, puis conservé quelques heures dans des cuves à basse température (Luquet et Corrieu, 2005).

4.5. Réchauffage :

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

4.6. Ensemencement :

C'est l'ensemencement direct qui est le plus couramment utilisé pour ses avantages ; l'utilisation simple des ferments, limitation du nombre de génération et la meilleure maîtrise des ratios entre les deux espèces utilisées (Luquet et Corrieu, 2005).

✓ Ferments ;

Avec sa découverte du *Lactobacillus* en 1856, Louis Pasteur créa les bases de la compréhension du ferment lactique. La fermentation lactique apporte à côté d'un gain gustatif des aliments, surtout un abaissement du pH aux alentours de 4, ce qui exclut dans une large mesure la contamination par d'autres germes (R.D. Schmid, 2005)

Généralement, les bactéries lactiques sont utilisées soit en mélange de souches d'une même espèce (ou de plusieurs sous-espèces) soit en association d'espèces ou de genres différents (Leveau et Bouix, 1993).

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. Le rapport streptocoque/lactobacille est d'environ 1,2 à 2/2.

Ce sont des bactéries lactiques **homofermentaires**, **microaérophiles** et thermophiles dont la température optimale de développement se situe selon les auteurs de 37 à 46°C pour *Sc. thermophilus* et de 42 à 50°C pour *Lb. bulgaricus* (Mahaut *et al.*, 2008).

Les deux espèces microbiennes vivent en symbiose et il existe une synergie entre les deux bactéries qui porte sur une stimulation mutuelle. Cette stimulation concerne

principalement la croissance, l'acidification et la production de composés aromatiques dont l'**acétaldéhyde** qui a un rôle prépondérant dans l'arôme du yaourt et qui est principalement produit par *Lb. bulgaricus* (Mahaut *et al.*, 2008).

La température optimale de ces deux espèces étant voisine, la croissance en association est possible entre 41 et 43°C (Leveau et Bouix, 1993).

Dans certains cas, l'ensemencement de yogourts fermes peut être réalisé sur le mix à 4°C, qui est alors stocké et réchauffé en fonction des besoins, puis réparti en pots (*figure 2*).

Ces ferments sont commercialisés sous forme lyophilisée ou congelée (Luquet et Corrieu, 2005).

4.7. Aromatisation, conditionnement :

Deux types d'emballage sont utilisés : les pots en verre et les pots en plastique (**thermoformage**) (Paci Kora, 2004 ; Mahaut *et al.*, 2008).

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 bactériologique avec air filtré (hotte à flux laminaire) ;
- ✓ La fermeture hermétique des pots par **thermoscellage** ;
- ✓ L'impression et le marquage de la DLC ;
- ✓ Confection des pots (x4, x8, etc.) (Luquet, 1990).

L'ajout du sucre et des arômes se fait suite à l'ensemencement pour les yaourts fermes (Mahaut *et al.*, 2008).

4.8. Etuvage et refroidissement :

Pour les yaourts fermes, le mélange lait/ferments est soutiré et l'acidification se fait en pots (Mahaut *et al.*, 2008).

En général, la fermentation est réalisée à une température comprise entre 36°et 45°C, qui correspond à la température optimale de croissance des ferments (Luquet et Corrieu, 2005).

Après le conditionnement, les pots, placés dans des caisses et chargés sur des palettes, sont transportés par des chariots dans un des deux systèmes d'incubation et ensuite refroidissement, à savoir :

- Chambre d'incubation/refroidissement associés, lorsque les palettes sont immobiles à la fois dans l'incubation et le refroidissement avant d'être transportées par des chariots jusqu'à la chambre froide pour le stockage final.
- Une chambre d'incubation capable de recevoir un grand nombre de palettes pleines. Après une incubation appropriée, les palettes sont transportées par des chariots jusqu'à un convoyeur qui passe par les sections de refroidissement faisant partie du tunnel. Ce système, qui offre un refroidissement "continu", est illustré à la *figure 3*.

Les emballages/pots remplis sont placés dans des caisses de "type ouvert" et à une certaine distance l'un de l'autre de sorte que l'air chaud/froid circulant pour la salle ou chambre d'incubation et refroidissement puisse atteindre chaque conteneur individuel. Ce système garantit une qualité uniforme, à condition que la température soit soigneusement contrôlée.

Lorsqu'est obtenu le pH optimal, déterminé empiriquement (normalement 4,5), c'est le moment de démarrer le refroidissement. Il est important de bloquer rapidement une montée ultérieure de la température.

Le refroidissement final, normalement à une température de 5°C, a lieu dans la chambre froide où les produits sont stockés dans l'attente de leur distribution.

L'efficacité du refroidissement dépend des dimensions de l'emballage individuel, de la configuration et du matériau de l'emballage, de la profondeur de la pile de caisses, etc.

Les caisses sont placées dans la salle/chambre d'incubation de façon à faciliter leur manutention premier rentrée / premier sortie. Pendant la période d'incubation il est très important que le produit ne soit exposé à aucune perturbation mécanique dans les dernières heures, lorsqu'il est le plus sensible au risque de séparation du lactosérum (Bylund, 1995).

Lors de sa mise à la consommation, la quantité d'acide lactique libre contenue dans le yaourt ne doit pas être inférieure à 0,8 gramme pour 100 grammes de produit (JORA, 1998).

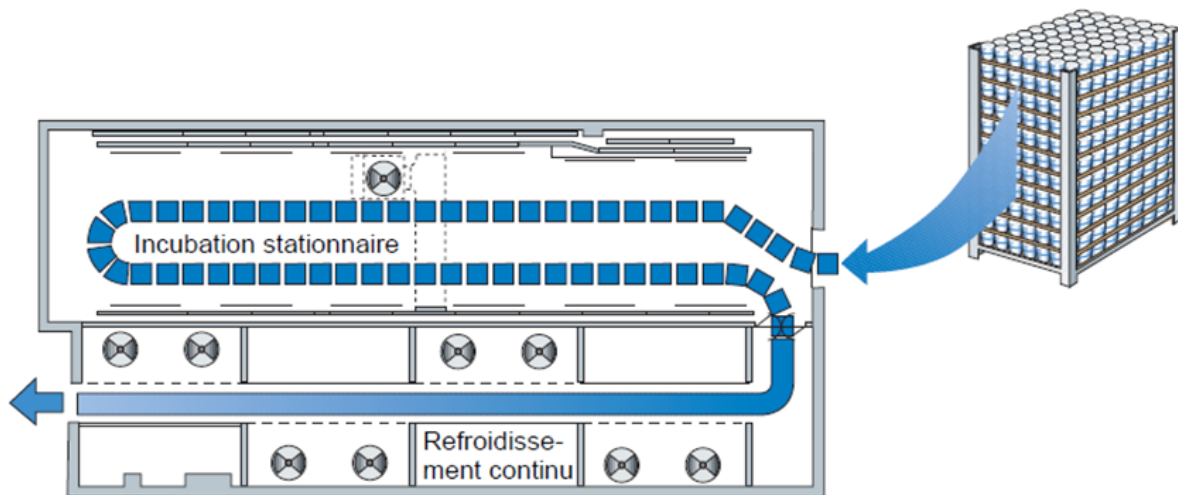


Figure 3:Chambre d'incubation associée au tunnel de refroidissement (Bylund, 1995).

5. Traitements thermique et mécanique du mix laitier : influence sur la qualité du lait, ses protéines et globules gras

Dans ce qui suit, nous aborderons avec plus de détails ces traitements dont les effets sont notables sur les constituants du lait.

5.1. Pasteurisation :

A la suite de l'association des protéines sériques à la micelle lors d'un chauffage à 85°C, la taille des micelles s'accroît. En outre, les interactions entre micelles augmentent : lors du chauffage, la composante d'attraction de la résultante des forces auxquelles est soumise la micelle de caséine serait la plus importante (Cayot et Lorient, 1998).

Le perméat de microfiltration d'un lait chauffé est moins riche en protéines sériques en raison des associations de protéines sériques à la micelle. La viscosité du rétentat de microfiltration de lait chauffé est plus forte que celle du lait non chauffé. Cette augmentation serait conséquente à un accroissement de la taille des micelles lors du chauffage. Ce changement de taille revêt une importance technologique toute particulière. Le dépôt sur un échangeur de chaleur à plaques se composerait, pour l'essentiel, de caséine sous forme micellaire. L'encrassement d'un échangeur à plaques pourrait être donc d'autant plus important que la taille des micelles est plus importante et que la viscosité s'accroît (Cayot et Lorient, 1998).

L'analyse de la composition protéique de membrane de globules gras de lait et de crème pasteurisée (72 à 74 °C durant 15s) révèle la présence de β -lactoglobuline et d'une faible quantité de caséines. L'incorporation de β -lactoglobuline dans les membranes de globules gras de la crème est plus forte si celle-ci est pasteurisée.

Le type d'interactions protéine-protéine et protéine-lipide au niveau de la membrane des globules gras n'est pas défini clairement. (Cayot et Lorient, 1998).

Les protéines isolées (β -lactoglobuline tout particulièrement) au niveau de membranes de globules gras de lait entier chauffé à 80 °C durant 20 min sont dans la même fraction de centrifugation que les lipoprotéines. Les complexes trouvés présentent une taille supérieure à celle des complexes du lait cru. On peut se demander si des échanges de ponts disulfure entre β -lactoglobuline et les lipoprotéines sont possibles. Encore faut-il que ces lipoprotéines possèdent des ponts S-S... (Cayot et Lorient, 1998).

Jusqu'à 70 °C, il y aurait incorporation de β -lactoglobuline et d'un peu de caséine β à l'interface eau/lipide. Au-delà de 70 °C, l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline s'associeraient aux globules gras. La caséine κ s'adsorberait difficilement sur des globules gras en raison de l'occupation au préalable de la surface par la β -lactoglobuline. Il faudrait en outre que la caséine κ soit arrachée de la micelle pour s'adsorber sur le globule gras. Par ailleurs, il n'est pas fait état d'adsorption de micelles à la surface de globules gras de lait chauffé. Il n'a pas non plus été mis en évidence d'incorporation de complexes de β -lactoglobuline/caséine κ sur les globules gras lors du chauffage du lait entier (Cayot et Lorient, 1998).

Comme chaque autre produit laitier, l'objectif de la pasteurisation est de chauffer le lait pour éliminer les bactéries pathogènes. En plus, il est très important de dénaturer les protéines pour atteindre le plus haut niveau de fonctionnalité des protéines du lait. La pasteurisation aide aussi dans l'hydratation des stabilisateurs et ingrédients secs ajoutés durant le mélange, tout comme l'ajout d'une saveur cuite agréable. (Clark *et al.*, 2009).

Les fabricants qui pasteurisent à 80-88° C/18-50 s et 138° C/ 2-4 s tiennent leur mix laitier dans des tubes de maintien pour une période supplémentaire de 5-20 min à la température de pasteurisation pour dénaturer les protéines du lactosérum et d'améliorer la viscosité. (Clark *et al.*, 2009).

Ce traitement, par dénaturation des protéines solubles, permet également d'accroître la rétention d'eau et d'améliorer la texture du yaourt et sa stabilité. (Mahaut *et al.*, 2008).

La concentration en oxygène est aussi réduite, améliorant ainsi les conditions de croissance pour la culture « starter », du moment où ces microorganismes sont généralement **microaérophiles**. Enfin, l'activité de la culture « starter » peut être soit stimulée ou inhibée à cause des produits de décomposition des protéines du lait détruites par la chaleur (Fernandes, 2008).

Ce traitement a également de nombreuses autres conséquences bénéfiques ou néfastes à la fermentescibilité du mix laitier (Annexe V). (Luquet et Corrieu, 2005)

5.2. Homogénéisation

L'homogénéisation est utilisée en laiterie pour stabiliser l'émulsion de matière grasse laitière et empêcher le crémage de s'opérer lors du stockage du lait stérilisé. Le crémage se produit généralement à froid dans du lait cru. Il s'agit de diminuer la taille des globules gras sous l'effet d'une fluctuation de pression, dans un flux turbulent. La pression de l'homogénéisateur se situe entre 200 et 600 bars (Cayot et Lorient, 1998).

Pour des raisons hygiéniques, elle est généralement réalisée avant le traitement thermique. Cependant, cette opération peut avoir un impact technologique plus important si elle est réalisée après le traitement thermique. En effet, au cours du traitement thermique les glycérides solides fondent. Ainsi l'homogénéisation, après traitement thermique, permet l'expulsion d'une quantité importante de glycérides liquides des globules gras. La taille des globules gras est alors ainsi réduite, ce qui permet de mieux les intégrer au réseau formé lors de la coagulation par les micelles (Luquet et Corrieu, 2005).

En outre, elle améliore la consistance du lait, accroît sa blancheur (Luquet et Corrieu, 2005) et rend les lipides plus digestibles (Mahaut *et al.*, 2008).

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.*, 2008).

Les globules gras du lait, dont le diamètre initial oscille entre 1 et 8 μm , ont une dimension variant de 0,3 à 0,8 μm après homogénéisation. La réduction de taille renforce la stabilité de l'émulsion en empêchant le crémage mais aussi la **coalescence**, malgré la diminution du potentiel **zêta** des globules gras (Cayot et Lorient, 1998).

➤ En phase montante :

Si l'on chauffe à 70 °C du lait homogénéisé au préalable, les protéines sériques « se fixent » à la surface des globules gras en formant des copolymères avec les caséines α_{s2} et κ déjà adsorbées, par des échanges de ponts S-S (Cayot et Lorient, 1998).

➤ En phase descendante :

En procédant à une homogénéisation après traitement thermique cette fois, la quantité de protéines sériques fixées aux globules gras est plus faible que dans le cas précédant. Dans ce cas, l'homogénéisation conduit à l'adsorption de micelles à la surface desquelles sont accrochées des protéines sériques.

Etant déjà devenues de taille plus grande après pasteurisation que dans un lait non traité, les micelles -en s'adsorbant entre elles- forment des corps protéiques de taille plus élevée ; ceci conduit donc à l'augmentation de la viscosité du produit (Cayot et Lorient, 1998).

Concernant la qualité microbiologique et comme nous l'avons déjà souligné, un inconvénient de cette méthode est le risque de recontamination (Luquet, 1990 ; Cayot et Lorient, 1998 ; Tamime et Robinson, 2000), sauf si des normes d'hygiène sont strictement appliquées et/ou un homogénéisateur aseptique est utilisé (Tamime et Robinson, 2000).

Bolling (2001) décrit une expérience où, avant homogénéisation, le lait a été chauffé à 65°C/30min ou à 85°C/20min. après traitement thermique, le lait est homogénéisé à 30 MPa, 60 MPa ou 90 MPa. La charge en protéines de la membrane des globules gras d'un lait traité a augmenté avec l'augmentation de la pression d'homogénéisation et a diminué avec l'augmentation de l'intensité du traitement thermique.

6. Analyse sensorielle :

« L'évaluation sensorielle est l'examen des propriétés **organoleptiques** (norme NF ISO 5492, mai 1992). Ainsi, cette évaluation fait appel au système sensoriel de l'Homme, système complexe dont les mécanismes ne sont pas encore connus. Malgré la grande capacité de discrimination des sens humains, ils ont aussi des limites qui peuvent varier d'un individu à l'autre » (Lespinasse *et al.*, 2002).

Les systèmes sensoriels de l'Homme sont usuellement regroupés en cinq catégories : la vision, l'audition, le goût au sens strict du terme, l'olfaction, la **somesthésie** (qui regroupe la sensibilité tactile, **kinesthésique**, thermique et chimique) (Lespinasse *et al.*, 2002).

L'analyse sensorielle, seule ou en combinaison avec les techniques d'analyse, est utile pour le contrôle de qualité en industrie laitière (Clark *et al.*, 2009).

Les individus peuvent souvent dire par la vue, l'odorat, le goût ou, dans une mesure moindre, le toucher, si l'aliment donné est bon ou mauvais (sain ou toxique par exemple). A mesure que le commerce des biens alimentaires prospéra, les premiers pépins de l'analyse sensorielle furent plantés. Ainsi, les acheteurs potentiels testaient de petites quantités ou échantillons des produits censés représenter la totalité du lot de la marchandise en question, établissant ainsi le prix basé sur la qualité relative du produit. Avec le temps, se développa ce processus de standardisation, le précurseur de l'analyse sensorielle moderne (Clark *et al.*, 2009).

L'analyse sensorielle est considérée comme une science naturelle, il est donc nécessaire que les mesures des caractéristiques sensorielles soient prises avec précaution, autrement, au lieu d'informer, elles induisent en erreur. Il existe des conditions devant être prises en considération afin de mener à bien le travail d'évaluation. Ces conditions se résument à :

- La neutralité dans la présentation des échantillons ;
- L'élimination du risque de partialité dans les réponses ;
- L'utilisation de méthodes qui exigent des dégustateurs de démontrer leur capacité plutôt que de s'appuyer sur des choix subjectifs.

En s'assurant que ces conditions sont respectées, nous pouvons obtenir des informations utiles sur le produit qu'aucun instrument ne peut en mesurer les caractéristiques perceptuelles (Clark *et al.*, 2009).

7. Accidents de fabrication et défauts sensoriels :

Le *tableau I* suivant résume les défauts d'apparence et de goût rencontrés lors de la fabrication de yaourt ferme aromatisé.

Tableau I : défauts de corps et de goût (Mahaut *et al*, 2008 ; Clark *et al*, 2009).

Défaut	Nature	Origine
Apparence et texture	Décantation et synérèse	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise conduite de la fermentation due à une température trop élevée ou une durée de refroidissement trop longue - Forte agitation surtout à pH > 4.7 - Congélation /décongélation
	Production de gaz	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de coliformes ou de levures
	Couche de crème	<ul style="list-style-type: none"> - Homogénéisation est insuffisante ou absente
	Décalottage	<ul style="list-style-type: none"> - Dû à une agitation ou vibration lors du transport faisant suite à un refroidissement mal conduit en chambre froide
	Ratatiné	<ul style="list-style-type: none"> - Choc thermique - Production élevée d'acide - Utilisation intense de stabilisants ou mauvais choix - Perturbation après remplissage des pots et fermentation
	Manque de fermeté	<ul style="list-style-type: none"> - Ensemencement trop faible - Incubation mal conduite (temps et/ou température trop faible)
	Trop liquide	<ul style="list-style-type: none"> - Brassage trop violent - Teneur en matière sèche trop faible - Temps d'incubation trop court - Utilisation de ferments assez filants - Utilisation de mauvais ferments
	Trop ferme	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais choix ou utilisation excessive de stabilisants - Teneur en matière sèche très élevée
	Trop filante	<ul style="list-style-type: none"> - Température d'incubation trop faible - Extrait sec trop élevé
	Visqueuse	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais stabilisants ou gommés - Contamination microbienne - Utilisation de cultures contenant des bactéries productrices de polysaccharides - Taux élevé en sucre dans le mix
Sableuse	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement thermique trop élevé, ou hausse rapide de la température conduisant à la précipitation des protéines - Homogénéisation à température trop élevée - Mauvais brassage 	
Goût	Forte odeur d' acétaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais ferments - Température de fermentation incorrecte - Température de stockage insuffisamment basse - Arrêt de la fermentation à pH très élevé

Amertume	<ul style="list-style-type: none"> - Lait défraîchi ou de mauvaise qualité (contaminé par des psychotrophes ou flore d'altération, ou culture « starter » à activité protéolytique - Ingrédients de mauvaise qualité (PDL à 0% MG, poudre de lactosérum,...) - Stockage à haute température
Acidité trop forte	<ul style="list-style-type: none"> - Taux d'ensemencement trop élevé - Incubation trop longue ou à température trop élevée - Refroidissement trop lent
Manque d'acidité	<ul style="list-style-type: none"> - Taux d'ensemencement trop faible - Incubation trop courte ou à basse température - Ferments de mauvaise qualité ou inactivés (présence de bactériophages, ATB ou détergents résiduels)
Levuré	<ul style="list-style-type: none"> - Contamination par des levures
Rance	<ul style="list-style-type: none"> - Contamination par des germes lipolytiques - Mélange de laits pasteurisé et non pasteurisé - Les ingrédients (après être mélangés) sont maintenus une longue durée avant pasteurisation
Farineux	<ul style="list-style-type: none"> - Poudrage trop important
Faible aromatisation	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise qualité ou quantité d'arôme ajouté
Absence d'arôme	<ul style="list-style-type: none"> - Matière sèche faible - Déséquilibre de la flore (trop de Streptocoques) - Incubation trop courte ou à très basse température
Oxydé	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de métaux (fer, cuivre) - Exposition directe aux rayons solaires ou ultraviolets (pots en verre)
Cuit	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement thermique trop sévère du mix ou des autres produits (PDL, poudre de lactosérum) - Teneurs élevées en sirop de fructose de maïs sont utilisées comme édulcorant
Aigre	<ul style="list-style-type: none"> - Contamination par une flore lactique sauvage ou des coliformes
Graisseux	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en MG trop élevée
Faiblement sucré	<ul style="list-style-type: none"> - Formule déséquilibrée - Surchauffage du mix avant inoculation - Mauvais brassage des édulcorants - Utilisation d'édulcorants thermiquement instables (sucrose, par exemple) - Acidité trop élevée ; difficulté de la perception du goût sucré
Trop sucré	<ul style="list-style-type: none"> - Formule déséquilibrée
Manque de fraîcheur	<ul style="list-style-type: none"> - Date égale ou proche de la DLC - Ingrédients mal stockés



Figure 4 : Ratatiné (Clark *et al*, 2009).



Figure 5 : Aspect trop ferme (Clark *et al*, 2009).

Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce travail a été effectué au sein de l'unité Danone Djurdjura Algérie entre le 22 mars 2011 et le 22 mai 2011.

1. Présentation de l'organisme d'accueil :

En octobre 2001, la société Danone, premier producteur mondial de produits laitiers frais et d'eaux conditionnées, a conclu un accord de partenariat avec la laiterie Djurdjura pour donner naissance à Danone Djurdjura Algérie (DDA), dont 49% des actions appartenaient au Groupe Danone, puis 51%. Aujourd'hui, Danone possède 100% de ces actions.

Danone Djurdjura Algérie se situe dans la zone d'activité Taharacht à 2km d'Akbou et distante d'environ 60km de Bejaia et de 170km à l'est de la capitale Alger.

L'unité Danone Djurdjura Algérie offre une gamme de produits laitiers différents figurant dans le *tableau II*.

Tableau II : les produits de l'unité DDA.

Produits		Description
Yaoumi, mini prix	Yaourts fermes	Aromatisé : fraise, fruits des bois, cerise, ananas, citron et banane
Nature de nos éleveurs		Yaourt nature 100% lait de vache
Activia		Au <i>Bifidus</i> , aromatisé : fraise, vanille, miel
Danette	/	Crème dessert : chocolat et caramel
Danao	Petit	Boisson lactée au jus de fruits : pêche/abricot, orange/ananas, cocktail exotique
	Grand	
Fruix	Brassé	Aromatisé : fraise, fruits des bois, fraise/biscuit
Lait fraise	Pot	Spécialité laitière à boire aromatisé: grenadine
	Bouteille	
Danino	Fruité	Fromage à pâte fraîche nature ou à la purée de fruits : fraise et abricot
	Nature	
Dan'up	Bouteille	Yaourt à boire aromatisé : fraise, abricot, fraise/biscuit, abricot/biscuit
Activia S'bah	Bouteille	Yaourt à boire au <i>Bifidus</i> , aromatisé : caramel

Ce travail se portera sur une étude comparative entre le yaourt Yaoumi produit suivant le processus décrit dans la *figure 2* et un essai d'un projet où les phases d'homogénéisation et de pasteurisation sont inversées avec augmentation de la pression d'homogénéisation de 180 bars à 280 bars. L'homogénéisation est dite dans ce cas en phase descendante, « downstream » d'où le nom du projet « Down ».

Nous utiliserons dans ce qui suit l'appellation « Témoin » pour désigner l'ancien processus et « Down » pour l'essai.

2. Analyses physicochimiques :

2.1. Préparation des échantillons :

Dans cette étude, il y a deux types d'échantillons : le mix du yaourt et le produit fini (ferme). Le premier est utilisé pour déterminer la composition du mix laitier en EST, protéines, MG ainsi que son pH. Le but de l'étude du second est de mesurer sa viscosité et son pH.

L'échantillonnage du mix s'effectue au niveau du tank de stockage, alors que les pots de produit fini sont prélevés 24h après production soit de la chambre froide ou de la chambre DLC.

2.2. Analyse du mix laitier :

Le taux de MG peut être mesuré par la méthode **GERBER** et l'EST par un dessiccateur mais l'appareil utilisé, le MilkoScan™ FT120, donne des résultats rapides en analysant une variété de paramètres comme MG, protéines, etc. (www.foss.fr).

Cet appareil est doté d'une sonde qu'on plonge dans le produit (le mix laitier) et, grâce à un logiciel, tous les résultats sont affichés sur l'écran d'un ordinateur. Les paramètres auxquels nous nous sommes intéressés sont l'EST, le taux de protéines et MG.

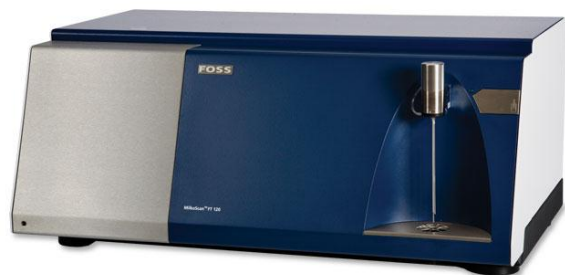


Figure 6 : le MilkoScan FT120™ de FOSS

2.3. Analyse du produit fini :

➤ Le pH :

La mesure du pH se fait directement par immersion des sondes du pH-mètre, étalonné, dans le produit avec une légère rotation et attendre à ce que la valeur affichée se stabilise. Celle-ci est ainsi lue sur l'afficheur de l'appareil.

Le pH-mètre utilisé est de marque « HANNA Instruments[®] » (figure 7).



Figure 7 : pH-mètre HANNA Instruments

➤ La viscosité :

On introduit délicatement l'aiguille du viscosimètre rotatif analogique, «Brookfield[®]», dans le pot de yaourt (figure 8). Après 45s, on lit la valeur indiquée sur l'échelle, et on la multiplie par un coefficient égal à 4000.

Le résultat ainsi obtenu est exprimé en centipoises (cPs).

3. Analyses microbiologiques :

Il s'agit de dénombrer la flore lactique :

- ✓ *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ;
- ✓ *Streptococcus thermophilus*.

• Mode opératoire :

Comme pour la viscosité et le pH, ces analyses ont été faites à J+1.



Figure 8 : viscosimètre Brookfield

- Nous préparons la première dilution 10^{-1} en suspendant 10g du yaourt, agité avant ouverture, dans 90ml de la solution de Ringer stérile. Nous obtenons ainsi la solution mère ;
- A partir de la solution mère, nous effectuons d'autres dilutions décimales ; 1ml de la dilution précédente dans 9ml de la solution de Ringer, et nous passons jusqu'à 10^{-8} ;
- Pour chaque dilution et pour chaque espèce bactérienne, deux boîtes de Pétri ont été utilisées ;

- Les trois dernières dilutions ont étéensemencées en masse à raison de 1ml par boîte et en filtrant 15ml du milieu de culture fondu; M17 pour dénombrer *Sc. thermophilus* et MRS acidifié pour *Lb. bulgaricus* (figure 9) ;
Immédiatement après l’avoir versé dans les boîtes, mélanger soigneusement l’inoculum avec le milieu par rotation des boîtes. Laisser le mélange se solidifier en laissant les boîtes sur une surface fraîche et horizontale (JORA, 2004) ;
- Incuber les boîtes retournées dans une étuve à 37°C pendant 72h, en aérobiose pour *Sc. thermophilus* et en anaérobiose pour *Lb. bulgaricus* (nous avons utilisé des jarres d’anaérobiose et des sachets générateurs de gaz GasPak®).

Après étuvage, nous comptons les colonies sur les boîtes contenant 30-300 colonies. Leur aspect est comme suit :

- ✓ *Lactobacillus bulgaricus* : micro-organisme thermophile formant des colonies lenticulaires souvent en forme d’étoile, de 1 à 3 mm de diamètre, sur milieu MRS acidifié ;
- ✓ *Streptococcus thermophilus* : micro-organisme thermophile formant des colonies lenticulaires de 1 à 2 mm de diamètre sur M 17 (JORA, 2004).

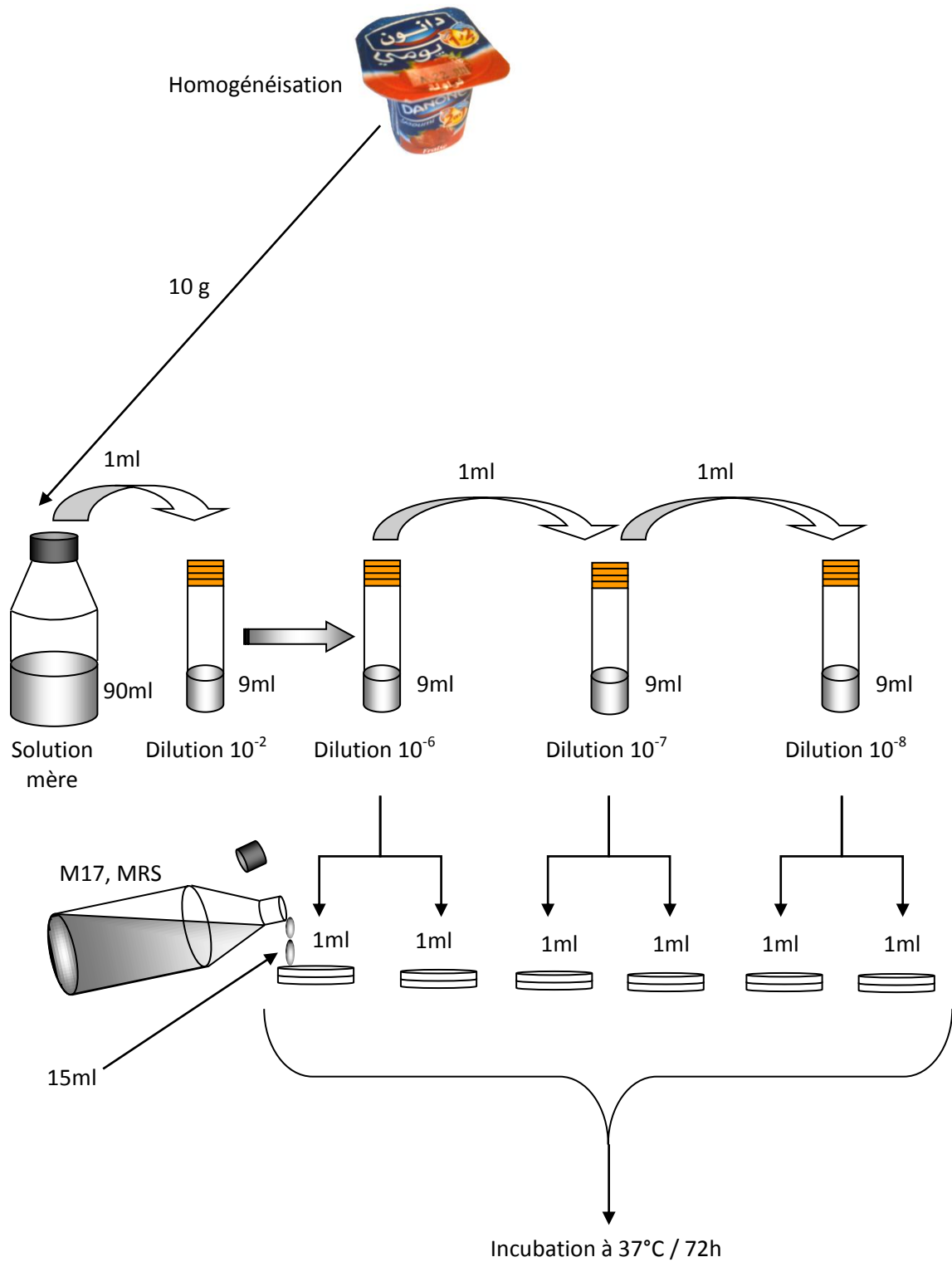


Figure 9 : Dénombrement des bactéries de la flore lactique

- **Méthode de calcul :**

Le nombre de micro-organismes par gramme d'échantillon est égal à :

$$\frac{\sum C}{(n_1+0,1+n_2)d}$$

S'il y a plus de deux dilutions à compter, la formule doit être modifiée pour prendre en compte la dilution suivante :

$$\frac{\sum C}{(n_1+0,1n_2+0,01)d}$$

Où :

$\sum C$ est la somme des colonies comptées sur les boîtes comptables ;

n_1 est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus faible ;

n_2 est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus élevée ;

d est la valeur correspondant à la dilution à partir de laquelle les premiers dénombrements ont été retenus.

Le résultat est exprimé par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x , x étant la puissance appropriée de 10 (JORA, 2004).

4. Analyse sensorielle :

Cette analyse est faite suivant un test de descripteurs, les plus utilisés pour le yaourt ferme aromatisé sont :

- Sérum en surface des pots : évaluer la quantité totale de liquide isolé à la surface du pot (en le versant dans une cuillère) (*figure 10*) ;
- Empreinte à la cuillère : creuser le produit avec la cuillère, relever délicatement la cuillère à l'horizontale et sortir lentement la cuillère du pot et observer la forme de l'empreinte laissée par la cuillère dans le produit (*figure 11*) ;
- Épaisseur à la cuillère : à l'aide d'une cuillère positionnée dans le pot, évaluer la résistance du produit en tournant la cuillère 3 fois en cercles horizontaux, sans toucher les bords ni le fond ;
- Epaissseur en bouche : évaluer l'épaisseur en écrasant une cuillère de produit entre la langue et le palais ;
- Intensité de l'acidité : prendre une cuillerée de produit en bouche et noter son acidité ;
- Persistance de l'arôme en bouche : prendre une cuillerée de produit en bouche et évaluer la persistance de l'arôme (après disparition du produit) ; (Danone Research, 2010).



Figure 10 : évaluation de la quantité de sérum en surface (Danone Research, 2010).



Note = 0



Note = 1



Note = 5

Figure 11 : empreinte à la cuillère (Danone Research, 2010).

Durant ces tests, des notes allant de 0 jusqu'à 5 sont données. L'échelle suivante explique la signification de ces notes :

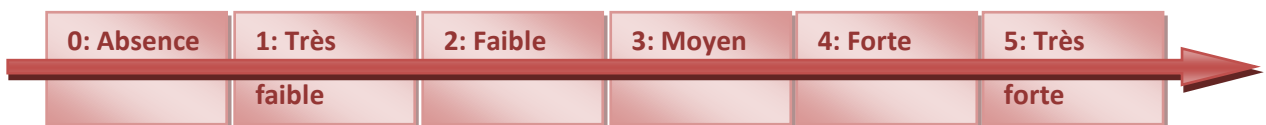


Figure 12 : notes du test des descripteurs (Danone Research, 2010).

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Analyses physicochimiques :

1.1. Le mix laitier :

➤ Témoin :

Les résultats d'analyses sont représentés dans le *tableau III* suivant :

Tableau III : résultats d'analyses du mix laitier ; Témoin.

Echantillon	Moyenne EST (%)	Moyenne protéines (%)	Moyenne MG (%)	Moyenne pH
E1	22,77	3,46	1,62	6,56
E2	22,12	3,41	1,35	6,67
E3	22,70	3,45	1,35	6,57
E4	24,84	2,92	1,37	/
E5	22,78	3,43	1,61	6,66
E6	22,74	3,53	1,62	6,64
E7	22,35	3,52	1,62	6,64
E8	22,02	3,38	1,64	6,69
E9	21,72	3,38	1,74	6,66
E10	22,62	3,47	1,67	6,55
E11	22,90	3,42	1,69	6,56
E12	22,98	3,44	1,67	6,56
E13	22,69	3,40	1,67	6,62
E14	22,85	3,39	1,61	6,62
E15	23,02	3,47	1,59	6,54
E16	22,98	3,46	1,66	6,60
E17	22,92	3,42	1,70	6,57
E18	23,06	3,38	1,57	/
E19	23,12	3,40	1,63	6,59
E20	22,73	3,48	1,57	6,58
E21	23,07	3,48	1,62	6,61
E22	22,51	3,42	1,63	6,63
E23	22,59	3,34	1,60	6,58
E24	22,92	3,38	1,58	6,48
E25	22,60	3,43	1,57	6,43
E26	22,71	3,31	1,56	6,51
E27	22,74	3,35	1,58	6,51
E28	22,07	3,44	1,65	6,46
E29	21,95	3,37	1,50	6,51
E30	22,74	3,51	1,59	6,52
E31	22,77	3,45	1,69	6,48
E32	22,71	3,50	1,61	6,51
E33	22,71	3,34	1,48	6,46
E34	19,19	3,46	1,61	6,50
E35	22,96	3,44	1,8	6,51
E36	22,89	3,43	1,70	6,49
E37	22,86	3,4	1,67	6,49
E38	22,96	3,35	1,63	6,49
E39	23,18	3,58	1,51	6,49
E40	22,79	3,45	1,63	6,47

Nous observons que les valeurs de pH et les taux d'EST et de MG sont tous conformes aux normes algériennes et mondiales. (JORA, FAO, OMS), ainsi qu'aux valeurs ciblées par l'organisme.

Pour les protéines, leur taux est relativement bas par rapport à la cible $3,6 \pm 0,1\%$, à quelques exceptions près (E4, E23 et E26) où nous trouvons des pourcentages très bas.

➤ **Down :**

Le taux de protéines des échantillons E4 et E8 est inférieur à la cible prévue pour l'essai Down qui est de $3,4 \pm 0,1\%$ (figure 13). Pour le reste des échantillons, bien qu'ils soient tous en dessous de la cible optimale (3,4%), ils ne sortent pas pour autant de la zone de conformité.

Les trois autres paramètres sont tous conformes.

Le taux de protéines est influencé par la qualité de la poudre de lait ajoutée et il n'est pas corrigé lors de l'obtention de valeurs légèrement inférieures aux cibles.

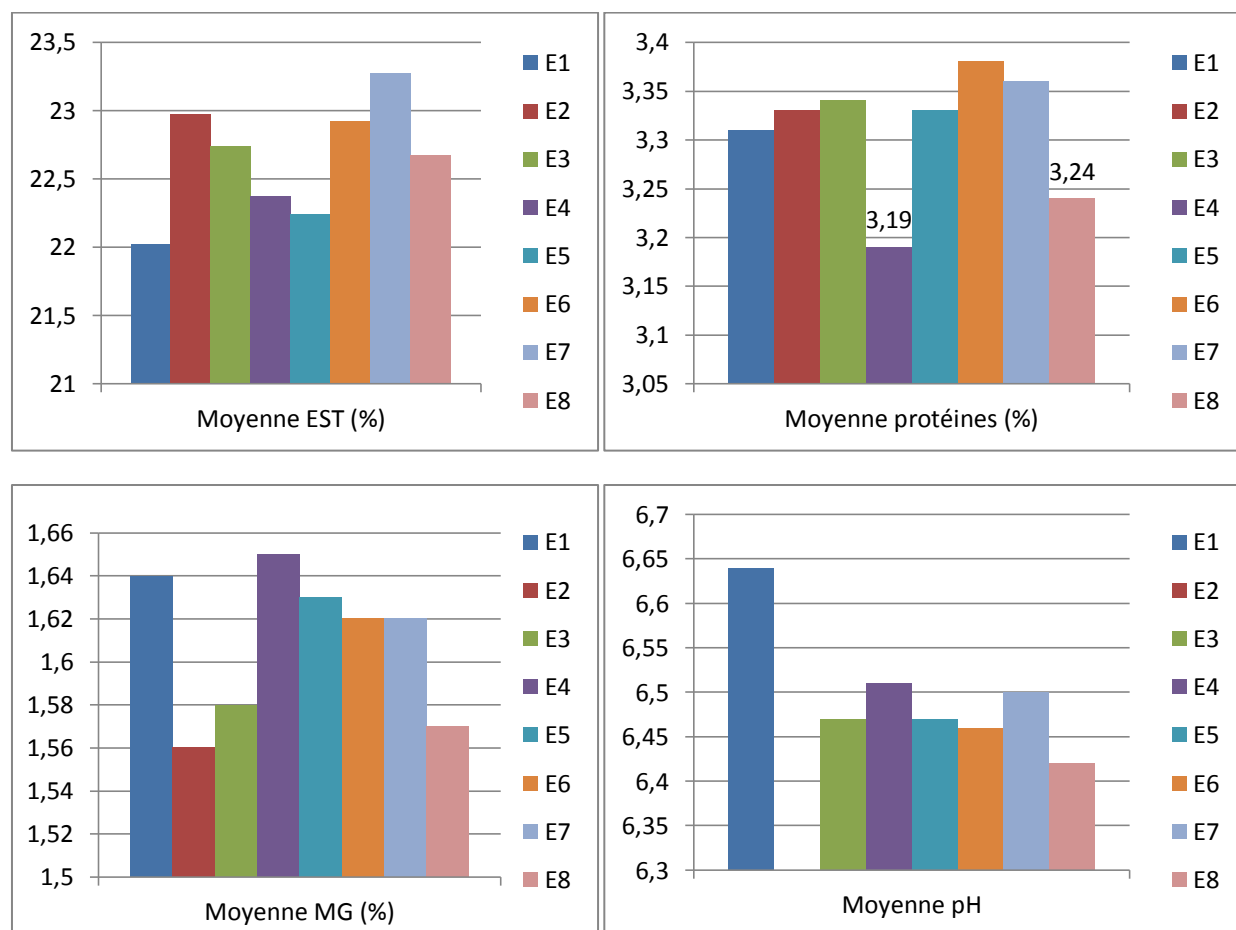


Figure 13 : résultats d'analyses du mix laitier ; Down

2.2.1. Le produit fini :

➤ Témoin :

Tableau IV : résultats d'analyses du produit fini ; Témoin.

Echantillon	Viscosité (cPs)	pH
E1	192000	4,52
E2	192000	4,48
E3	188000	4,52
E4	186000	4,50
E5	180000	4,53
E6	180000	4,51
E7	186000	4,52
E8	186000	4,49
E9	180000	4,43
E10	180000	4,49
E11	178000	4,50
E12	178000	4,45
E13	184000	4,53
E14	184000	4,52
E15	178000	4,52
E16	176000	4,52
E17	180000	4,55
E18	180000	4,48
E19	184000	4,50
E20	180000	4,46
E21	180000	4,47
E22	180000	4,50
E23	178000	4,49
E24	200000	4,35
E25	182000	4,52
E26	184000	4,47
E27	182000	4,45
E28	180000	4,48
E29	184000	4,46
E30	182000	4,48
E31	184000	4,39
E32	178000	4,52
E33	182000	4,45
E34	180000	4,48
E35	182000	4,48
E36	180000	4,48
E37	182000	4,46
E38	176000	4,42
E39	178000	4,52

La zone de conformité pour la viscosité est de 170000-210000 cPs, et celle du pH est 4,40-4,60. Ainsi, toutes les valeurs figurant dans le *tableau IV* sont incluses dans ces intervalles, sauf les pH des échantillons E24 et E31. Cela est probablement dû à la nature de l'un des constituants du mix laitier (lait cru par exemple). Ces deux échantillons restent tout de même dans la zone de tolérance.

➤ **Down :**

Nous remarquons que tous les échantillons sont dans les zones de conformité viscosité et pH sauf l'échantillon E4 dont le pH est légèrement inférieur à la valeur minimale recommandée (*figure 14*).

Nota : E2 a été analysé 3 jours après sa production au lieu d'un jour (pour des raisons de disponibilité) d'où probablement de valeurs non conformes.

Selon Paci Kora (2004), la viscosité croît avec l'ajout de PDL et d'épaississants, aussi ce paramètre est d'autant plus élevé que le pH est bas.

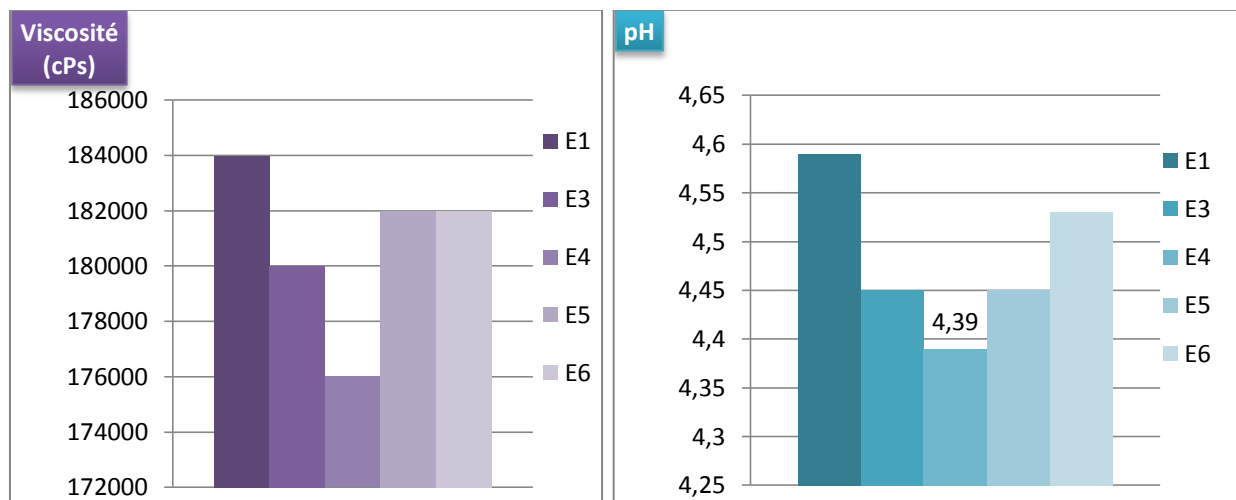


Figure 14 : résultats d'analyses du produit fini ; Down

Nous avons obtenu des viscosités aux alentours de 180000 cPs et des pH à 4,48 que ce soit pour le témoin ou l'essai. On a donc réussi à garder la même viscosité et le même pH et par conséquent, la même qualité physicochimique du produit.

L'effet prévisible de la faible teneur en protéines sur la viscosité a été atténué par l'application du processus d'homogénéisation en phase descendante dont les conséquences sont déjà évoquées dans la synthèse bibliographique.

2. Analyses microbiologiques :

➤ Témoin :

Le nombre de bactéries est exprimé en LogN, N étant le nombre d'UFC/g de produit.

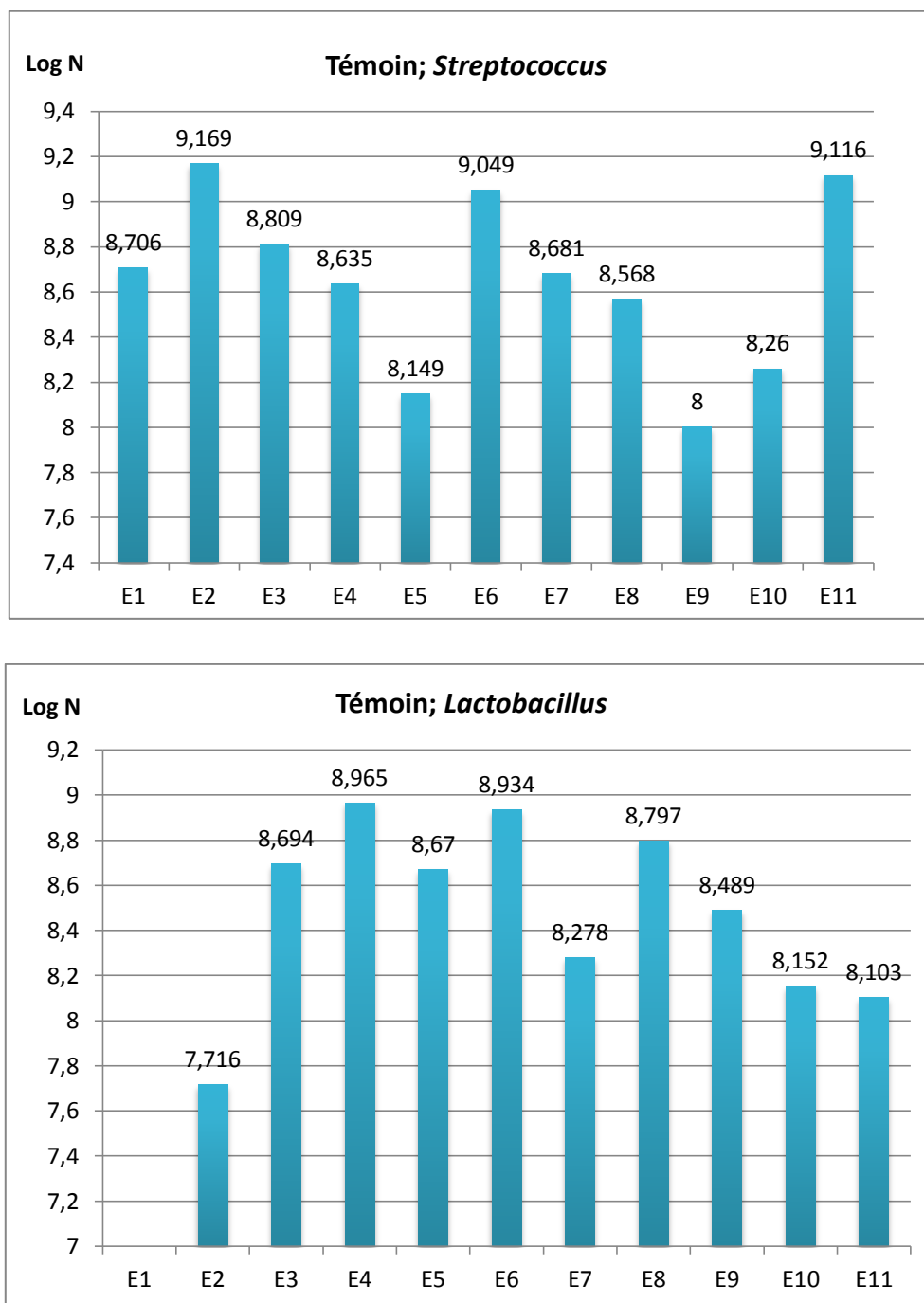


Figure 15 : Evolution de la flore lactique du témoin

Nous constatons que pour l'intégralité des échantillons, le nombre d'UFC/g de produit dépasse le minimum recommandé par législation algérienne 10^7 UFC/g pour chacune des deux bactéries (figure 15).

Des exceptions peuvent se manifester, comme l'absence totale de *Lb.bulgaricus* dans l'échantillon E1. Ce résultat aurait pu être évité si nous avons utilisé des dilutions plus faibles.

L'échantillon E2 contient la charge la plus élevée en streptocoques mais la plus basse en lactobacilles.

Pour le reste des échantillons, des variations aléatoires sont remarquées.

➤ **Down :**

De même que pour le témoin, les échantillons de l'essai Down sont tous conformes (figure 16).

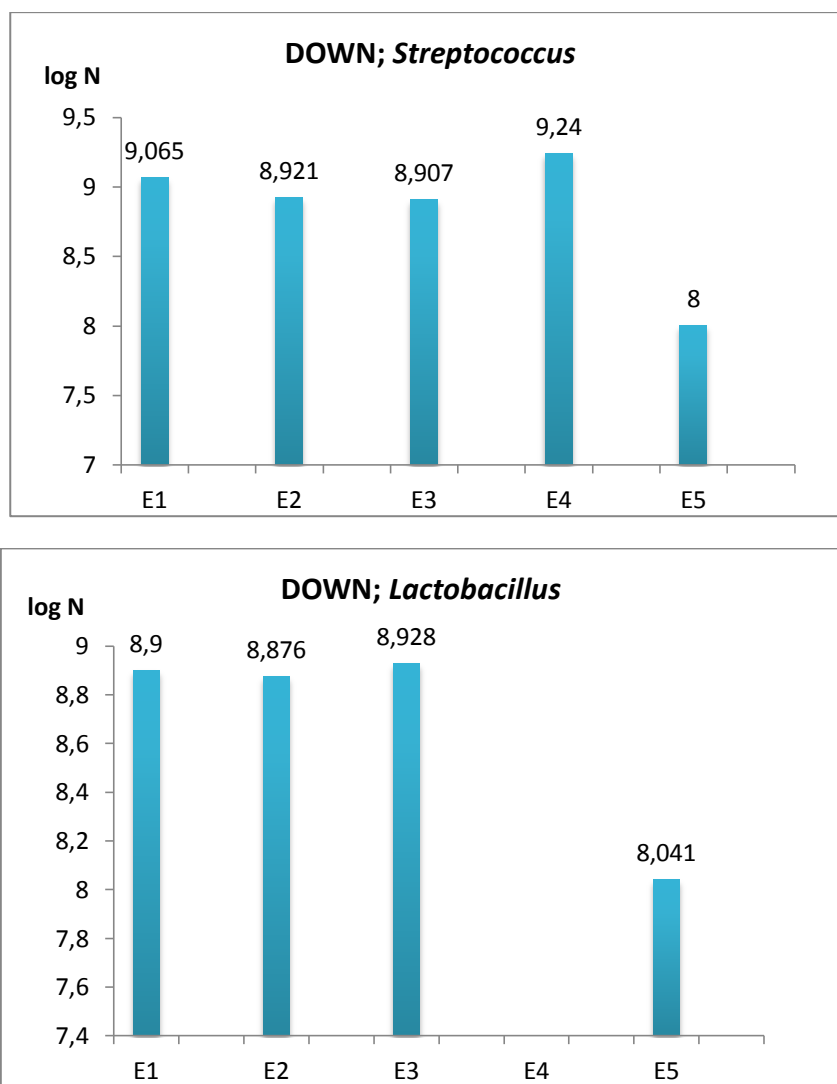


Figure 16 : Evolution de la flore lactique de l'essai.

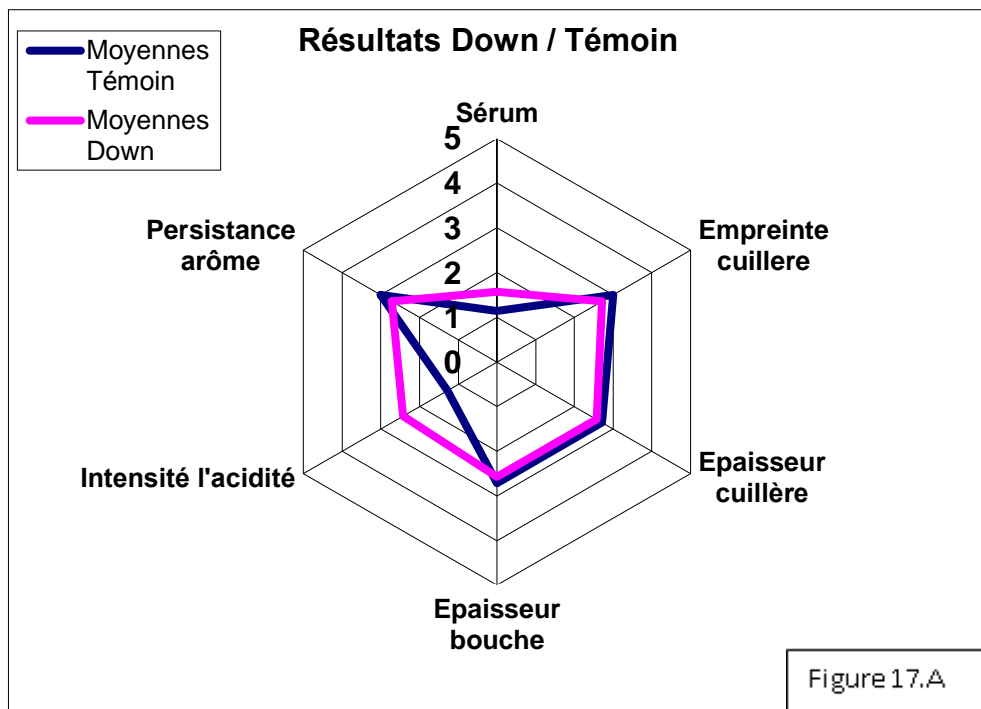
Il y a absence totale de *Lb. bulgaricus* dans E4, mais ce dernier contient la charge la plus élevée en *Sc. thermophilus*. E5 présente les valeurs les plus basses en bactéries lactiques.

En moyenne, l'essai présente une charge plus élevée de bactéries lactiques (Sc. : $9,28 \cdot 10^8$ et Lb. : $6,26 \cdot 10^8$) que le témoin (Sc. : $6,14 \cdot 10^8$ et Lb. : $4,2 \cdot 10^8$), sans tenir compte des résultats nuls.

Ces résultats, comparés à l'étude faite par Allouti et Khiri (2010) sur le même produit "Yaoumi", montrent que le nombre d'UFC/g de produit est très faible, mais restent toujours conformes.

Ces différences peuvent être liées à la nature de la matière première, à la quantité d'inoculum initial, aux souches elles-mêmes ou encore aux conditions de fermentation.

3. Analyse sensorielle : résultats du team tasting



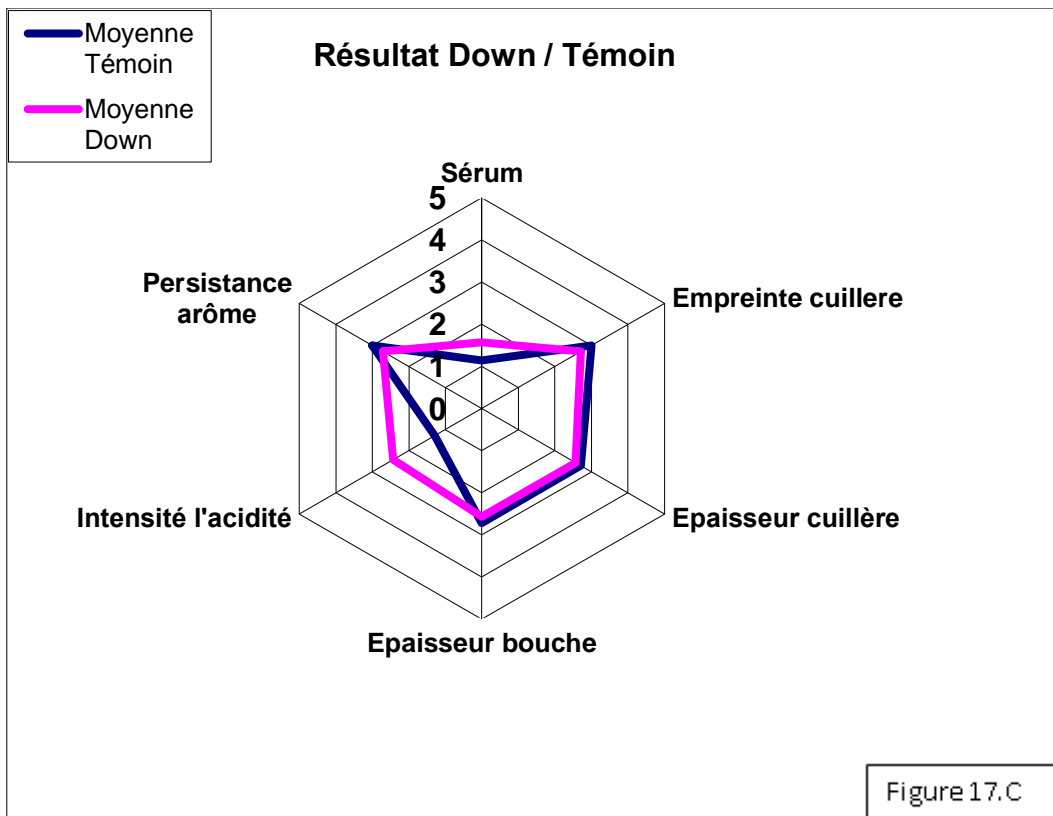
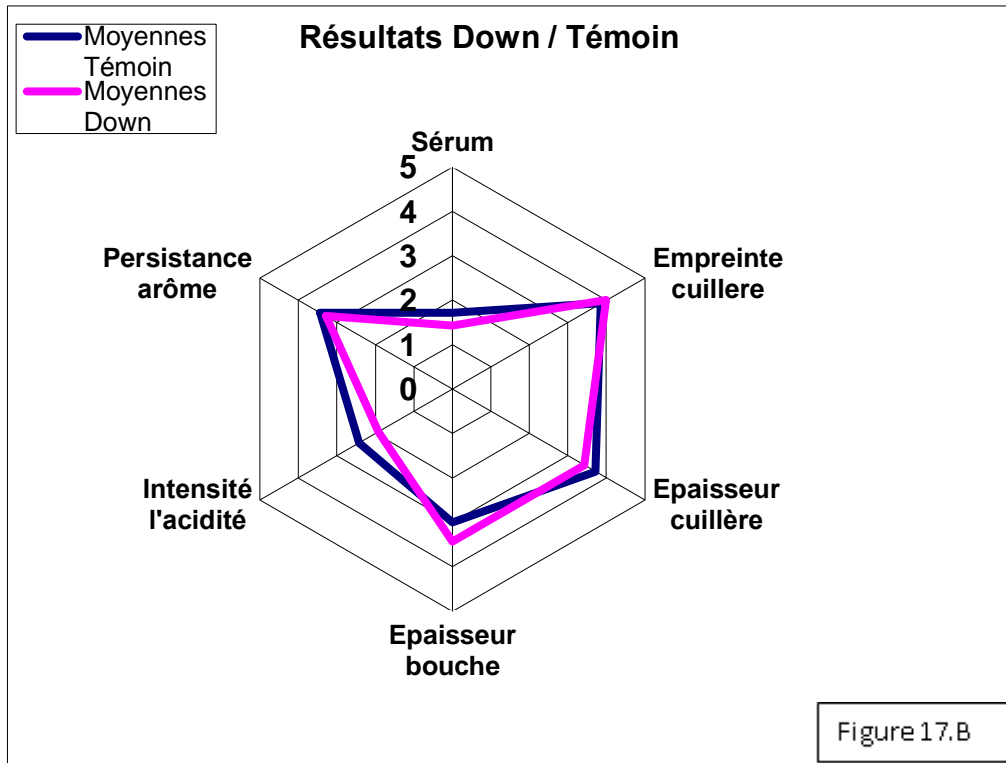


Figure 17 : Résultat du team tasting ; comparaison entre le témoin et l'essai Down.

(A, B et C : Lots n° 1, 2 et 3).

Nous remarquons que le premier lot de Down et le troisième sont relativement acides par rapport au témoin (*figure 17*).

Le reste des descripteurs pour les trois lots ne présentent pas de différences significatives et ne varient que selon les lots, d'où la conservation de la qualité sensorielle du yaourt.

Conclusion

L'objectif du travail présenté dans ce mémoire était d'étudier l'effet de l'enchaînement de la pasteurisation et de l'homogénéisation sur la viscosité, le pH, la texture et la perception sensorielle du yaourt étuvé aromatisé.

Dans ce travail, nous avons constaté que la viscosité et le pH n'ont pas varié entre le témoin et l'essai " Down ".

Pour la flore lactique, nous avons remarqué également qu'il n'y avait pas de différence notable entre le nombre d'UFC/g de produit témoin et celle de l'essai.

Ces paramètres ont donc été globalement conformes aux normes en la matière et aux cibles tracées par les chercheurs et ingénieurs de l'organisme.

Grâce aux recherches effectuées, le département "Danone Research" a pu aboutir à une formule contenant moins de poudre de lait ajoutée et, par conséquent, moins de protéines en procédant à une homogénéisation en phase descendante à une pression de 280bars, tout en gardant les mêmes propriétés physicochimiques et sensorielles du yaourt "Yaoumi".

Ce projet a permis à l'unité DDA d'économiser plus de 200.000DA/jour en matière première.

Toutefois, vu le risque de contamination, il est impératif que les conditions d'hygiène et d'asepsie soient optimales pour éviter ce genre de problèmes.

Une étude complémentaire doit donc être menée et approfondie par :

- Une multiplication du nombre d'échantillons durant les différentes analyses ;
- Des analyses microbiologiques supplémentaires de la flore d'altération.

Glossaire

Acétaldéhyde : Les caractéristiques des Acétaldéhydes sont l'odeur de pomme verte ou de citrouille. Ce goût provient d'un complexe chimique intermédiaire à la formation de l'alcool (<http://univers-biere.net>).

Barattage : brassage de la crème du lait pour obtenir le beurre par séparation de la matière grasse et du babeurre (dictionnaire Larousse 2009).

Coalescence : fusion de quelques globules gras en un plus gros (Cayot et Lorient, 1998).

Gerber (méthode de-) : Méthode de dosage rapide de la matière grasse du lait, employée dans le contrôle laitier des femelles laitières, notamment des vaches (www.Larousse.fr).

Homofermentaire : Fermentation produisant exclusivement de l'acide lactique (Meyer,*et al.*, 2004).

Interféron : Substance fabriquée par l'organisme à l'état naturel, et dont le rôle est de transmettre à d'autres cellules une résistance contre des infections virales (<http://www.docteurlic.com>).

Kinesthésie : Sensation du mouvement et de la position des différents membres (<http://www.mediadico.com>).

Microaérophiles : Désigne la famille des bactéries pour laquelle l'oxygène est indispensable mais qui ne se développent que dans des milieux où la pression partielle d'oxygène est nettement inférieure à celle de l'air (<http://www.dictionnaire-environnement.com>).

Organoleptique : se de de ce qui est capable d'affecter un récepteur sensoriel (dictionnaire Larousse 2009).

Orotique (acide-) : produit intermédiaire de la voie de biosynthèse des pyrimidines (Encyclopædia Universalis 2009).

Prébiotiques : Substances résistantes aux étapes de la digestion avec effet physiologique bénéfique sur l'hôte en stimulant de manière sélective la croissance favorable ou l'activité d'un nombre limité de bactéries indigènes (Guarner *et al.*, 2008).

Probiotique : Les probiotiques sont des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité adéquate, ont des effets bénéfiques sur l'organisme hôte en améliorant les propriétés de sa flore intestinale (Robin et Rouchy, 2001).

Somesthésie : Désigne la sensibilité aux diverses excitations que le corps subit sauf celles qui proviennent des organes sensoriels (<http://www.vulgaris-medical.com>).

Thermoformage : Opération qui consiste à donner à un emballage plastique une forme souhaitée (<http://blog.francetv.fr>).

Thermoscellage : Fermeture de manière hermétique d'un contenant par un film de matériau plastique soudé au contenant par la chaleur (www.larousse.fr).

Zêta (potentiel- des globules gras), noté ζ : densité de charges en surface « mV » (Cayot et Lorient, 1998).

Références bibliographiques

- Bolling J. C. (2001) : processing parameters effects on physicochemical properties of natural and reformulated creams. Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Masters of Science in Food Science and Technology. Blacksburg, Virginia, USA. pp 11
- Bylund G. (1995) : manuel de transformation du lait, publié par Tetra Pak processing systems AB, Sweden
- Cayot P. et Lorient D. (1998) : Structures et Technofonctions des Protéines du Lait. Arilait Recherches. Editions Technique & Documentation. pp 20, 138, 140, 153, 155
- Clark S. *et al.*, (2009) : The Sensory Evaluation of Dairy Products, second edition. Springer Science+Business Media. pp 1, 4, 14, 199, 206-209, 212, 217
- Danone recherches : homogénéisation en phase descendante.
- Dictionnaire Larousse 2009.
- Encyclopædia Universalis 2009
- Fernandes R. (2008) : Microbiology Handbook of Dairy Products, edition first, Leatherhead Publishing and royal Society of Chemistry. UK. pp 81, 83
- Guarner F. *et al.* (2008) : Probiotiques et prébiotiques. Organisation Mondiale de Gastroentérologie.
- Jeantet R., Roignant M. et Brulé G. (2001) : Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière. Editions Technique & Documentation. pp 54
- Jora 2004 : www.fao.org
- Jora, arrêté interministériel du 16 Jomada Ethania 1419 correspondant au 7 octobre 1998 relatif aux spécifications techniques des yaourts et aux modalités de leur mise à la consommation. Articles 2, 3 et 4.
- Khiri S. et Allouti R. (2010) : Etude de la stabilité microbiologique du yaourt ferme aromatisé "Yaoumi" après la date limite de consommation. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en génie biologique. Université de Béjaia.
- Lespinasse N. *et al.* (2002) : mémento évaluation sensorielle des fruits et légumes. Ctifl (centre technique interprofessionnel des fruits et légumes), Paris. pp 13, 14
- Leveau J-Y. et Bouix M. (1993) : Microbiologie industrielle ; les micro-organismes d'intérêt industriel. Editions Technique & Documentation, Lavoisier. pp 310.

- Luquet F-M. et Corrieu G. (2005) : Bactéries lactiques et probiotiques. Editions Technique & Documentation, Lavoisier. pp (53-54, 55, 56, 57) 53-57
- Luquet F-M. (1990) : laits et produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Tome 2 : les produits laitiers, transformation et technologies. Edition Technique & Documentation. pp (45, 46, 47) 45-47
- Mahaut M. *et al.*, (2000) : Les produits industriels laitiers. Editions Technique & Documentation, Lavoisier. pp 30,31, (34, 35, 36, 37) 34-37
- Mahaut M., *et al.* (2008) : Les produits laitiers. Editions Technique & Documentation, Lavoisier. pp 24, 26, 27, (30, 31, 32, 33) 30-33
- Meyer, *et al.* (2004) : Cours de microbiologie générale: avec problèmes et exercices corrigés. Deuxième édition ; Editions Doin.
- Office européen de brevets : fascicule de brevet EP 1 474 002 B1.
- Paci Kora E. (2004) : Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur ? thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, Option : Sciences des Aliments. pp 26, 114
- Robin J-M et Rouchy A., (2001) : Les probiotiques. Nutranews ; science, nutrition, prévention et santé, mai 2001. Editeur : Association Nutrition & Prévention, France
- Schmid R-D. (2005) : Atlas de poche de biotechnologie et de génie génétique. Editions Flammarion. pp 12
- Tamime A. (2007) : Structure of Dairy Products. Blackwell Publishing. UK. pp 134
- Tamime A.Y. et Robinson R.K. (2000): Yoghurt Science and Technology, second edition. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England. pp 4, 58

Références numériques :

- <http://univers-biere.net>
- <http://www.Larousse.fr>
- <http://www.docteurclic.com>
- <http://www.mediadico.com>
- <http://www.dictionnaire-environnement.com>

- <http://www.vulgaris-medical.com>
- <http://blog.francetv.fr>

Annexes

Annexe I

Résultats des analyses physicochimiques du mix et du produit fini ; Down

Tableau V : Mix laitier

Echantillons	Moyenne EST (%)	Moyenne protéines (%)	Moyenne MG (%)	Moyenne pH
E1	22,02	3,31	1,64	6,64
E2	22,97	3,33	1,56	
E3	22,74	3,34	1,58	6,47
E4	22,37	3,19	1,65	6,51
E5	22,24	3,33	1,63	6,47
E6	22,92	3,38	1,62	6,46
E7	23,27	3,36	1,62	6,5
E8	22,67	3,24	1,57	6,42

Tableau VI : Produit fini

Echantillons	pH	Viscosité (Cps)
E1	4,59	184000
E2	4,3	236000
E3	4,45	180000
E4	4,39	176000
E5	4,45	182000
E6	4,53	182000

Annexe II

Milieux de cultures : formules et préparations

Gélose M17 de « Laboratorios Conda », Espagne.

Pour la culture et l'énumération de streptococci lactiques dans le lait et produits lactiques.

Formule en g/l d'eau distillée :

Glycérophosphate sodique	19
Peptone de soja	5
Extrait de viande	5
Lactose	5
Peptone de viande	2.5
Peptone de caséine	2.5
Extrait de levure	2.5
Acide ascorbique	0.5
Sulfate de magnésium	0.2
Agar bactériologique	12.75

pH final : 6.9+/-0.2 à 25°C

Préparation :

Faites dissoudre 55g du milieu dans 1l d'eau distillée, faire bouillir jusqu'à complète dissolution puis autoclaver à 121° pendant 15 min.

Gélose MRS de l'« Institut Pasteur Algérie ».

Milieu d'enrichissement, culture et isolement de toutes les espèces de *Lactobacillus*.

Formule en g/l d'eau distillée :

Peptone de caséine	10
Extrait de viande	8
Extrait de levure	4
Glucose	20
Phosphate dipotassique	2
Di ammonium citrate	2
Acétate de sodium	5
Sulfate de magnésium	0.2
Sulfate de manganèse	0.04
Agar	20

pH 6.5 +/- 0.1

Préparation :

Dissoudre 72.2g dans 1l d'eau distillée, rajouter 1ml de Tween80 pour 1l de milieu, autoclaver 15' à 118°C.

Annexe III

Résultats des analyses microbiologiques

Tableau VII : Down

Echantillon	N	log N	Espèce recherchée
E1	$1,16 \cdot 10^9$	9,065	<i>Sc. thermophilus</i>
E2	$8,34 \cdot 10^8$	8,921	
E3	$8,08 \cdot 10^8$	8,907	
E4	$1,74 \cdot 10^9$	9,24	
E5	$1,0 \cdot 10^8$	8	
E1	$7,96 \cdot 10^8$	8,9	<i>Lb. bulgaricus</i>
E2	$7,52 \cdot 10^8$	8,876	
E3	$8,48 \cdot 10^8$	8,928	
E4	0		
E5	$1,1 \cdot 10^8$	8,041	

Tableau VIII : Témoin

Echantillon	N	log N	Espèce recherchée
E1	$5,09 \cdot 10^8$	8,706	<i>Sc. Thermophilus</i>
E2	$1,47 \cdot 10^9$	9,169	
E3	$6,45 \cdot 10^8$	8,809	
E4	$4,32 \cdot 10^8$	8,635	
E5	$1,41 \cdot 10^8$	8,149	
E6	$1,12 \cdot 10^9$	9,049	
E7	$4,8 \cdot 10^8$	8,681	
E8	$3,7 \cdot 10^8$	8,568	
E9	$1,0 \cdot 10^8$	8	
E10	$1,82 \cdot 10^8$	8,26	
E11	$1,31 \cdot 10^9$	9,116	
E1	0		<i>Lb. bulgaricus</i>
E2	$5,2 \cdot 10^7$	7,716	
E3	$4,95 \cdot 10^8$	8,694	
E4	$9,22 \cdot 10^8$	8,965	
E5	$4,68 \cdot 10^8$	8,67	
E6	$8,6 \cdot 10^8$	8,934	
E7	$1,9 \cdot 10^8$	8,278	
E8	$6,27 \cdot 10^8$	8,797	
E9	$3,09 \cdot 10^8$	8,489	
E10	$1,42 \cdot 10^8$	8,152	
E11	$1,27 \cdot 10^8$	8,103	

Annexe IV

Fascicule de brevet européen EP 1 474 002 B1, 2009. Office européen de brevets.

Article 3 :

Pour améliorer la texture de produits laitiers fermentés de type yoghourt ou lait fermenté, on procède actuellement par concentration du substrat laitier, ou bien par ajout de produits issus du lait, et notamment par ajout de protéines telles que caséinate, protéines de lactosérum, ou par ajout d'agents texturants (épaississants, gélifiants) tels que amidon, pectine, gélatine.

Article 4 :

La protéolyse de caséine en général, et de caséine κ en particulier, n'était pas, dans l'art antérieur, un phénomène souhaité lors de la fabrication de produits laitiers fermentés de type yoghourts et laits fermentés. En effet, les enzymes caséinolytiques telles que, par exemple, celle qui est contenue dans la présure, et qui est utilisée pour la fabrication des fromages et fromages frais, étaient connues, du fait de leur effet coagulant, pour être inductrices d'importants phénomènes de synérèse. Or, si la formation de petit-lait et de sérum est recherchée et nécessaire à la fabrication de fromages et de fromages frais (récupération du caillé), elle n'est par contre pas souhaitable lors de la fabrication de yoghourts et laits fermentés, car elle conduit à une texture qui n'est pas acceptable pour ce type de produits laitiers (texture granuleuse, importante exsudation de sérum). C'est pourquoi, jusqu'alors, on n'utilisait pas d'enzymes caséinolytiques lors de la fabrication de yoghourts et laits fermentés, et on veillait même à éviter que de telles enzymes ne soient présentes ou produites dans le substrat laitier.

Annexe V

Tableau V : Incidence du traitement thermique sur la fermentescibilité du mix laitier
(Luquet et Corrieu, 2005)

Effet activateur	Effet inhibiteur
Destruction d'inhibiteurs naturels du lait : <ul style="list-style-type: none"> - Système lactoperoxydase - Agglutinines - Lysozyme et lactoferrine Dégradation des caséines et libération d'acides aminés et peptides	Elimination du CO ₂ Destruction de la vitamine B Libération de peptides inhibiteurs Réaction de Maillard Destruction d'une partie du lactose
Elimination de l'oxygène Production d'acide formique Diminution du potentiel d'oxydoréduction Destruction de lipases et protéases	

Résumé

Dans le but de comparer entre le processus de fabrication du yaourt étuvé aromatisé "Yaoumi" et un autre proposé lors d'un projet visant à réduire les coûts au sein de l'unité Danone Djurdjura Algérie, des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles ont été faites.

Les résultats de ces analyses montrent que le nouveau produit garde la même qualité, néanmoins, les analyses microbiologiques doivent être approfondies pour s'assurer de sa qualité de ce point de vue.

Mots clés : yaourt ferme, homogénéisation, pasteurisation, phase descendante, analyse sensorielle, caséines, protéines sériques, globules gras.

Abstract

In order to compare between the manufacturing process of the flavoured set yoghurt "Yaoumi" and another suggested in a project to reduce costs within Danone Djurdjura Algérie unit, physicochemical, microbiological and sensory analysis were realized.

The results of these analysis show that the new product still has the same quality, nevertheless, the microbiological analysis have to be deepened to make sure of its quality from this point of view.

Keywords : set yoghurt, homogenisation, pasteurisation, downstream, sensory analysis, caseins, whey proteins, fat globules.