

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE - MICROBIOLOGIE



MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Sciences Biologiques
Option : Biochimie Appliquée et Biotechnologies

Présenté par :

Mme BOUBCHIR-LADJ KAHINA

SUJET :

*EFFETS DE L'ENRICHISSEMENT (AVEC DES
CONCENTRES DE PROTEINES LAITIERES) ET DES
PARAMETRES TECHNOLOGIQUES SUR LA QUALITE DU
YAOURT FABRIQUE A LA LAITERIE SOUMMAM D'AKBOU*

Devant le jury :

| | | | |
|------------------------|-----------------------|-------|------------|
| - Mr MESBAHI Mahmoud | Maître de Conférences | UMMTO | Président |
| - Mr MATI Abderrahmane | Professeur | UMMTO | Rapporteur |
| - Mr BENALLAOUA Saïd | Professeur | UAMB | Examineur |
| - Mr DJENANE Djamel | Maître de Conférences | UMMTO | Examineur |
| - Mr AMROUCHE Tahar | Maître de Conférences | UMMTO | Examineur |

Soutenu :

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur MATI Abderrahmane, Professeur à la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de Tizi-ouzou (UMMTO) pour avoir accepté de diriger ce travail et pour tous ses conseils avisés.

Que mes vifs remerciements aillent à Monsieur HAMITOUCHE Aziz, Cogérant de la Laiterie SOUMMAM d'Akbou pour m'avoir permis de réaliser une partie de mon travail au sein de son entreprise.

Un grand merci à BOURDACHE Farida, Directrice du laboratoire recherche et développement (LRD) de la Laiterie SOUMMAM, pour son soutien et tous ses conseils scientifiques. Je remercie également OUNZAB Nacer, Ingénieur d'application du LRD, pour son aide précieuse et sa disponibilité.

Que tous les participants des séances d'évaluation sensorielle descriptive trouvent ici, l'expression de ma sincère gratitude pour leur disponibilité et leur application.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur MESBAHI Mahmoud (Maître de Conférences, UMMTO) qui a accepté de présider le jury. Je remercie également Monsieur BENALLAOUA Saïd, Professeur à l'université Abderrahmane MIRA de Bejaia, AMROUCHE Taher et DJENANE Djamel (Maître de Conférence, UMMTO) qui me font l'honneur d'être les examinateurs de ce mémoire.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

- ❖ **la mémoire de mon défunt père. J'espère que je serai toujours à la hauteur de ses espérances;**
- ❖ **mon très cher mari qui m'a motivé et soutenue tout au long de ce travail;**
- ❖ **mes trois vrais trésors : *YANNEL, DALYA* et *ELIAS* ;**
- ❖ **ma très chère mère, mon frère *SLIMANE* et mes trois sœurs : *CHAHRAZED, MEKIOUSSA* et *THANINA* pour leur encouragement ;**
- ❖ **ma belle famille ainsi que toute la famille *LADJ* ;**
- ❖ **tous mes collègues de la Laiterie SOUMMAM qu'ils soient contrôleurs de qualité, chimistes, Ingénieurs de process et à mes responsables.**

Table des Matières

| | |
|---|----|
| Résumé | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des figures et des tableaux | |
| Introduction..... | 1 |
| I. Synthèse bibliographique | |
| 1.1. Présentation du yaourt..... | 3 |
| 1.1.1. Définition..... | 3 |
| 1.1.2. Historique..... | 3 |
| 1.2. Matières utilisées pour la production du yaourt..... | 4 |
| 1.2.1. Lait frais..... | 4 |
| 1.2.1.1. Problématique du lait en Algérie..... | 4 |
| 1.2.1.2. La poudre de lait..... | 5 |
| 1.2.2. Les bactéries caractéristiques du yaourt..... | 6 |
| 1.2.2.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt..... | 6 |
| 1.2.2.1.1. <i>Streptococcus thermophilus</i> | 6 |
| 1.2.2.1.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> | 6 |
| 1.2.2.2. Intérêts et fonctions des bactéries du yaourt..... | 7 |
| 1.2.2.2.1. Production d'acide lactique..... | 7 |
| 1.2.2.2.2. Activité protéolytique..... | 7 |
| 1.2.2.2.3. Activité aromatique..... | 8 |
| 1.2.2.2.4. Activité texturante..... | 8 |
| 1.2.2.3. Comportement associatif des deux souches..... | 9 |
| 1.3. Les différents types du yaourt..... | 10 |
| 1.4. Technologie du yaourt..... | 10 |
| 1.4.1. Standardisation du mélange..... | 10 |
| 1.4.2. Traitement thermique..... | 11 |
| 1.4.3. Ensemencement..... | 11 |
| 1.4.4. Réchauffage..... | 11 |
| 1.4.5. Etuvage / brassage..... | 13 |
| 1.4.5.1. Phase d'incubation (Etuvage)..... | 13 |
| 1.4.5.2. Brassage..... | 13 |
| 1.4.6. Conservation des yaourts..... | 14 |
| 1.5. Qualités du yaourt..... | 14 |
| 1.5.1. Aspects physico-chimiques..... | 14 |
| 1.5.2. Aspects hygiéniques..... | 14 |
| 1.5.3. Défauts et altérations du yaourt..... | 15 |
| 1.5.4. Qualité organoleptique..... | 17 |
| 1.5.4.1. Gélification acide..... | 17 |
| 1.5.4.2. Comportement rhéologique..... | 17 |
| 1.5.4.3. Propriétés et analyses sensorielles..... | 19 |
| 1.5.4.3.1. Propriétés organoleptiques..... | 19 |
| 1.5.4.3.2. Analyse descriptive quantitative..... | 20 |
| 1.5.4.3.2.1. Sélection du jury..... | 20 |
| 1.5.4.3.2.2. Choix des descripteurs..... | 20 |
| 1.5.4.3.2.3. L'échelle de notation..... | 21 |
| 1.5.4.3.2.4. L'entraînement des sujets et le contrôle des performances..... | 21 |
| 1.5.4.3.2.5. Organisation des séances..... | 21 |
| 1.6. Présentation de l'Entreprise et de son organigramme..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 1.6.1. Préambule..... | 22 |
| 1.6.2. Présentation de l'unité..... | 22 |
| II. Matériel et méthodes | |
| 2.1. Matériel..... | 24 |
| 2.1.1. Matière première..... | 24 |
| 2.1.2. Appareillage..... | 24 |
| 2.1.2.1. Appareillage utilisé aux laboratoires de la Laiterie SOUMMAM..... | 24 |
| 2.1.2.2. Appareillage utilisé au laboratoire LABAB..... | 25 |
| 2.1.3. Produits chimiques et réactifs..... | 25 |
| 2.2. Méthodes d'analyse..... | 26 |
| 2.2.1. Analyses physicochimiques de la matière première..... | 26 |
| 2.2.1.1. Dosage du taux de protéine par la méthode de Kjeldahl..... | 26 |
| 2.2.1.2. Mesure du pH..... | 26 |
| 2.2.1.3. Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode acido- butyrométrique..... | 27 |
| 2.2.1.4. Détermination du taux d'humidité..... | 27 |
| 2.2.1.5. Détermination de l'acidité..... | 27 |
| 2.2.1.6. Détermination de la masse volumique..... | 27 |
| 2.2.2. Fabrication du yaourt étuve nature..... | 28 |
| 2.2.2.1. Préparation des matières premières..... | 28 |
| 2.2.2.2. Fermentation..... | 28 |
| 2.2.3. Analyses physicochimique du produit fini..... | 28 |
| 2.2.3.1. Mesure des propriétés rhéologiques et suivi de la viscosité au cours du temps..... | 28 |
| 2.2.3.2. Mesure et suivi de la synérèse au cours du temps..... | 29 |
| 2.2.3.3. Mesure et suivi de pH au cours du temps..... | 29 |
| 2.2.3.4. Mesure et suivi de la l'acidité au cours du temps..... | 29 |
| 2.2.4. Analyse sensorielle..... | 30 |
| 2.2.4.1. Les sujets..... | 30 |
| 2.2.4.2. L'environnement de la dégustation..... | 30 |
| 2.2.4.3. Les produits..... | 30 |
| 2.2.4.4. Déroulement des séances de dégustation..... | 30 |
| 2.2.5. Analyse statistique des données..... | 32 |
| 2.2.5.1. Présentation et principe de fonctionnement du MilkoScan FT120..... | 32 |
| 2.2.5.2. Principe de mesure de l'interféromètre FTIR..... | 33 |
| 2.2.6. Etude de l'effet du traitement thermique sur l'état de dénaturation des protéines sériques..... | 34 |
| 2.2.6.1. Ecrémage..... | 35 |
| 2.2.6.2. Isolement des protéines sériques..... | 35 |
| 2.2.6.3. Estimation du taux de dénaturation..... | 35 |
| 2.2.6.4. Méthode électrophorétique..... | 37 |
| 2.2.6.4.1. Principe général..... | 37 |
| 2.2.6.4.2. Réalisation de l'électrophorèse..... | 39 |
| 2.2.6.4.3. Coloration des protéines..... | 40 |
| III. Résultats et discussion | |
| 3.1 Caractérisation de la matière première..... | 41 |
| 3.1.1. Analyse des paramètres physico-chimiques du lait frais collecté par l'unité..... | 41 |
| 3.1.1.1. Teneur en matières grasses..... | 41 |
| 3.1.1.2. Teneur en protéines..... | 43 |
| 3.1.1.3. Teneur en extrait sec total..... | 43 |
| 3.1.1.4. Densité..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1.5 Conclusion de l'analyse physico-chimique du lait..... | 46 |
| 3.1.2. Caractérisation des différents ingrédients laitiers..... | 48 |
| 3.1.2.1. Poudre de lait..... | 48 |
| 3.1.2.2. Les concentrés de protéines sériques (WPC) | 48 |
| 3.1.2.3. La caséine présure..... | 48 |
| 3.2. Evolution de la viscosité..... | 49 |
| 3.2.1. Influence de l'enrichissement avec la poudre de lait..... | 49 |
| 3.2.2 Influence de l'enrichissement avec les protéines sériques..... | 50 |
| 3.2.3. Influence de l'enrichissement avec la caséine présure..... | 50 |
| 3.3. Evolution du taux de synérèse..... | 51 |
| 3.3.1. Influence de l'enrichissement avec la poudre de lait..... | 51 |
| 3.3.2. Influence de l'enrichissement avec les WPC..... | 52 |
| 3.3.3. Influence de l'enrichissement avec la caséine présure..... | 53 |
| 3. 4. Evolution du pH et de l'acidité en fonction du taux de protéines..... | 53 |
| 3.5. Evolution du pH en fonction du taux de WPC ou de la CNP..... | 55 |
| 3.6. Evaluation sensorielle..... | 57 |
| 3.7. Evaluation de l'effet du traitement thermique sur l'état de dénaturation des protéines sériques..... | 62 |
| 3.7.1 Estimation du taux de dénaturation..... | 62 |
| 3.7.2. Caractérisation électrophorétique des différents mix..... | 63 |

Conclusion générale

Référence bibliographiques

Annexe

Résumé

L'industrie de fabrication du yaourt en Algérie est fortement dépendante des marchés extérieurs caractérisés par des variations qualitatives de la matière première. Ceci engendre des difficultés pour garantir une bonne qualité du produit. Dans l'optique de se soustraire un tant soit peu à ces fluctuations préjudiciables à la valeur du produit fabriqué, la Laiterie Soummam d'Akbou s'est engagée dans une démarche visant à investir dans la production de lait cru.

Une meilleure connaissance de la qualité du lait collecté aux fins de fabrication de yaourt permet d'adopter des processus technologiques les plus indiqués, limiter les défauts de fabrication et améliorer la qualité du produit fini. C'est précisément dans ce cadre de préoccupations que nous avons réalisé un suivi de l'évaluation des paramètres physico-chimiques du lait livré à la Laiterie Soummam d'Akbou. Les analyses ont montré que globalement les teneurs moyennes en extrait sec total, matière grasse, protéines et densité sont très satisfaisantes, à l'exception des centres de Tizi Ouzou et à un degré moindre celui de Batna-Aïn el Beïda, où les taux se situent parfois au dessous des normes requises. Néanmoins des variations significatives ont été enregistrées selon la période de prélèvement considérée et/ou le centre de collecte considéré.

Un des objectifs principaux assigné à ce travail est d'explorer l'impact des enrichissements avec des concentrés de protéines laitières (concentrés de protéines sérique et caséine présure) sur les propriétés organoleptiques du yaourt. Les essais expérimentaux réalisés et l'évaluation sensorielle qui a été menée dans ce sens ont révélé que l'enrichissement avec le concentré de protéines sériques (WPC), contrairement à la caséine présure (CNP), améliore d'une façon notable la viscosité et diminue le taux de synérèse des yaourts. Toutefois, Les propriétés sensorielles sont négativement affectées par l'adjonction d'une proportion de WPC dépassant 1%. En effet, le goût de cuit et le goût de lactosérum se trouvent majorés.

Enfin, en s'appuyant sur des techniques électrophorétiques appropriées, nous avons par la suite montré que le traitement de pasteurisation pratiqué à l'unité induit une dénaturation non négligeable estimé à environ 30% des protéines sériques, quand celles-ci se retrouvent dans le lait avec les micelles de caséines. Cet effet est multiplié dans le cas des laits recombinaisonnés additionnés au lait frais où le double traitement (déshydratation/pasteurisation) est préjudiciable à la qualité nutritionnelle du produit fabriqué

Mots clés : Lait / yaourt / concentré de protéines / enrichissement / rhéologie / viscosité / dénaturation / analyse sensorielle / comportement électrophorétique.

Liste des abréviations

| | |
|-------------------------------|---|
| BSA | Albumine sérique bovine ou « Bovin Serum Albumin » |
| CNP | Caséine présure |
| DLC | Date limite de consommation |
| Ig | Immunoglobuline |
| LABAB | Laboratoire de Biochimie Analytique et Biotechnologies |
| LV | Lait de vache |
| MG | Matière grasse |
| PAGE | Electrophorèse sur gel de polyacrylamide ou « PolyAcrylamid Gel Electrophoresis » |
| pH | Potentiel d'hydrogène |
| TB | Taux Butyreux |
| TCA | Acide trichloracétique |
| TEMED | N,N,N',N'-tetramethyl-éthylène diamine |
| TP | Taux Protéique. |
| Tris | Tris-hydroxy-méthyl-amino-méthane |
| WPC | Concentrés de protéine sérique « Whey Protein Concentrate » |
| α-La | α -Lactalbumine |
| β-Lg | β -lactoglobuline |

LISTES DES FIGURES

| Figure | Titre | page |
|--------|--|------|
| 1 | Les bactéries lactiques du yaourt | 7 |
| 2 | Schéma illustrant les interactions de <i>Sreptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> en culture mixte dans le lait. | 9 |
| 3 | Diagramme des principales étapes de fabrication du yaourt. | 12 |
| 4 | Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt | 18 |
| 5 | Organigramme de la laiterie SOUMMAM | 23 |
| 6 | Viscosimètre Brookfield | 29 |
| 7 | Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre électromagnétique | 32 |
| 8 | Image du MilkoScan™ FT120 disponible à l'unité. | 33 |
| 9 | L'interféromètre en image | 34 |
| 10 | Etapes d'isolement des protéines sériques à partir des différents mix préparés | 36 |
| 11 | Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de <i>Lowry et al</i> (1951) | 37 |
| 12 | Réaction de polymérisation entre l'Acrylamide et le Bisacrylamide. | 38 |
| 13 | Photographie de l'unité d'électrophorèse sur mini-cuve Hoeffler SE 200 utilisée. | 39 |
| 14 | Variation de la teneur du lait en matières grasses en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation. | 41 |
| 15 | Variation de la M.G. en fonction de la provenance du lait. | 43 |
| 16 | Variation de la teneur du lait en protéines en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation. | 44 |
| 17 | Variation de la teneur en protéine en fonction de la provenance du lait. | 44 |
| 18 | Variation de l'extrait sec total du lait (EST) en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation. | 45 |
| 19 | Variation de l'extrait sec total du lait (EST) en Fonction de sa provenance. | 45 |
| 20 | Variation de la densité en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation. | 47 |
| 21 | Variation de la densité en fonction de la provenance du lait. | 47 |
| 22 | Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt « nature » préparé à partir de la poudre de lait. | 49 |
| 23 | Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt nature enrichi avec les protéines sériques concentrées (WPC). | 50 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 24 | Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt nature enrichi avec la caséine présure (CNP). | 51 |
| 25 | Evolution du taux de synérèse au niveau des yaourts à différents taux de protéine. | 52 |
| 26 | Evolution du taux de synérèse au niveau d'un yaourt enrichi avec la CNP. | 53 |
| 27 | Evolution du pH en fonction du taux de protéines et du temps de conservation. | 54 |
| 28 | Evolution de l'acidité en fonction du taux de protéines et du temps de conservation. | 54 |
| 29 | Evolution du pH en fonction du taux de WPC incorporé, au cours du temps. | 55 |
| 30 | Evolution de l'acidité en fonction du taux de WPC incorporés, au cours du temps. | 55 |
| 31 | Mesure du pH en fonction des taux de CNP rajoutés au cours de temps de conservation. | 56 |
| 32 | Suivi de l'évolution de l'acidité en fonction des taux de CNP rajoutés, au cours du temps. | 56 |
| 33 | Taux de dénaturation thermique des protéines sériques des différents mix préparés | 62 |

LISTE DES TABLEAUX

| Tableau | Titre | page |
|----------------|---|-------------|
| I | Principaux défauts de goût (A), de texture (B) et d'apparence (C) rencontrés dans la fabrication des yaourts. | 15 |
| II | Langage sensorielle utilisée pour l'évaluation descriptive des yaourts. | 19 |
| III | Résultats des analyses physicochimiques des poudres de lait. | 48 |
| IV | Résultats des analyses physicochimiques du WPC. | 48 |
| V | Résultats des analyses physicochimiques de la caséine présure | 48 |
| VI | Mesure du taux de synérèse en fonction des proportions de concentrés de protéines sériques (WPC) incorporées. | 52 |
| VII | Résultats de l'analyse descriptive concernant l'aspect et la texture des échantillons de yaourt préparés. | 57 |
| VIII | Résultats de l'analyse descriptive concernant les attributs de flaveur. | 58 |

INTRODUCTION

Bien que la fabrication et la consommation des laits fermentés remonte à la plus haute antiquité, les progrès réalisés dans l'élaboration, la standardisation et la diversification des yaourts correspondent pour la plupart aux efforts de recherche entrepris au cours du siècle dernier.

Avec les progrès technologiques réalisés, le yaourt apparaît comme un produit laitier très digeste qui possède une grande valeur nutritionnelle et qui est apprécié pour son goût et sa texture. C'est un produit, consommé la plupart du temps comme dessert, très prisé de part le monde, car il convient à toutes les tranches d'âge et même chez les sujets intolérants au lait.

L'industrie laitière algérienne se distingue par un marché à potentiel de croissance élevé. La demande sans cesse grandissante en lait et produits dérivés (fromages, yaourt, beurre, glaces...) se justifie par la forte démographie, l'urbanisation et l'amélioration du pouvoir d'achat de la population.

Si les tonnages réalisés notamment au niveau de la transformation du lait sont importants, à titre d'exemple la consommation annuelle de l'algérien moyen en yaourt oscille entre 5 et 6 kg/an contre 10 kg/an au Maroc et en Tunisie, qu'en est-il de la qualité des produits fabriqués ?

Cette notion est malheureusement difficile à appréhender du faite de la variabilité de la matière première et des procédés de fabrication mis en œuvre. En effet, le déficit en lait cru de notre pays (environ 60% des besoins annuels qui se chiffrent à 3 milliard de litres/an) fait qu'on ait recours chaque année à l'importation de poudre de lait, de matière grasse anhydre et d'ingrédients de fabrication.

Très souvent dans bon nombre de fabrications, le lait frais collecté est additionné de lait recombiné à différents taux, ce qui pose de sérieux problèmes d'homogénéisation et de maîtrise du produit final, d'autant que très peu d'études ont été menées au niveau recherche pour voir comment cette nouvelle matière première pourrait évoluer dans les différentes fabrications (fromages, yaourt...). Les répercussions de ces paramètres fluctuants sur la qualité hygiénique, physico-chimique, nutritionnelle et organoleptiques du produit fini ont fait l'objet de nombreux travaux de part le monde qui ont montré la relation très étroite qui existe entre la nature de la matière première ainsi que les procédés technologiques utilisés sur l'obtention d'un produit élaboré répondant aux normes requises et exigences de plus en aiguisées du consommateur.

C'est dans cette problématique générale que s'insère l'objet de cette présente contribution. Elle se propose d'apporter des solutions au problème concret rencontré à la Laiterie SOUMMAM d'Akbou, qui constitue une entreprise privée leader en Algérie dans la fabrication des yaourts puisqu'elle détient 42% des parts du marché.

Pour cela, nous avons évalué dans un premier temps la qualité du lait collecté par la laiterie, à travers quatre centres de collecte, afin de mieux situer son apport dans les fabrications futurs de yaourt à base exclusivement de lait frais.

Dans un second temps et, afin d'améliorer les propriétés rhéologiques du yaourt fabriqué à l'unité Soummam, nous nous sommes proposés d'explorer l'impact de l'enrichissement du lait avec des concentrés de protéines laitières (concentrés de protéines sérique et caséine présure) sur la qualité organoleptique du produit final obtenu.

Enfin et en s'appuyant sur des techniques appropriées, nous avons essayé de voir quel est l'impact du traitement de pasteurisation tel qu'il est pratiqué à l'unité sur les protéines sériques du lait.

Synthèse
Bibliographique

I. Synthèse bibliographique

1.1. Présentation du yaourt

1.1.1. Définition

D'après le *Codex Alimentarius*, le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (*Lb. Bulgaricus*) et de *Streptococcus salivarius*, sous-espèce *thermophilus* (*St. Thermophilus*) à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire ...etc.). Les micro-organismes du produit final doivent être viables et abondants.

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vente. Certains pays néanmoins admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contienne plus de bactéries vivantes. Cette pratique n'est toutefois pas recommandable, car elle modifie les propriétés du yaourt (ANONYME, 1995).

1.1.2. Historique

Originaire d'Asie, le mot yaourt (yoghourt ou yogourt) vient de « yoghurmark », mot turc signifiant « épaissir » (TAMIME et DEETH, 1980).

Dans le sillage des découvertes de Louis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux chercheurs s'intéressent aux micro-organismes présents dans le lait. En 1902, RIS et KHOURY, deux médecins français, isolent les bactéries présentes dans un lait fermenté égyptien. METCHNIKOFF (1845-1916) isole ensuite la bactérie spécifique du yaourt « le bacille bulgare », analyse l'action acidifiante du lait caillé et suggère une méthode de production sûre et régulière (ROUSSEAU, 2005).

De nombreux autres produits sont arrivés par la suite sur le marché : laits fermentés probiotiques, laits fermentés de longue conservation (pasteurisés, UHT, lyophilisés ou séchés) et produits «plaisirs » (à boire, pétillants ou glacés).

Traditionnellement, c'est le yaourt dit « nature » et ferme qui constituait l'essentiel des productions de laits fermentés. Dans les années 1960-1970, sont apparus les produits sucrés puis aromatisés et aux fruits. Actuellement, ils sont majoritaires sur le marché.

L'apparition du yaourt brassé a constitué une autre étape importante de la commercialisation des laits fermentés. En outre, le développement commercial des produits probiotiques est important et correspond à une demande du consommateur (BRULE, 2003).

1.2. Matières utilisées pour la production du yaourt

1.2.1. Lait frais

Le lait est un produit de forte valeur nutritionnelle. C'est l'un des rares aliments à contenir une teneur équilibrée en nutriments de base (glucides, lipides et protides). C'est aussi l'un des rares à convenir à toutes les tranches d'âge (nourrissons, enfants, adolescents, adultes, personnes âgées) qui le consomment tel quel à l'état liquide (lait frais) ou sous forme de produits dérivés (fromages, yaourts, crèmes glacées... etc). Avec une valeur énergétique de l'ordre de 700Kcal/l, le lait de plusieurs espèces animales constitue une source importante et relativement bon marché d'apport quotidien en acides aminés et acides gras essentiels ainsi qu'en calcium alimentaire. Le lait est aussi riche en d'autres sels minéraux (notamment phosphore et magnésium) et en vitamines du groupe B (B1, B2, B5 et B12) et en vitamine A.

Pour répondre à ces besoins, le lait bovin est le plus utilisé dans le monde et dans notre pays. Les espèces voisines (ovin, caprin, camelin) représentent un pourcentage de production relativement faibles, n'excédant pas 10%.

1.2.1.1. Problématique du lait en Algérie

Considéré à juste titre comme un produit de base dans le modèle de consommation algérien, le lait occupe une place importante dans la ration alimentaire de la population. Les besoins sont estimés à 3,2 milliard de litres et une consommation moyenne de l'ordre de 100 à 110 l/habitant/an. La production nationale, estimée à 1.6 milliard de litres par an, ne couvre que 40 % des besoins (YAKHLEF *et al*, 2010). Le reste est importé sous forme de poudre de lait et de matière grasse laitière anhydre (MGLA) auxquels il faut rajouter d'autres ingrédients de fabrication (levains, enzymes coagulantes, arômes... etc).

Ce déficit fait en sorte que les structures des unités de transformation étatiques et privées fonctionnent en majeure partie grâce au traitement du lait recombinaé à partir de poudre de lait et de MGLA importées. Néanmoins, ces dernières années des tonnages sans cesse croissants en lait collecté à travers plusieurs fermes d'élevages nationales sont utilisés tels quels ou mélangés au lait recombinaé (à différentes proportions) dans les fromageries et yaourteries.

En dehors du souci de combler le déficit et répondre aux besoins de la population algérienne, le lait frais de collecte est de nature à améliorer sensiblement la qualité organoleptiques des produits fabriqués, étant entendu que la multiplication des traitements technologiques opérés généralement pour l'obtention de la poudre, pour sa reconstitution et pour la stabilisation de son état physico-chimique et hygiénique engendrent inéluctablement des effets néfastes sur la qualité finale du produit obtenu.

Comme ce dernier volet est intimement lié à l'objet de cette présente étude, nous donnerons ci-après quelques caractéristiques sur la poudre de lait et ses implications sur la qualité des produits.

1.2.1.2. La poudre de lait

Constitué essentiellement de matière sèche du lait et d'une très faible quantité d'eau (de 2 à 5%), la poudre de lait a l'avantage de pouvoir se stocker et se transporter aisément pour être utilisée via la recombinaison comme matière première pour la production de fromages, de laits fermentés, de crèmes glacées ...etc.

Les poudres commercialisées sont en réalité de trois types, classées selon l'intensité du traitement de déshydratation (et le degré de dénaturation qu'il génère) opéré : poudre « low heat », medium heat et « high – heat ». Le degré de dénaturation est exprimé par l'indice d'azote protéique (IAP ou WPNI en anglais) en milligrammes de protéines sériques non dénaturées (psnd) par gramme de poudre considérée.

Les poudres ayant été préparées avec un traitement thermique bas (low heat, WPNI égal ou supérieur à 6) contiennent une faible quantité de protéines dénaturées et sont utilisées dans des produits où les propriétés de solubilité, de gélification et d'émulsion sont recherchées. Il s'agit des poudres de meilleure qualité convenant aussi bien à la préparation du lait de consommation que celui destiné à la fromagerie ainsi qu'à la fortification du yaourt (NOZINCK, 1982 ; MODLER, 1985).

Les poudres type « médium heat » (WPNI compris entre 1,5 et 5,9) possèdent une bonne capacité d'hydratation et d'activité de surface. Elles sont utilisées notamment dans les fabrications de crèmes glacées, desserts congelées...etc.

Enfin, les poudres « high – heat » (WPNI inférieur à 1,5) sont hautement dénaturées et peu solubles. Ce type de poudre trouve une utilisation dans les produits structurés (boulangerie, biscuiterie, et confiserie) (MODLER, 1985 ; CAMPBELL et PAVLASEK, 1987).

En plus de l'intensité du traitement thermique suivi, il y a lieu de signaler que la qualité de la poudre du lait peut varier aussi selon le type de séchage subi qui peut être fait sur cylindres (procédé Hatmaker) ou par atomisation. Le chauffage brutal qui se produit dans le premier cas entraîne des modifications de la structure physico-chimique du produit conduisant à une faible solubilité et générant un goût de cuit et des réactions de brunissement. Il est admis que la poudre préparée par atomisation (procédé Spray) présente de meilleures caractéristiques et aptitudes technologiques (ANONYME, 1995).

1.2.2. Les bactéries caractéristiques du yaourt

1.2.2.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

1.2.2.1.1. *Streptococcus thermophilus*

St. thermophilus est un cocci Gram positif, anaérobie facultative, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages (DELLAGLIO *et al*, 1993 ; ROUSSEL *et al*, 1994). C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques. Elle est aussi résistante au chauffage à 60°C pendant 30 minutes (DELLAGLIO *et al*, 1994). Elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C. Son métabolisme est du type homofermentaire (LAMOUREUX, 2000).

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

1.2.2.1.2. *Lactobacillus bulgaricus* :

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

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

Ces deux bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène. Ceci peut être probablement relié au peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) qui est produit dans les cellules en présence d'air. Le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme, la catalase, dont les bactéries lactiques sont déficientes. Ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase. Comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites microaérophiles (DOLEYRES, 2003).

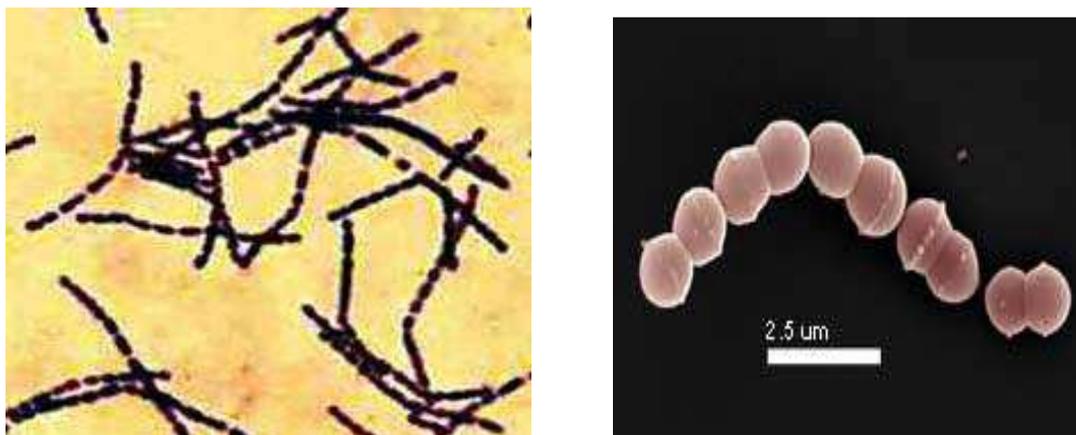


Figure 1 : Les bactéries lactiques du yaourt

1.2.2.2. Intérêt et fonctions des bactéries du yaourt

1.2.2.2.1. Production d'acide lactique :

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

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

L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit :

- il aide à déstabiliser les micelles de caséines, ce qui conduit à la formation du gel ;
- il donne au yaourt son goût distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt (TAMIME et ROBINSON, 1999 ; SINGH *et al*, 2006) ;
- intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables (LEORY *et al*, 2002).

1.2.2.2.2. Activité protéolytique :

Pour satisfaire leurs besoins en acides aminés, les bactéries du yaourt doivent dégrader la fraction protéique du lait constituée de caséine et de protéines sériques, leur système protéolytique est constitué de deux types d'enzymes distinctes : les protéases et les peptidases. *Lb. bulgaricus* possède des protéases localisées, pour l'essentiel, au niveau de la paroi cellulaire. Cette activité protéasique permet d'hydrolyser la caséine en polypeptide.

St. Thermophilus est considérée comme ayant une faible activité endopeptidasique. Elle dégrade les polypeptides par son activité exopeptidasique en acides aminés libres.

1.2.2.2.3. Activité aromatique :

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui intervient dans la formation de ces composés dans une fermentation de type hétérofermentaire. Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt son goût acidulé. L'acétaldéhyde, qui provient en grande partie de la thréonine, joue un rôle essentiel dans ces caractéristiques organoleptiques recherchées. La concentration optimale de ce métabolite est estimée à environ 10 ppm. Sa production, due principalement au lactobacille, est augmentée lorsque ce dernier est en association avec le streptocoque qui en élabore de faibles quantités.

L'acétaldéhyde peut provenir :

- du pyruvate, soit par action de la pyruvate décarboxylase ou par action de la pyruvate déshydrogénase (appelée aussi pyruvate formate lyase) ;
- de la Thréonine par l'action de la Thréonine aldolase.

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat qui est dû à la transformation de l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétoïne, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur. Ceci résulte d'un choix avisé des souches, de leur capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication (ANONYME, 1995).

Notons que la saveur caractéristique du yaourt, due à la production du diacétyl et de l'acétaldéhyde et qui est recherchée dans les produits type «nature», est en partie masquée dans les yaourts aromatisés.

1.2.2.2.4. Activité texturante

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des polysaccharides qui, en formant des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

L'augmentation de la viscosité du yaourt est en général attribuée à la production d'exopolysaccharide (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composé de rhamnose, arabinose, et mannose (SCHMIDT *et al*, 1994).

Il est couramment admis que la production des EPS est le résultat de l'action exercée par *St. thermophilus*. Mais d'après TAMIME (1999), *Lb. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose à des rapports de 4/1/1.

1.2.2.3. Comportement associatif des deux souches

St. thermophilus et *Lb. Bulgaricus* se développent en association (appelée protocoopération) dans des cultures mixtes (figure 2) ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel.

Ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique du produit. En parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptiques du yaourt. D'un point de vue nutritionnel, l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait, améliorant ainsi leur biodisponibilité (COURTIN *et al*, 2002 ; NGOUNOU *et al*, 2003).

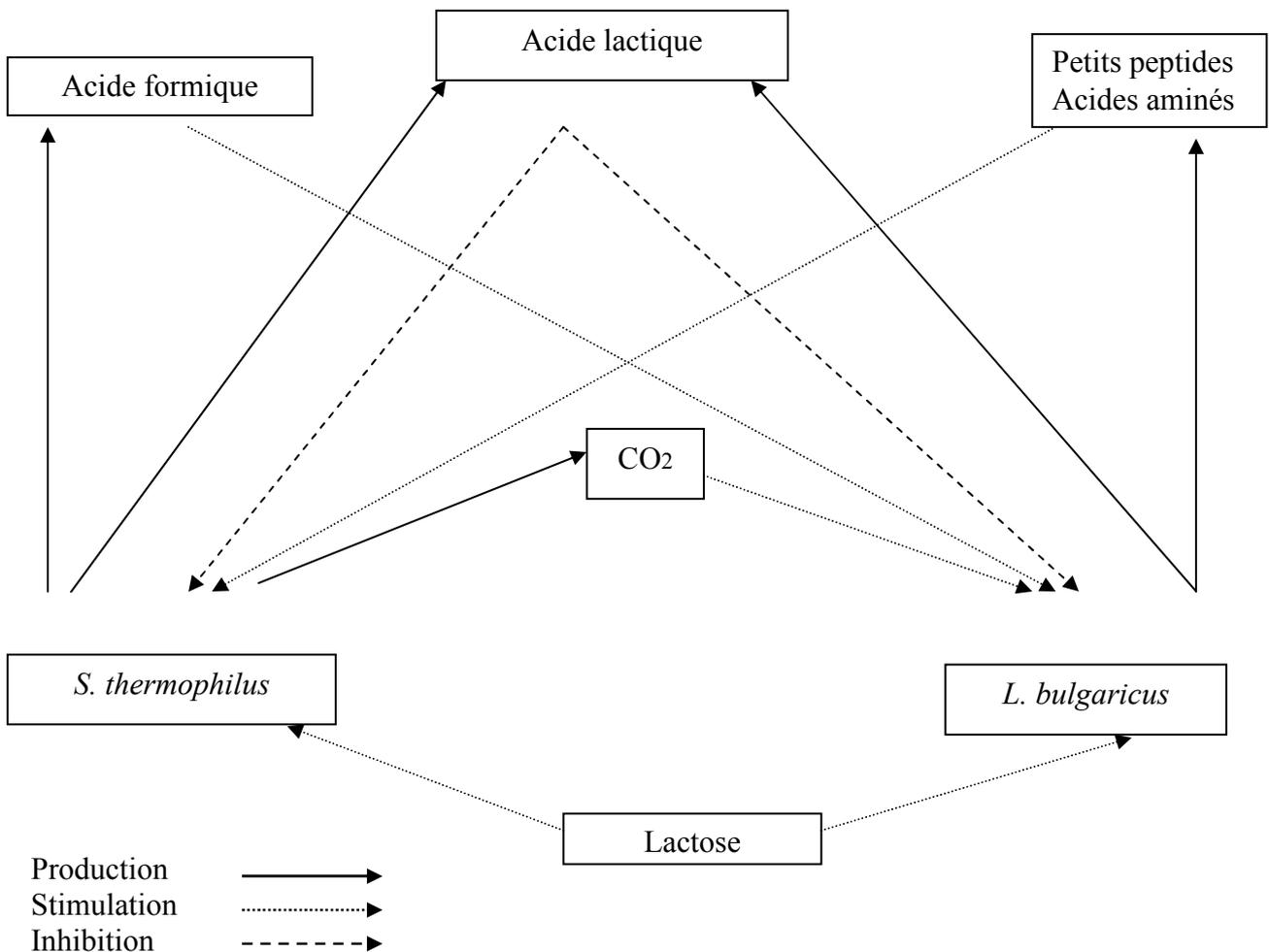


Figure 2: Schéma illustrant les interactions de *Sreptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en culture mixte dans le lait (MAHAUT *et al*, 2000).

1.3. Les différents types du yaourt

En technologie, trois types de yaourts, différents selon la consistance ou non du gel formé peuvent être fabriqués : yaourts liquides (ou à boire), brassés ou fermes.

Le yaourt « à boire » ou liquide est battu après avoir été brassé puis conditionné et stocké au froid. Le yaourt « brassé » est préparé en vrac. Le caillé subit un brassage puis un refroidissement avant d'être conditionné en pots qui seront stockés au froid. Le yaourt « ferme » est conditionné en pots après mélange des ingrédients, passage à l'étuvage à 45°C puis en chambre froide pour arrêter l'acidification.

1.4. Technologie du yaourt

La fabrication du yaourt, même si elle est connue depuis des temps très lointains, demeure un procédé assez complexe et en perpétuelle évolution car, il intègre à chaque fois les connaissances et les progrès réalisés dans des domaines variés tels : la biologie moléculaire et cellulaire, la chimie, la biophysique...etc.

Les étapes de fabrication (résumées sur la figure 3) peuvent différer selon qu'on a affaire à un yaourt « étuvé » dont la fermentation se fait après conditionnement en pots et le yaourt « brassé », dont la fermentation se fait en cuve. Le coagulum obtenu dans ce dernier cas est dilacéré et brassé pour être rendu plus ou moins visqueux, puis conditionné en pots.

Globalement, nous distinguons dans le processus d'élaboration les étapes énumérées ci-dessous.

1.4.1. Standardisation du mélange

La matière première utilisée (lait frais, lait recombinaé, mélange des deux) doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée.

La teneur en matière grasse du yaourt est variable. Généralement, elle est ajustée de sorte que le produit entre dans l'une des catégories ci-après :

- yaourt entier : au minimum 3 % (en poids) de matière grasse ;
- yaourt partiellement écrémé : moins de 3 % de matière grasse ;
- yaourt écrémé : au maximum 0,5% de matière grasse.

L'homogénéisation (à des pressions de 250 atmosphères) réduit le diamètre des globules gras et permet ainsi une meilleure dispersion de celle-ci dans le produit, limite sa remontée au cours de l'incubation et donnent une consistance plus uniforme au yaourt fabriqué (LITIM, 1984).

La consistance et la viscosité du yaourt sont pour une grande partie sous la dépendance de la matière sèche du lait. La matière grasse confère de l'onctuosité, masque l'acidité et

améliore la saveur. Les protéines améliorent la texture et masquent aussi l'acidité. Selon le Code des recommandations FAO/OMS (1975), la teneur minimale en matière sèche laitière non grasse doit être de 8,2 % (en poids) quelle que soit la teneur en matière grasse.

1.4.2. Traitement thermique

La préparation du lait terminée, celui-ci est soumis alors à un traitement thermique de pasteurisation (94 à 96°C pendant 3 à 5 minutes). Ce traitement a pour but de :

- détruire les micro-organismes pathogènes pouvant être présents et la plus grande partie de la flore banale. Il permet aussi la suppression éventuelle d'inhibiteurs naturels et la stimulation des bactéries par l'apparition de facteurs de croissance ;
- provoquer un déplissement par dénaturation partielle des protéines solubles et leur fixation sur les caséines. Cet effet a pour conséquence d'augmenter les capacités de rétention d'eau du yaourt entraînant la modification des propriétés rhéologiques du coagulum acidifié. Le caillé devient plus ferme et la tendance à l'expulsion de sérum au cours du stockage est réduite. Avec ce traitement, le yaourt brassé présente une structure plus homogène et visqueuse (ANONYME, 1995).

Immédiatement après le traitement thermique, le lait reconstitué est refroidi à une température de 6°C puis stocké dans des tanks pour être, par la suite ensemencé.

1.4.3. Ensemencement

Elle se fait à l'aide d'un levain comprenant exclusivement chacune des deux bactéries spécifiques du yaourt : *Streptococcus salivarius*, subsp. *Thermophilus*, et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. La culture utilisée est ensemencée à raison de 2%. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait/ferment.

1.4.4. Réchauffage

Le lait reconstitué ainsi ensemencé est amené à une température généralement voisine de 45 °C par passage à travers des réchauffeurs à plaques. La température optimale de développement du *Streptocoque* est de 42- 45°C ; celle du *Lactobacille* de 47-50°C.

Selon les régions, les consommateurs préfèrent des yaourts plus ou moins acides et plus ou moins aromatiques. Les caractères recherchés dépendent des souches utilisées et de la température d'incubation. En abaissant celle-ci de 1 à 3°C (42-44°C), on favorise le développement du streptocoque et donc la production d'arôme. En l'augmentant légèrement (45-46 °C), on favorise le lactobacille et donc la production d'acide.

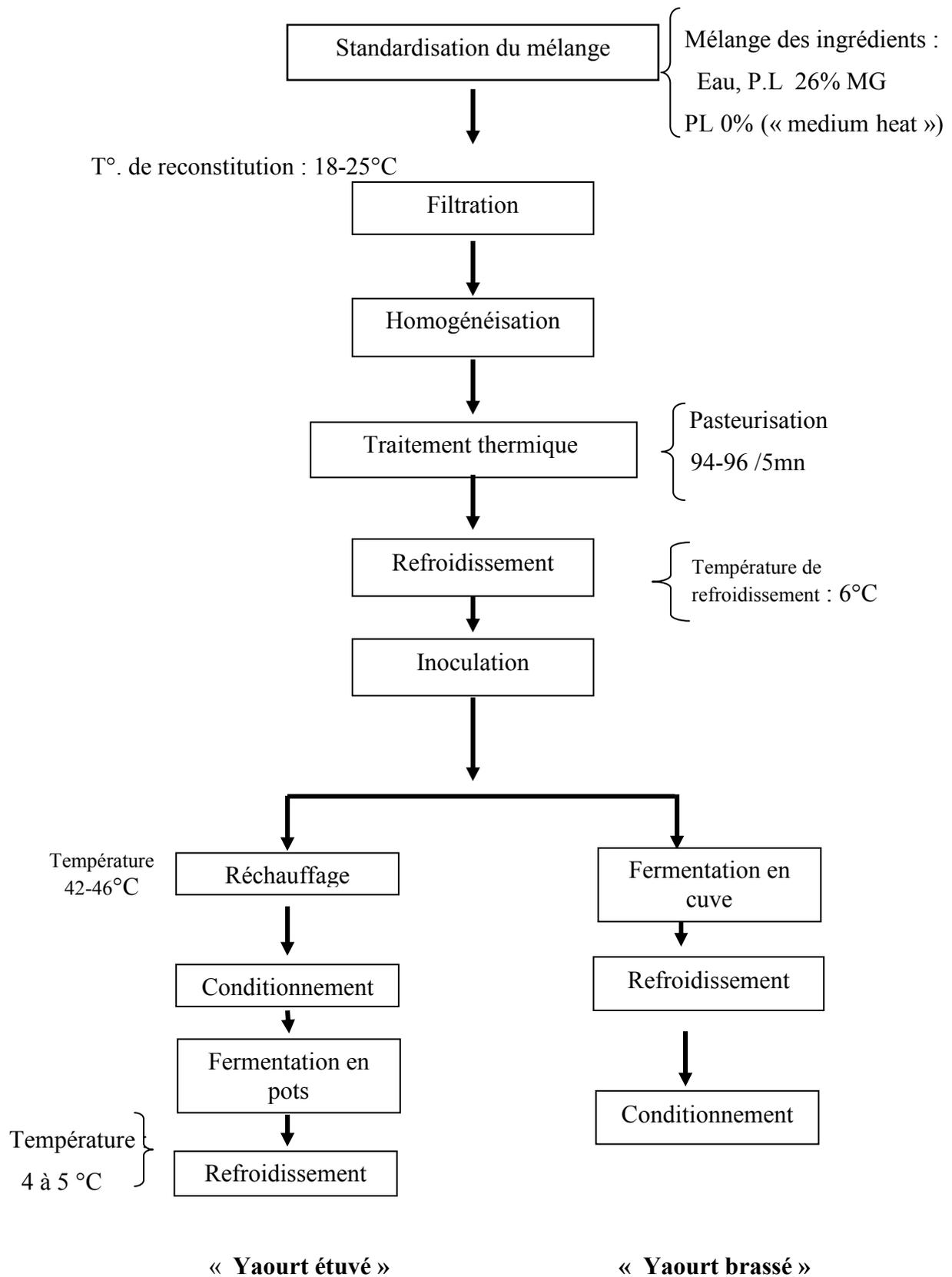


Figure 3 : Diagramme des principales étapes de fabrication du yaourt.

PL : poudre de lait ; MG : matière grasse

1.4.5 Etuvage / brassage

Selon la nature du yaourt à fabriquer, on procède soit à une incubation au niveau des chambres chaudes (dans le cas du yaourt ferme) ou à une fermentation

1.4.5.1 Phase d'incubation (étuvage)

Dans le cas des yaourts étuvés (dit aussi en pot, fermes ou traditionnels), le laitensemencé est rapidement réparti en pots en plastique (poly-vinyl). Dans le cas des yaourts sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture.... etc, l'apport des additifs se fait avant le remplissage des pots.

Après le capsulage (fermeture étanche par une membrane en aluminium), les pots sont acheminés vers une chambre chaude pour incubation qui dure environ de 2 à 3 heures. L'acidification dépend de la température et de la durée d'incubation. Les pots sont maintenus dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une acidité de 0,75 (au minimum) à 1% environ d'acide lactique, soit 75 à 100° Dornic. Le caillé obtenu dans ces conditions doit être ferme, lisse et sans exsudation de sérum.

Une fois l'acidité attendue est atteinte, les pots de yaourts sont alors immédiatement sortis des locaux d'étuvage, refroidis le plus rapidement possible à la température de +4°C, ce qui a pour but d'arrêter l'acidification par inhibition des bactéries lactiques. Les pots sont ensuite stockés à cette température pendant 12 à 24 heures de façon à augmenter la consistance du produit sous l'effet du froid.

1.4.5.2. Brassage

En vue de fabriquer des yaourts brassés, le laitensemencé est maintenu en cuve à la même température que dans le cas des pots (entre 42 et 46 °C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue. On procède par la suite au découpage et au brassage du caillé pour le rendre onctueux. Ce traitement, qui doit se faire avec précaution pour ne pas induire des transformations indésirables, a pour but de rendre le caillé onctueux. Il doit être réalisé avec précaution en optant par l'un des procédés suivants :

- agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice ;
- passage du gel à travers un tamis ;
- homogénéisation à basse pression.

Une fois ce traitement opéré, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10 °C. La réfrigération dans le tank se fait trop lentement et peut provoquer une suracidification. C'est pour cette raison qu'elle doit être réalisée par passage dans un échangeur-réfrigérant à plaques ou tubulaire. Le brassage du caillé au cours de la réfrigération améliore l'onctuosité du produit.

Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conservé entre 2 à 4°C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots.

Notons que le yaourt à boire se différencie du brassé par son état liquide qui l'assimile à une boisson. Sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage, effectué par passage à l'homogénéisateur sous pression inférieure à 50 atmosphères, donne une viscosité inférieure d'environ 50 % à celle obtenue par brassage mécanique.

1.4.6. Conservation des yaourts

Préparés selon une technologie rigoureuse et dans des conditions hygiéniques strictes, ces produits peuvent se conservés environ 3 semaines jusqu'à la vente au consommateur sous réserve d'être maintenus au froid (entre 4 et 8°C).

Si le maintien des yaourts au froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement leur activité métabolique. Bien que lente, la production d'acide lactique se poursuit. De plus, des enzymes hydrolysent les protéines avec, comme conséquences, une diminution de la fermeté et de la viscosité et l'apparition de peptides à goût amer. Pour ces raisons, on procède parfois, quand la réglementation le permet, à un traitement thermique après la fermentation.

1.5. Qualités du yaourt

1.5.1. Aspects physico-chimiques

Le yaourt doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- couleur franche et uniforme ;
- goût franc et parfum caractéristique ;
- texture homogène (pour le yaourt brassé) et ferme (yaourt étuvé).

1.5.2. Aspects hygiéniques

Selon la norme nationale de 1998, N°35 parue au Journal Officiel, les yaourts ne doivent contenir aucun germe pathogène.

Le traitement thermique appliqué sur le lait avant fabrication du yaourt est suffisant pour détruire les micro-organismes non sporulés pathogènes ou non. Leur présence dans le yaourt ne peut être que de manière accidentelle. Le pH acide du yaourt le rend hostile aux germes pathogènes, comme pour la plupart des autres germes indésirables.

Les levures et les moisissures peuvent se développer dans le yaourt. Ces dernières proviennent principalement de l'air ambiant dont la contamination se situe au stade du conditionnement (LARPENT et BOURGEOIS, 1989).

1.5.3. Défauts et altérations du produit

Comme l'élaboration du yaourt fait intervenir plusieurs étapes clés où la fermentation et la formation du gel doivent être minutieusement dirigées et surveillées, il est fréquent que des altérations de goût, d'apparence et de texture (résumés dans le tableau I) apparaissent et dont certaines sont préjudiciables à la qualité finale du produit (LUQUET, 1985).

Tableau I : principaux défauts de goût (A), de texture (B) et d'apparence (C) rencontrés dans la fabrication des yaourts

(A)

| Nature | Causes |
|------------------------------------|--|
| Amertume | Trop longue conservation ; Activité protéolytique trop forte des ferments ; Contamination par des germes protéolytiques. |
| Goût levuré, fruité, alcool | Contamination par des moisissures ; Fruits de mauvaises qualités pour les yaourts aux fruits. |
| Goût plat, absence d'arôme | Mauvaise activité des levains (déséquilibre de la flore, incubation trop courte ou à trop basse température), teneur en matière sèche trop faible. |
| Manque d'acidité | Mauvaise activité des levains (taux d'ensemencement trop faible, incubation trop courte ou a basse température, inhibiteurs dans le lait, bactériophages). |
| Trop d'acidité | Mauvaise conduite de la fermentation (taux d'ensemencement trop fort, incubation trop longue ou a température trop élevée ; Refroidissement pas assez poussé, trop lent ; Conservation a trop haute température. |
| Rancidité | Contamination par les germes lipolytiques et traitement thermique trop faible. |
| Goût farineux, de poudre | Poudrage trop poussé. |
| Goût oxydé | Mauvaise protection contre la lumière (pots en verre surtout) ; Présence de métaux (fer, cuivre) |
| Goût de cuit | Traitement thermique trop sévère. |
| Goût aigre | Mauvaise conduite des levains (contamination par une flore lactique sauvage – coliformes). |
| Goût gras | Teneur en matière grasse trop élevée. |

(B)

| Nature | Causes |
|--|---|
| Déculottage | Agitation ou vibration pendant le transport faisant suite à un refroidissement mal conduit en chambre froide (pour le yaourt ferme). |
| Manque de fermeté (pour yaourt étuvé) | Ensemencement trop faible ; Mauvaise incubation (temps et ou température trop faible) ; Agitation avant complète coagulation ; Matière sèche trop faible. |
| Trop liquide (pour le yaourt brassé) | Brassage trop violent ; Mauvaise incubation (temps trop faible) ; Matière sèche trop faible ; Mauvais ferments (pas assez épaississants) ; Fruits ou arômes pas assez concentrés. |
| Trop filant | Mauvais ferment (trop filant) ; Température d'incubation trop faible. |
| Texture sableuse | Chauffage du lait trop important ; Homogénéisation à température trop élevée ; Poudrage trop fort ; Mauvais brassage ; Acidification irrégulière et trop faible. |
| Texture granuleuse | Mauvais brassage ; Teneur en matière grasse trop élevée ; Mauvais choix des ferments. |

(C)

| Nature | Causes |
|---------------------------------|---|
| Décantation, synérèse | Suracidification ou post acidification (mauvaise conduite de la fermentation) ; Température trop élevée pendant le stockage ; Conservation trop longue ; Refroidissement trop faible ; Agitation trop poussée et admission exagérée d'air (pour le yaourt brassé) ; Mauvaise adjonction des fruits ou des pulpes de fruits ; Agitation des yaourts (yaourt ferme) ; Teneur en matière sèche trop faible. |
| Production de gaz | Contamination par des levures et des coliformes. |
| Colonies en surface | Contamination par des levures et moisissures. |
| Couche de crème | Mauvaise ou absence d'homogénéisation. |
| Produit sur le couvercle | Mauvaise manutention. |
| Produit non homogénéisé | Mauvaise agitation (dans le cas des yaourts aux fruits). |

1.5.4. Qualité organoleptique

1.5.4.1. Gélification acide

Les structures principales impliquées lors de la gélification acide du lait sont les micelles de caséines. Lors de la baisse du pH, due à la fermentation lactique, les micelles de caséines subissent des changements substantiels. Le déplacement de l'équilibre acido-basique entraîne une diminution progressive de la charge ionique des micelles qui devient nulle. En parallèle, une solubilisation du phosphate de calcium micellaire est observée, entraînant la dissolution de la structure micellaire. Le pH auquel commence la gélification du lait dépend de la température et des prétraitements thermiques (TAMIME et ROBINSON, 1985).

L'abaissement du pH par acidification entraîne une déminéralisation progressive des micelles de caséines. Celles-ci vont s'associer entre-elles par formation de liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques pour former un réseau protéique retenant la phase aqueuse. A un pH inférieur au point isoélectrique (pH=4,6), les micelles qui flocculent, précipitent, du fait de leur densité, et le réseau formé se stabilise et n'évolue pratiquement plus.

Les études réalisées sur la micro-structure du gel ainsi formé montrent que celle-ci dépend de plusieurs facteurs dont la concentration en matière sèche (SCHKODA *et al.*, 1998 ; VAN MARLE, 1998), la méthode d'enrichissement du lait (TAMIME *et al.*, 1984), le traitement thermique subi (KESSLER, 1998) et enfin, la nature des souches bactériennes utilisées et de leur capacité à synthétiser des polysaccharides exocellulaires (EPS) capables d'augmenter la viscosité du gel (HASSAN *et al.*, 1995).

Ainsi, les travaux de KESSLER (1998) montrent que les micelles de caséines issues d'un yaourt fabriqué à partir de lait chauffé forment des chaînettes bien liées entre elles, tandis qu'elles forment des agrégats dans un yaourt fabriqué à partir du lait non chauffé (figure 4). Cette différence est essentiellement due au comportement de la β -Lactoglobuline (protéine sérique majoritaire) qui a la propriété de former un complexe protéique avec la caséine kappa (DALGLEISH, 1990).

1.5.4.2. Comportement rhéologique

La transformation du lait en yaourt s'accompagne aussi d'un changement des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide à un gel à destruction non réversible. Les additifs et les étapes du procédé de fabrication jouent également un rôle sur ce comportement (PACIKORA, 2004).

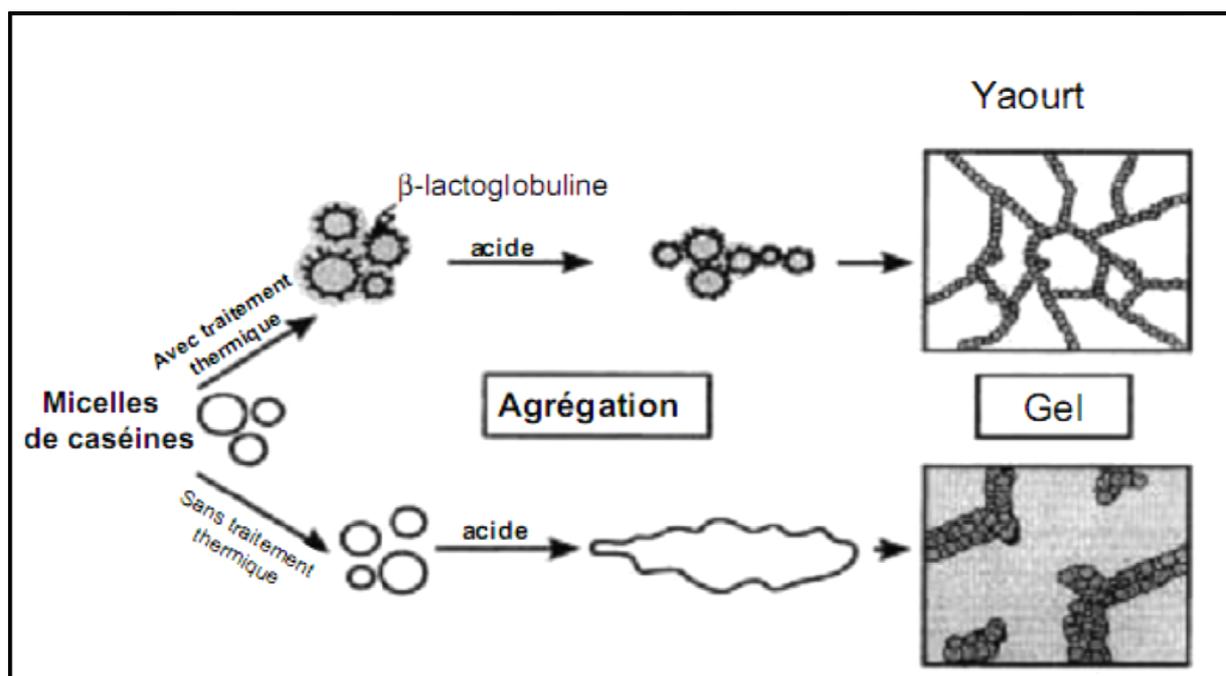


Figure 4: Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt
(KESSLER *et al.*, 1998)

La connaissance précise de ce comportement rhéologique est nécessaire pour la conception et le dimensionnement des installations de transformation. Elle permet également d’appréhender la texture des produits finis.

Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique. Il possède donc à la fois les propriétés visqueuse d’un liquide et les propriétés élastiques d’un solide. Le comportement rhéologique du yaourt est de type non newtonien, dans ce sens où la viscosité du produit dépend de la vitesse de cisaillement ou de la contrainte exercée.

La loi de Newton s’écrit : $\mu = \frac{\tau}{\gamma} = \text{constante}$

où μ = viscosité (Pa.s), τ = contrainte de cisaillement (Pa), γ = vitesse de cisaillement (s^{-1}).

Dans le cas des yaourts, la viscosité diminue quand la vitesse de cisaillement augmente. On parle dans ce cas de viscosité apparente à une vitesse de cisaillement donnée.

Différents appareils de laboratoire sont utilisés pour caractériser les propriétés rhéologiques, à savoir le viscosimètre Brookfield, le rhéomètre rotatif, les pénétromètres, ou encore l’entonnoir de Posthumus.

Généralement, les viscosimètres permettent de mesurer uniquement les propriétés visqueuses (viscosité apparente), tandis que les rhéomètres mesurent les propriétés visco-

élastiques. En fonction de la géométrie du module de mesure, des contraintes ou des vitesses de cisaillement appliquées, les analyses réalisées déstructurent plus au moins le gel lactique.

1.5.4.3. Propriétés et analyses sensorielles

1.5.4.3.1. Propriétés organoleptiques

L'analyse sensorielle constitue une approche indispensable à l'évaluation de la qualité organoleptique d'un produit alimentaire. Etroitement associée à la caractérisation des propriétés physico-chimiques, elle peut être un outil d'aide à la maîtrise de la qualité et la formulation des produits transformés.

La qualité organoleptique des aliments regroupe les propriétés d'un produit perceptibles par les organes des sens (norme ISO 5492,1992). Nous développerons ci-après seulement les aspects liés aux sensations en bouche perçues par le panel entraîné lors de la consommation du produit à savoir : l'odeur, le goût et la texture.

L'odeur et l'arôme sont perceptibles par l'organe olfactif. Pour l'arôme « yaourt », l'acétaldéhyde est considéré comme le principal composé d'arôme, mais la 2, 3 pentanedione, le dimethylsulfure, le limonène et l'undecanal ont également un impact (IMHOF *et al.*, 1994). Par ailleurs, de nombreuses notes aromatiques supplémentaires peuvent être apportées au yaourt par ajout de composés d'arôme et de préparation de fruits.

La saveur correspond à la sensation perçue par l'organe gustatif lorsqu'il est stimulé par certaines substances solubles. Le yaourt est caractérisé par une saveur acide due à la présence d'acide lactique. D'autres saveurs, mais moins intenses, sont les saveurs sucrée et amère. La saveur sucrée est due à la présence du lactose non hydrolysé et du galactose produit au cours de la fermentation. Elle peut être renforcée par l'ajout du saccharose. La saveur amère, considérée indésirable, est due aux peptides amères produits par certains ferments ou à une contamination par des germes protéolytiques (BILIADERIS *et al.*, 1992 ; WEBER, 1994).

La texture est définie comme l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit, perceptibles par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles, et éventuellement les récepteurs visuels et auditifs.

Les propriétés mécaniques sont celles liées à la réaction du produit à une contrainte. Elles sont subdivisées en cinq caractéristiques primaires : dureté, cohésion, viscosité, élasticité et adhérence.

Les propriétés géométriques sont celles liées aux dimensions, à la forme et à l'arrangement des particules dans un produit.

Les propriétés de surface sont celles liées aux sensations telles que celles produits par l'eau et la matière grasse.

Enfin, la texture en bouche des yaourts est caractérisée le plus fréquemment par le caractère épais, nappant et « mouthfeel » qui est une sensation relative à la densité et la viscosité. Elle est faible pour les produits liquides et importante pour les produits qui replissent et restent en bouche.

1.5.4.3.2. Analyse descriptive quantitative

L'analyse sensorielle met en œuvre le sujet comme « instrument de mesure ». Son but est de décrire la nature des perceptions et de quantifier leur intensité, de manière à donner une carte d'identité du produit précise, reproductible et compréhensible par tous.

BARTHELEMY (1998) définit l'analyse descriptive comme : « la recherche d'un nombre minimum de descripteurs qui permettront de donner le maximum d'informations sur les propriétés sensorielles du produit à analyser ; la mesure de l'intensité de la sensation perçue pour chacun des descripteurs choisis ; la construction du profil du produit à l'aide de l'ensemble des descripteurs quantifiés ».

L'application de cette méthode passe par les étapes clés de sélection du jury, de choix des descripteurs, de choix de l'échelle de notation, d'entraînement des sujets et le contrôle des performances, d'organisation des séances et la compilation des résultats.

1.5.4.3.2.1. Selection du jury

La littérature répertorie quatre critères sur lesquels doit porter la sélection (LESSCHAEVE, 1997) :

- Les aptitudes sensorielles : sensibilité normale, capacité discriminative, aptitude à décrire les sensations perçues, capacité à analyser des aliments complexe, aptitude à mémoriser et à reconnaître les arômes ;
- la personnalité du sujet, sa motivation à participer à l'étude ;
- l'état de sante du sujet, le suivi d'un régime alimentaire spécifique ou l'existence d'allergies particulières ;
- enfin la disponibilité du sujet

1.5.4.3.2.2. Choix des descripteurs

Les descripteurs doivent répondre aux critères de pertinence, précision, pouvoir discriminant, exhaustivité et éventuellement indépendance (MAC LEOD *et al.*, 1998). Le choix des descripteurs peut être effectué selon une des trois procédures suivantes : une liste préétablie est imposée aux sujets, la liste est élaborée par les sujets ou une combinaison des deux procédures précédentes.

1.5.4.3.2.3. L'échelle de notation

L'échelle de notation permet de quantifier l'intensité des perceptions. Les échelles d'intensité les plus souvent utilisées sont : ordinale (classement), d'intervalle, structurée en catégories numériques ou non structurées et de rapport. Les différentes expérimentations réalisées pour comparer plusieurs types d'échelle donnent des résultats contradictoires. Elles ne permettent pas d'établir, de façon évidente, la supériorité d'une échelle sur une autre (MONTET, 2001).

1.5.4.3.2.4. L'entraînement des sujets et le contrôle des performances

Après avoir choisi les descripteurs et l'échelle de notation, les sujets sont entraînés à leur utilisation. L'entraînement consiste à homogénéiser la valeur sémantique des termes utilisés par le jury et à déterminer les protocoles de dégustation. Il est également utile d'élaborer un lexique définissant chacun des termes employés. Des références externes concrètes représentant le descripteur peuvent être fournies aux sujets afin de les aider à créer les concepts sensoriels associés (MURRAY *et al.*, 2001). Les références proposées au panel lors de la présente étude sont présentées dans la partie : Matériels et méthodes.

1.5.4.3.2.5. Organisation des séances :

Le principe de base qui régit l'environnement de toute mesure sensorielles est l'obtention de la part du sujet d'une réponse qui ne dépend que du stimulus et qui, par conséquent, ne soit pas biaisée par l'environnement (STRINGLER, 1998). Tous les facteurs extrinsèques au produit (température, quantité présentée, récipient,...) doivent être absolument constants.

Les échantillons sont codés avec des nombres à trois chiffres pris au hasard et sont présentés aléatoirement. Ils peuvent être présentés simultanément ou de façon monadique c'est-à-dire l'un après l'autre. Dans le premier cas, l'évaluation de chaque produit est relative aux autres produits évalués. Dans le deuxième cas, le sujet note dans l'absolu en faisant appel aux références construites lors de l'entraînement.

Dans le cas d'une évaluation monadique des produits, l'ordre de leur dégustation peut induire des artefacts dans le jugement des sujets dus à des effets de rang et de report (CALLIER, 2001). Par exemple, il a été constaté lors de nombreuses études que le produit évalué en premier a tendance à être surnoté par rapport aux produits évalués aux rangs suivants. L'effet de report provient du ou des produits précédant le produit évalué. Il apparaît donc très important d'équilibrer le plan de présentation des produits par rapport à ces effets. Différentes possibilités existent : ordre de présentation aléatoire, plan en carrés latins, etc... (MCFIE *et al.*, 1989).

1.6. Présentation de la Laiterie Soummam d'Akbou

1.6.1. Préambule

Ce présent travail est réalisé en grande partie à la Laiterie Soummam d'Akbou. Nous avons estimé nécessaire de présenter une fiche technique succincte sur cette unité afin de mieux cerner les attendus de ce travail et les essais expérimentaux réalisés.

1.6.2. Présentation de l'unité

De création relativement récente (janvier 1993), la Laiterie SOUMMAM d'Akbou est spécialisée dans la production de yaourts et crème dessert.

A son démarrage, la Laiterie comptait une seule ligne de production d'une capacité de 4 000 pots / heure et une vingtaine de salariés. En mai 2000, cette unité s'est implantée dans son nouveau site de Taharacht (Akbou, Wilaya de Bejaia) avec des capacités de production plus importantes qui atteignent aujourd'hui une moyenne de plus de 2,5 millions pots / jour et emploie pas moins de 900 personnes dont une forte proportion d'ingénieurs et de techniciens. Son capitale sociale est de 15 000 000.00 DA. L'Organigramme de l'entreprise est illustré à la figure 5.

L'entreprise possède une gamme de production variée de plus de 30 produits différents et 17 lignes de production composées d'équipements récents et une technologie appropriée.

L'unité livre ses produits à travers tout le territoire national, grâce à :

- une infrastructure de stockage sous froid de plus de 20 000 m³ répartie en 1 dépôt central et 4 dépôts régionaux (Oran, Alger, Constantine et Annaba) ;
- un réseau de distributeurs agréés répartis à travers la presque totalité des wilayates du pays.

La Laiterie SOUMMAM exporte depuis 2001 ses différents produits à la Libye et compte conquérir, dans les années à venir, d'autres marchés étrangers.

En outre, à partir de l'année 2010, La Laiterie SOUMMAM a entamé la création de sa propre pépinière de génisses pour satisfaire ses besoins en lait cru, dans l'optique de réduire sa dépendance vis à vis de la poudre de lait d'importation. L'unité a aussi mis en place 13 centres de collecte opérationnels pour faciliter l'acheminement du lait de l'éleveur à l'unité de transformation.

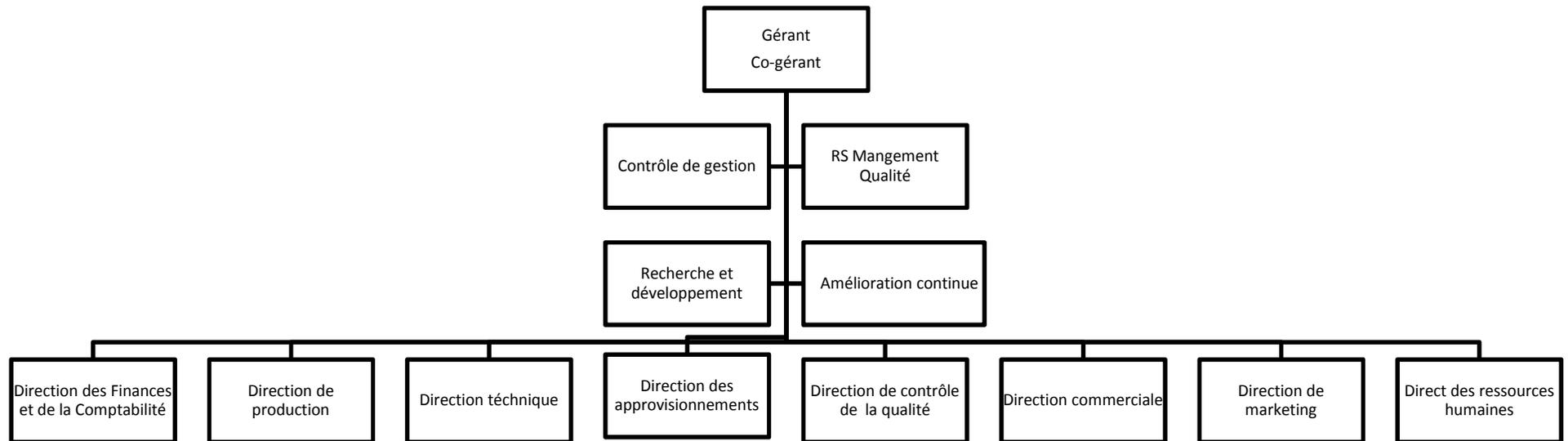


Figure 5 : Organigramme de la laiterie SOUMMAM d'Akbou.

Matériels & Méthodes

II. Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée en partie au niveau du Laboratoire de Recherche et Développement (LRD) ainsi qu'au Laboratoire d'Autocontrôle de la Laiterie SOUMMAM d'Akbou. Le deuxième volet de ce travail qui comporte des analyses électrophorétiques est réalisé au niveau du Laboratoire de recherche de Biochimie Analytique et Biotechnologies (LABAB), de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Ces essais ont nécessité le recours aux matériels et aux méthodes indiqués ci-après.

2.1. Matériel

2.1.1. Matière première

Les échantillons de poudre de lait utilisés proviennent de la société ARMOR (France). Il s'agit de la poudre de lait à 0 et 26% de matière grasse. Les concentrés de protéines sériques utilisés ont été fournis par la société DMV International (Netherlands). La caséine présure alimentaire utilisé lors des enrichissements provient de la société laitière de Mayenne (LACTALIS ingrédients, France).

Concernant la partie caractérisation électrophorétique, Les différents mélanges ou mix ont été préparés au niveau du LRD d'Akbou. Il s'agit des préparations de yaourt suivantes :

- lait de vache exclusivement ;
- lait frais enrichi avec 1% de concentrés de protéines sériques (WPC) ;
- lait frais standardisé à 7,69% de poudre de lait (26% de M.G.) ;
- lait frais standardisé à 7,69% et enrichi avec 1% de WPC.

Concernant la formulation des quatre mix préparée, le détail des calculs est présenté en annexe 1. Les concentrations finales sont de 4 % de protéine totale et 2% matière grasse. Les échantillons de lait sont conservés à 4°C et transportés dans une caisse isotherme au LABAB où ils sont ensuite traités.

2.1.2. Appareillage

2.1.2.1. Appareillage utilisé aux Laboratoires de la Laiterie SOUMMAM d'Akbou

- acidimètre ;
- appareil de mesure de la masse volumique ;
- appareil de minéralisation à 8 postes et matras de 250ml ;
- bain Marie (Mettler) ;
- balance analytique à affichage digital (précision : 0,01g) ;
- butyromètre de GERBER ;
- centrifugeuse de paillasse ;

- dessiccateur (Sartorius) ;
- dispositif d'aspiration et de neutralisation des vapeurs acides (dit scrubber) ;
- dispositif de titration (burette électronique, agitateur magnétique) ;
- distillateur Kjeltex 2100 ;
- étuve Memmert (Allemagne) ;
- mixeur ;
- pH mètre (730 WTW, série MOLAB)
- thermomix ;
- viscosimètre Brookfield.

2.1.2.2. Appareillage utilisé au laboratoire LABAB

- agitateurs basculants ;
- balance de précision à 0,01mg (SARTORIUS) et balances analytiques à affichage digital (0,01g) (Denver Instrument) ;
- centrifugeuse réfrigérée, max 28 000 x g (SIGMA) ;
- générateur de courant (max : 250 V et 100 mA) ;
- pH mètre (Hanna-instruments) ;
- plaques en verre (10 × 8 cm, 10 × 12 cm) et espaceurs d'épaisseurs variées (0,75 ; 1 ; 1,5 mm) ;
- spectrophotomètre UV-Visible (SCHIMADZU, Japon) ;
- unité d'électrophorèse sur mini-cuves verticales (Hoeffer SE 200 et SE 280, U.S.A) comprenant : couleur de gels, cuves d'électrophorèse (dimensions 10 × 8 cm et 10 × 12 cm) ;

Un certain nombre d'accessoires et petit matériel spécifique sont utilisés dans le cadre de cette étude tels : micropipettes, micro-seringue Hamilton, membranes de dialyse (seuil d'exclusion 8000 Da), gants et masques pour manipulation de l'acrylamide et autres produits dangereux, laine de verre, différents types de verreries (fiolle, béccher....).

2.1.3. Produits chimiques et réactifs

- Réactifs spécifiques pour l'électrophorèse (acrylamide, N, N'-méthylène-bis-acrylamide, bleu de bromophénol, bleu de Coomassie R250, glycine, persulfate d'ammonium, N, N, N', N' tétraméthyléthylène diamine (TEMED), réactif de Folin-Ciocalteu) ;
- sels et tampons (azide de sodium, hydroxyde de sodium, tartrate de sodium, thiomersal, trishydroxyméthylaminométhane (TRIS), alcool iso-amylique, sulfate de cuivre ...).
- solvants usuels (acide acétique, acide chlorhydrique, éthanol, glycérol, méthanol, acide borique (H₃BO₃), Hydroxyde de sodium...)

- sérum albumine bovine (BSA), (SIGMA ; USA) ;
- catalyseurs (comprimés kjeltabs : TEC 15270020).

2.2. Méthodes d'analyse

2.2.1. Analyses physico-chimiques de la matière première

2.2.1.1. Dosage du taux de protéine par la méthode de Kjeldahl

La méthode de Kjeldahl est appliquée pour déterminer la quantité de protéine. C'est la méthode de référence pour la détermination en azote contenu dans un produit. Elle s'effectue en trois étapes : la minéralisation (digestion), la distillation et le titrage.

La minéralisation vise à convertir la totalité de l'azote organique en ions ammonium (NH_4^+). Les molécules organiques mises en présence d'un bon rapport acide sulfurique concentré (H_2SO_4) / sulfate de potassium (K_2SO_4) catalysé par du sulfate de cuivre, sont décomposées par oxydation pour donner principalement du CO_2 et de l'eau. L'azote organique quant à lui est converti en sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

On ajoute un excès d'hydroxyde de sodium (NaOH) au digestat refroidi pour permettre la transformation de l'azote, sous forme de sulfate d'ammonium, en ammoniac (NH_3). Ce dernier est distillé dans un excédent d'acide borique et déterminé par titrage avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl). La procédure de dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl est détaillée en annexe 2.

Expression des résultats

Le taux d'azote pour la poudre de lait est obtenu comme suit :

$$\%N = (T-B) \cdot N \cdot 0,28014 \cdot 100/W$$

T : Volume titrant (ml) pour l'échantillon

B : Volume titrant (ml) pour le blanc.

N : normalité de l'acide titrant.

W : masse de l'échantillon en mg.

Conversion du taux d'azote en taux de protéines

Le taux de protéines est déterminé en multipliant le taux d'azote obtenu par le facteur 6,38. Notons que celui-ci est variable en fonction de type de l'échantillon considéré. Il est par exemple de 5.6 pour les grains de blé, 6.25 pour l'œuf et les viandes.

2.2.1.2. Mesure du pH

Le principe consiste à la mesure de la différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence réunies en un système d'électrodes combiné.

Le pH est déterminé directement en utilisant un pH-mètre électronique et ce après avoir

plongé l'électrode dans un bêcher contenant une suspension de poudre de lait à analyser (solution à 10% de poudre de lait dans de l'eau déminéralisée).

2.2.1.3. Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode acido-butyrométrique

La détermination est basée sur l'ajout de l'acide sulfurique qui dissout les protéines du lait. la séparation de la matière grasse des autres constituants est réalisée après centrifugation du butyromètre en présence d'alcool iso-amylique. Le mode opératoire est détaillé en annexe 3.

Lecture et expression des résultats

Tout en tenant le butyromètre verticalement, on examine le plan inférieur de la colonne. On l'amène en coïncidence avec une division à l'aide du bouchon et on effectue la lecture.

La teneur en matière grasse exprimée en pourcentage est donnée par la formule :

$N_1 - N_2$ = taux de matière grasse dans 100g de poudre de lait.

Où N_1 = valeur atteinte par le niveau supérieur de la colonne.

N_2 = valeur atteinte par le niveau inférieur de la colonne.

2.2.1.4. Détermination du taux d'humidité

La matière sèche est la fraction massique des substances restantes après la dessiccation complète de l'échantillon. Elle est exprimée en pourcentage ou g/l. Le mode opératoire est détaillé en annexe 4.

Le taux d'humidité est directement affiché en pourcentage par l'appareil. Selon les normes, le pourcentage de la teneur en eau ne doit pas dépasser 5% pour la poudre de lait.

2.2.1.5. Détermination de l'acidité

Cette méthode (voir annexe 5) permet le dosage de l'acidité d'une poudre de lait par titrimétrie avec la soude 0,1N. jusqu'à pH 8,4.

L'acidité titrable est égale à $2xV$.

V, étant le volume de solution d'hydroxyde de sodium utilisé pour le titrage.

2.2.1.6. Détermination de la masse volumique

Le principe est basé sur le tapotement de la prise d'essai dans une éprouvette, suivi de l'enregistrement du volume du produit et calcul de sa masse volumique. Le mode opératoire est détaillé en annexe 6.

La masse volumique est $= m/V_{625}$

V_{625} est le volume lu sur l'éprouvette après 625 tapotements.

2.2.2. Fabrication du yaourt étuvé nature

2.2.2.1. Préparation des matières premières

Les mix du yaourt ont été réalisés en reconstituant la poudre de lait (26% de MG) dans 2L d'eau de processus. Les yaourts nature ont été préparé en faisant varier le taux de protéines (2,7, 3 et 3,5%) et cela en modifiant la quantité de poudre de lait (0% de MG) incorporée.

En seconde partie, le mix, qui présente un taux de protéines de 2,7% (YN contrôle), a été enrichi avec des concentrés de protéines sériques (WPC) à différents taux : 1, 2 et 3% afin d'évaluer l'influence de ces protéines sur la qualité organoleptique et sur les propriétés physique du yaourt.

Afin d'explorer l'effet de l'ajout des caséines sur la qualité organoleptique du yaourt, le yaourt contrôle a été enrichi avec de la caséine présure à différents taux : 0,8, 1,6 et 2,4%.

Chaque mix a été préparé à raison de 2L dans des grand récipients en plastique. Ils sont ensuite entièrement homogénéisés avec un mixer. Puis transvasé dans le récipient du thermomix.

Le récipient en acier inoxydable en question est placé dans le thermomix qui est l'équivalent d'un pasteurisateur à l'échelle du laboratoire pour être chauffé à 95°C pendant 5 minutes.

2.2.2.2. Fermentation

Après pasteurisation, les mix de yaourt sont refroidis jusqu'à 45°C, température d'inoculation du ferment. L'ensemencement avec les souches *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* et de *St. thermophilus* a été effectué dans le lait à raison de 2%. Les laits inoculés sont versés à raison de 40g par pots en plastiques pour les essais de mesure de pH et d'acidité, 100g pour les pots de yaourt destinés à la mesure de la viscosité et 25g pour les essais de mesure du taux de synérèse. La fermentation a été réalisée dans une étuve thermostatée à 45°C. Lorsque le pH atteignait le pH cible de 4,6, l'incubation est arrêtée. Pour finir, les yogourts sont entreposés immédiatement à 5°C à l'intérieur de la chambre froide du laboratoire. Les productions du yaourt sont dupliquées.

2.2.3. Analyses physico-chimique du produit fini

2.2.3.1. Mesure des propriétés rhéologiques et suivi de la viscosité

Les viscosités des yaourts sont mesurées à 20°C avec un viscosimètre Brookfield (figure 6) après 1, 7, 14 et à 21 jours de conservation. Le mobile utilisé est le numéro 4 pour des mesures rhéologiques d'un yaourt étuvé rencontré habituellement dans le commerce. Pour des viscosités plus élevé, les mobiles 5 ou 6 ont été utilisés.

Le yaourt étant un fluide viscoélastique rhéofluidifiant. Toute manipulation énergétique modifie ses propriétés rhéologiques. De ce fait une attention particulière est portée aux échantillons de yaourts destinés à la mesure de la viscosité.



Figure 6 : Viscosimètre Brookfield

Le principe de mesure de la viscosité tel que conçu par Brookfield est d'appliquer une force de mouvement à un produit en mettant en rotation un mobile de taille fixe. La résistance du produit au mouvement de rotation du mobile est enregistrée à l'aide d'un ressort spiralé interne, puis convertie en unité viscosimétrique. Le mode opératoire est détaillé en annexe 7.

2.2.3.2. Mesure et suivi de la synérèse

La synérèse des yaourts est mesurée à l'aide d'une seringue d'après TAMIME *et al.* (1996). la quantité du lactosérum expulsé de 25g d'échantillon du yaourt est exprimée en millilitres de lactosérum. Pour chaque essai, la valeur considérée est la moyenne de deux mesures sur deux pots de yaourt.

2.2.3.3. Mesure et suivi du pH

Le pH a été mesuré à 20°C avec une sonde de pH-mètre (730 WTW : série MOLAB), étalonné à 20°C. Deux répétitions de chaque mesure ont été effectuées sur deux pots de yaourts.

2.2.3.4. Mesure et suivi de la l'acidité

L'acidité Dornic du yaourt est titrée par la soude (N/10). Dans un bécher contenant 10g du produit, l'électrode du pH-mètre est immergée dans la suspension. Le contenu du bécher est titré avec une solution d'hydrogène de sodium (NaOH) N/10, jusqu'au pH de 8,30.

Les résultats sont exprimés en degré Dornic (°D) où 1°D correspond à 0,1g/l d'acide lactique

Deux répétitions de chaque mesure ont été effectuées sur deux pots de yaourt.

2.2.4. Analyse sensorielle

Les tests sensoriels peuvent être divisés en deux catégories : affectifs et analytiques (LAWLESS et HEYMANN, 1998 ; MEILGAARD *et al*, 1999). Les tests affectifs impliquent des consommateurs et leurs perceptions d'acceptabilité. Les tests analytiques impliquent le recours à des panélistes formés dont les réponses sont traitées comme des données instrumentales. La sélection des panélistes, leur formation et l'échelle d'évaluation adoptée sont des éléments clés de toute approche analytique descriptive.

Un groupe d'individus (généralement de 8 à 12) est utilisé pour l'analyse sensorielle descriptive afin d'avoir des résultats cohérents et représentatifs (DRAKE, 2004)

Lors de cette mesure, le travail est focalisé sur l'impact des différents enrichissements, à savoir la poudre de lait, les concentrés de protéines sériques ou la caséine présure sur la qualité organoleptique du yaourt. Pour cela, nous avons eu recours à l'analyse descriptive qui est un outil de choix pour différencier les aliments qualitativement et quantitativement.

2.2.4.1. Les sujets

Huit panélistes, âgés de 25 à 40 ans, essentiellement des membres du personnel de laboratoire, dont cinq sont du sexe féminin et trois du sexe masculin, ont été sélectionnés d'après leur disponibilité et volonté à participer à ces essais ainsi que leur expérience dans l'évaluation sensorielle. Celle-ci est réalisée à J+1 de chaque journée de production.

2.2.4.2. L'environnement de la dégustation

Les séances ont eu lieu au niveau du laboratoire Recherche et Développement de l'unité, de 10H00 à 12H00. Elles se sont déroulées dans une salle d'analyse sensorielle spécifique, où les conditions sont réunies en termes d'éclairage, de température et de présence d'une dizaine de cabines. Ces dernières ont permis de bien gérer les séances et de recueillir les réponses des sujets sans qu'il n'ait aucune influence entre les membres du panel.

2.2.4.3. Les produits

Tous les échantillons sont enlevés du réfrigérateur 1 h avant le début de chaque session d'évaluation. La gamme d'échantillons est servie à une température allant de 10 à 12°C. Chaque yaourt est présenté dans un contenant plastique de 40g et étiqueté avec un code de 3 chiffres. L'ordre de présentation des échantillons est randomisé.

2.2.4.4. Déroulement des séances de dégustation

L'analyse est menée en suivant la procédure décrite par MEILGAARD *et al* (1999). Les qualités organoleptiques évaluées concernent le goût, la texture, l'arôme et l'aspect. Pour les trois sessions organisées (fortification avec la poudre de lait, WPC ou CNP), trois concentrations sont évalués à chaque fois. L'aspect visuel qui consiste à examiner la surface

des yaourts (présence de lactosérum), texture (Epaisseur « Thickness », Granulosité « lumpiness », et saveur (gout de cuit, gout de lactosérum, gout d'étable, aigre, salé, sucré, l'astringence, et l'arrière-goût). Chaque attribut est mesuré selon une échelle d'intensité universelle de 0 à 15, où 0 = non détecté et 15 = extrêmement fort.

L'analyse descriptive nécessite un lexique ou un langage pour décrire les propriétés sensorielles. Celui qui est adopté dans cette étude est présenté dans le tableau II.

Tableau II : Langage sensorielle utilisée pour l'évaluation descriptive des yaourts.

| Terme | Définition | Référence |
|---------------------------|---|--|
| Lactosérum libre | Quantité de lactosérum présent à la surface du yaourt | Assigné aux panelistes |
| Granulosité « lumpiness » | Le Degré de granulosité observé visuellement | Assigné aux panelistes |
| Epaisseur « Thickness » | La Force exigé pour comprimer le gel d'un yaourt dans la bouche | 1 = eau, 10 = yaourt ordinaire avec 15% NDM |
| Cuit | Aromes associés avec le lait cuit | Lait chauffé à 85°C pendant 30 min. |
| Lactosérum | Aromes associés avec la poudre de lactosérum | Dissoudre 5 g de poudre de lactosérum dans 100 ml d'eau |
| Etable | Aromes associés avec les granges et les animaux | 5% d'une solution de caséinate de sodium dans l'eau |
| Fermentés | Aromes associés avec le yaourt | yaourt Frais |
| Aigre | La sensation de goût aigre associé avec les acides | 2 = 0.05% acide citrique ; 5 = 0.08% acide citrique. |
| Salé | La sensation du goût salé associé avec les sels | 2.5 = 0.2% NaCl; 5 = 0.35% NaCl. |
| Sucré | La sensation du goût sucrée associé avec les sucres | 2 = 2% saccharose ; 5 = 5% saccharose |
| Astringence | Sensation d'assèchement et de crispation sur la surface de la langue sous l'effet de certaines substances telles que les tanins | le trempage pendant une heure d'un petit sachet de Thé = 6.5 |
| l'arrière-goût | Sensation de l'arrière-goût | Tâche assignée aux panelistes |

2.2.5. Analyse statistique des données

L'analyse des caractéristiques physico-chimique du lait collecté au niveau de la laiterie a été conduite pendant douze semaines (avril à juin) à travers quatre centres de collecte. 144 prélèvements ont été réalisés (à raison de trois prélèvements par semaine pour chaque centre) et ont fait l'objet d'évaluation des paramètres suivants : matières grasses, protéines, extrait sec total et densité du lait.

L'analyse de la variance à l'aide du logiciel STATISTICA a été réalisée avec une probabilité de 5 % pour accepter ou rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes.

Les centres de collecte concernée par cette étude sont :

- le centre de collecte de Bordj-Bou- Arreridj (B.B.A.) ;
- le centre de Batna-Ain-Beida ;
- le centre de collecte de Tizi-Ouzou dont le lait provient de trois régions (Imaloucen, Azazga et Fréha) ;
- et enfin celui de Biziou (wilaya de Bejaia).

A noter que les analyses des paramètres physico-chimiques ont été effectuées par le MilkoScan FT120.

2.2.5.1. Présentation et principe de fonctionnement du MilkoScan FT120

Le MilkoScan™ FT120 est un spectrophotomètre à FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) automatique de grande capacité (120 échantillons analysés par heure). Il utilise la technologie d'absorption spectroscopique en moyen infrarouge à transformée de Fourier (capacité : 3 - 10 μm correspondant à 1000 – 5000 cm^{-1}) voir figure 7.

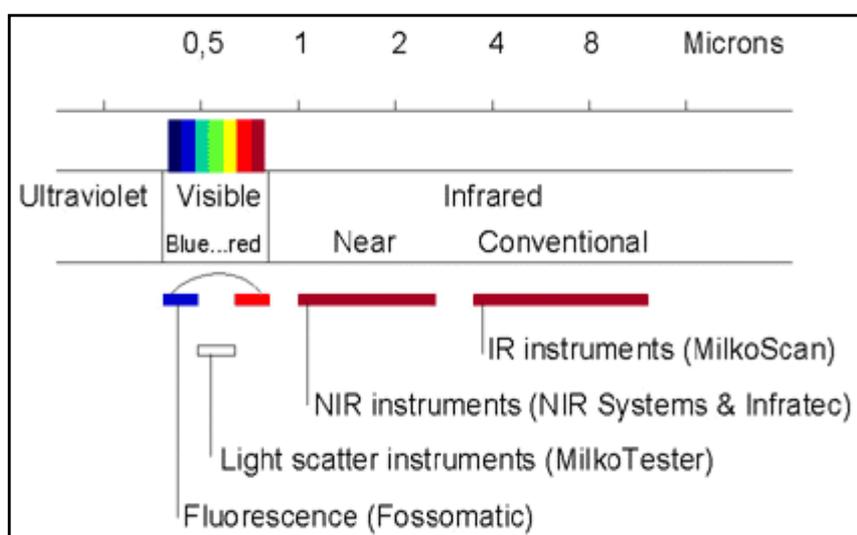


Figure 7 : Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre électromagnétique

Le MilkoScan™ 120 (voir figure 8) permet d'assurer le paiement du lait mais aussi d'optimiser l'utilisation des produits intermédiaires et de contrôler la qualité des produits finis. Avec la configuration de base, il est possible d'analyser avec précision les paramètres suivants : matières grasses, protéines, lactose, extrait sec total et extrait sec dégraissé. Les résultats sont enregistrés et affichés en % sur l'écran.



Figure 8 : image du MilkoScan™ FT120 disponible à l'unité.

2.2.5.2. Principe de mesure de l'interféromètre FTIR

L'interféromètre FTIR balaye le spectre complet du moyen infrarouge, fournissant des absorbances sur un nombre de longueurs d'ondes illimité. Les résultats sont fournis en simultané à partir du spectre complet ce qui permet de mesurer de nouveaux paramètres, et ce, même lorsqu'il s'agit d'analyser des produits laitiers complexes. L'analyse des paramètres supplémentaires devient simplement une question de calibrage.

Une fois les faisceaux divisés par le miroir semi-réfléchissant, l'appareil envoie une partie des rayons sur un miroir fixe et l'autre partie sur un miroir mobile (voir figure 9). A partir des miroirs, les rayons se réfléchissent et se recombinent avant d'atteindre le détecteur. Toutes les fréquences infrarouges passent au même moment dans l'interféromètre. Le miroir effectue de rapides et petits mouvements, ce qui permet de balayer le spectre moyen infrarouge. Le laser envoie une lumière monochromatique qui est utilisée pour déterminer avec précision la position du balayage des longueurs d'ondes.

En un laps de temps court, l'interférogramme est recueilli par le spectromètre, traité par le calcul de transformation de Fourier et est converti en un spectre entier de l'échantillon.

A partir de ce stade, on retrouve à nouveau la théorie générale de la spectrométrie, de l'intensité de la lumière, de l'absorption et leurs relations avec les paramètres composants un échantillon spécifique.

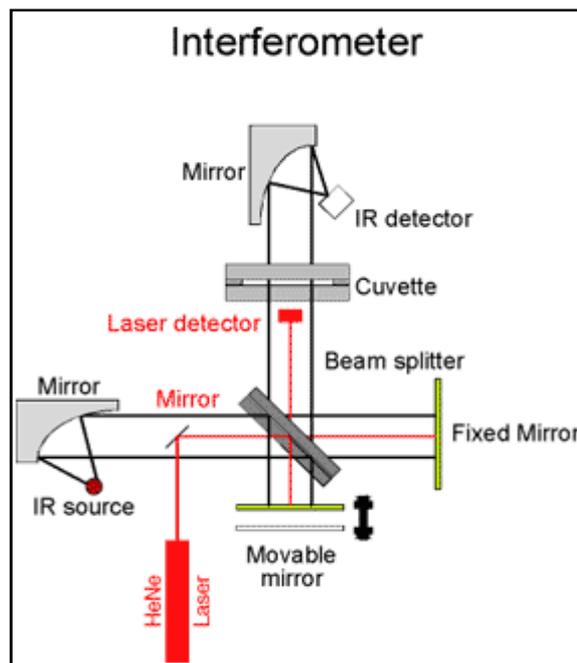


Figure 9 : L'interféromètre en image

2.2.6. Etude de l'effet du traitement thermique sur l'état de dénaturation des protéines sériques

L'objectif de cette partie est d'étudier l'effet d'un paramètre technologique, à savoir, le traitement thermique sur l'état de dénaturation des protéines sériques en mettant en œuvre une méthode de caractérisation électrophorétique : électrophorèse en conditions non dissociant et non dénaturantes (PAGE native) afin d'évaluer les modifications engendrées par ce traitement technologique en terme d'état de dénaturation des protéines.

Les échantillons à examiner sont des yaourts préparés à partir de lait de vache et/ou de poudre de lait, enrichi ou non de WPC. Le lait de vache ayant déjà subi un traitement de pasteurisation de 88°C pendant 20 secondes au niveau d'un pasteurisateur à plaque, est prélevé à partir des tanks de stockage du lait. Selon la formulation adopté lors de ce projet, les autres

ingrédients sont ajoutés (poudre de lait, et/ou WPC). Le deuxième traitement thermique (95°C/5mn) est reproduit à l'échelle du laboratoire grâce au thermomix.

Ces deux traitements sont ceux imposés au lait frais au niveau de l'unité excepté la proportion de lait frais (habituellement en deçà de celle considérée dans cette étude) et la fortification par WPC qui n'est pas encore adoptée par la laiterie.

La préparation des échantillons destinés à l'analyse électrophorétique, est réalisée au niveau du laboratoire LABAB. Elle s'effectue selon les étapes récapitulées sur la figure 10 :

2.2.6.1. Ecrémage

L'écémage des différents mix est réalisé par centrifugation à 3500 g/20mn à 4°C. La crème est enlevée à l'aide d'une spatule et le lait écrémé est filtré par passage à travers la laine de verre.

2.2.6.2. Isolement des protéines sériques

La séparation entre les caséines et les protéines sériques est obtenue par précipitation de la caséine à pH 4,6 (pHi de la caséine bovine) en présence d'une solution d'acide chlorhydrique 4N, suivie d'une centrifugation à 3500g /15 min. Cette opération est répétée deux fois afin d'assurer une bonne séparation. Le pH du surnageant, obtenu après précipitation isoélectrique des caséines est neutralisé à 7 avec NaOH, 1N.

Les protéines sériques (le surnageant récupéré après centrifugation) est dialysé contre l'eau distillée pendant 48 h, sous agitation douce et en changeant l'eau de contre dialyse deux fois par jour.

2.2.6.3. Estimation du taux de dénaturation

La détermination de la concentration en protéines des échantillons est estimée par dosage spectrophotométrique en utilisant la méthode de LOWRY *et al* (1951) (annexe 8). Il s'agit d'un dosage colorimétrique basé sur deux réactions simultanées :

- une réaction de type Biuret, par laquelle les molécules polypeptidiques qui contiennent au moins quatre groupements (-CO-NH-) donnent en milieu alcalin un complexe cuivrique coloré ;
- et une réaction de réduction par laquelle les noyaux phénoliques de la tyrosine et du tryptophane et à un degré moindre la cystéine et l'histidine, réduisent le réactif de Folin-Ciocalteu (l'acide phosphomolybdotungstique) (DELOBETTE *et al*, 1991).

Les intensités de coloration développées sont proportionnelles à la concentration protéique dont l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à 750 nm. La détermination de la concentration en protéines des échantillons (trois essais ont été réalisés) se fait par le biais

d'une courbe d'étalonnage en utilisant l'albumine sérique bovine (BSA) comme protéine étalon (figure 11).

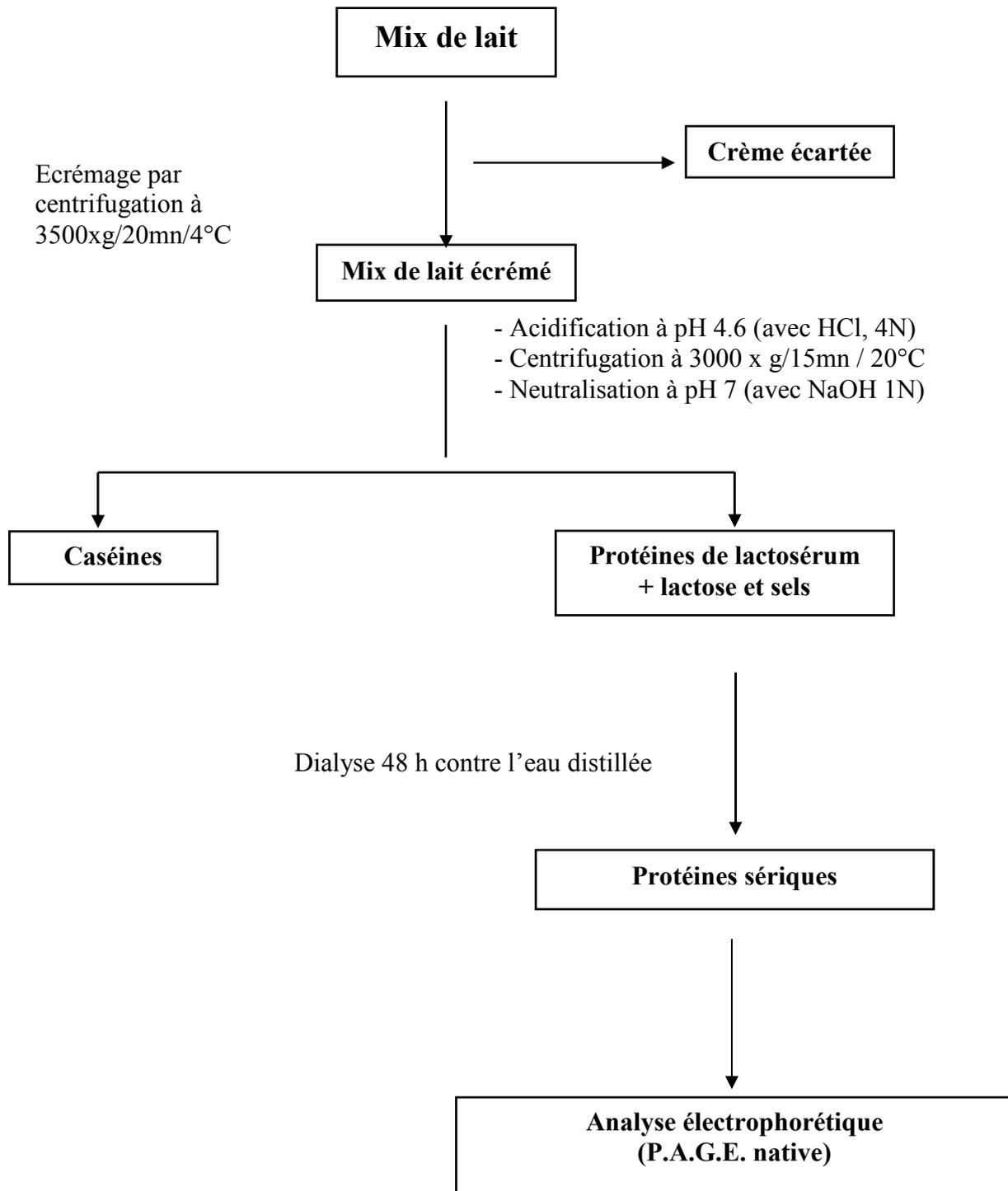


Figure 10 : Etapes d'isolement des protéines sériques à partir des différents mix préparés.

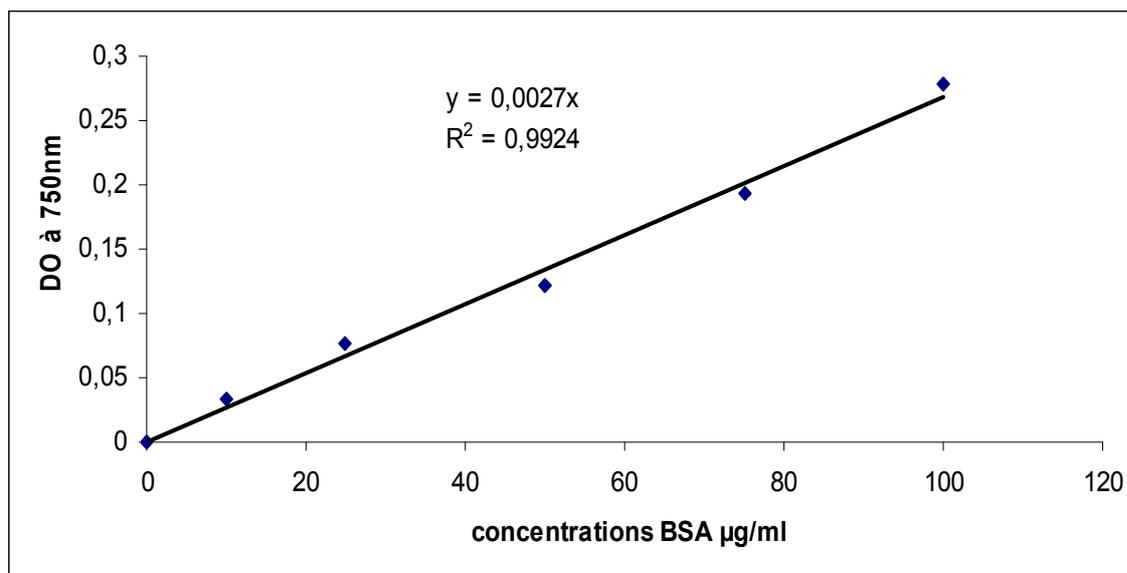


Figure 11 : Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de Lowry *et al* (1951)
L'albumine sérique bovine (BSA) est utilisée comme protéine étalon ;
R= coefficient de corrélation

Le dosage des protéines sériques à pH 4,6 après la première et la seconde pasteurisation est réalisé. Le pourcentage de protéines dénaturées (PrD) est déterminé suivant l'équation suivante :

$$\text{PrD} = (\text{Pr1} - \text{Pr2}) \times 100 / \text{Pr1}$$

Pr1 : quantité de protéine (en g/l) après la première pasteurisation

Pr2 : quantité de protéine (en g/l) après la deuxième pasteurisation

2.2.6.4. Méthode électrophorétique

2.2.6.4.1. Principe général

Les protéines, qui sont des macromolécules amphotères, peuvent se déplacer dans un champ électrique en fonction de leur charge nette, de leur taille et des conditions du milieu. Ce déplacement différentiel est mis à profit en électrophorèse pour pouvoir les séparer et les identifier, car les niveaux de migration atteints constituent une caractéristique intrinsèque de chaque entité protéique.

Les séparations électrophorétiques ont été réalisées sur des gels de polyacrylamide qui est le produit de polymérisation de monomères d'acrylamide ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$) et d'un agent de pontage habituellement le N, N' méthylène-bis-acrylamide ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}_2$), en présence de persulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) et de N, N, N', N' tétraméthyl-éthylène diamine (TEMED) comme catalyseurs de la réaction (figure 12).

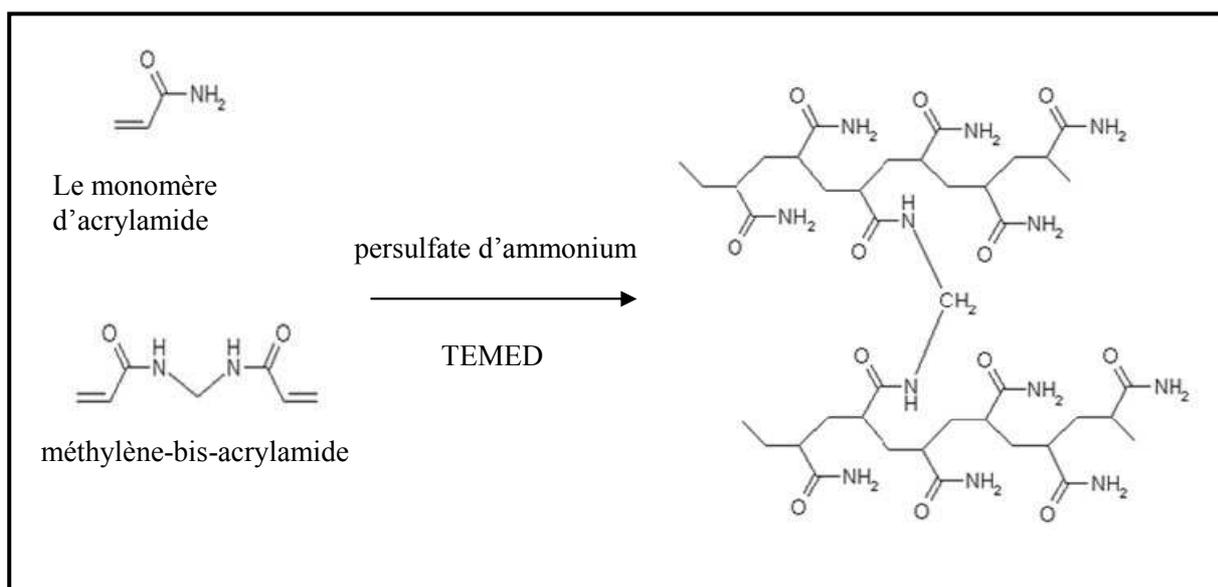


Figure 12 : Réaction de polymérisation entre l'acrylamide et le bisacrylamide.

Cette polymérisation conduit à la formation de nombreuses chaînes enroulées qui déterminent un ensemble de micro-canaux de pores dans lesquels les molécules protéiniques se déplacent sous l'effet plus ou moins marqué d'un tamisage moléculaire. La taille des pores, donc la structure du gel, dépend de la concentration en monomère et en comonomère. Elle est définie le plus souvent par les indice T et C :

- $T = (a+b/v) \times 100 (\%)$
- $C = (b/a+b) \times 100 (\%)$
- a = acrylamide (g) ;
- b = N, N, N', N'-tetraméthylène-bis-acrylamide (g) ;
- v = volume de tampon (ml).

Les séparations ont été réalisées sur des mini-cuves Hoeffler (figure 13) en milieu non dissociant et non dénaturant (PAGE native). Le protocole de séparation électrophorétique a nécessité plusieurs essais d'optimisation afin d'obtenir des migrations résolutes et reproductibles.



Figure 13 : Photographie de l'unité d'électrophorèse sur mini-cuve Hoeffler SE 200.

A : Générateur ; B : Cuve de migration.

2.2.6.4.2. Réalisation de l'électrophorèse

Après avoir coulé le gel délicatement entre deux plaques de verre, les échantillons à séparer sont déposés dans les puits à raison de 1.5 à 2 mg/ml.

Le tampon d'échantillon contient du bleu de bromophénol pour suivre la progression de migration électrophorétique qui a lieu sous voltage et ampérage constants (250 V ; 20 mA) pendant une durée moyenne de 45 mn.

- Electrophorèse en conditions non dissociantes et non dénaturantes (PAGE native)

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide dans les conditions non dissociantes et non dénaturantes (PAGE native) est une méthode particulièrement résolutive pour les protéines sériques du lait. Celles-ci migrent dans ce cas selon leur charge nette et leur poids moléculaire.

Afin de porter une appréciation qualitative en regard de leur état de dénaturation, les protéines sériques des quatre mix de yaourt préparés et un témoin de protéines sérique bovin n'ayant subi aucun traitement dénaturant sont déposés sur un gel de polyacrylamide.

En se basant sur la méthode de HILLIER (1976), nous avons utilisé un gel de polyacrylamide à T= 12% et C= 2.7%. Le tampon de gel est composé de (TRIS, 0.75 M, pH 8.9). Le tampon d'électrode est constitué de (TRIS, 5mM ; glycine, 77 mM ; pH 8.3). Les échantillons protéiques sont déposés, à raison de 10 à 20 μ l, contenant le tampon de gel, l'eau distillée, le glycérol (50 %) et enfin le bleu de bromophénol (0,04 %) pour suivre l'avancement des migrations (annexe 9).

2.2.6.4.3. Coloration des protéines

A la fin de l'électrophorèse, les protéines sont fixées dans l'acide trichloracétique (TCA), 2% (P/V) pendant 45 min puis colorées pendant 1 h par une solution de bleu de Coomassie R250, 0,1 % (P/V). La décoloration du gel s'effectue, sous agitation douce pendant 1 à 2 jours dans des solutions renouvelées plusieurs fois contenant le mélange (eau, méthanol, acide acétique, 6,25 ; 3 ; 0,75, v/v/v).

Résultats & Discussions

III. Résultats et discussion

3.1 Caractérisation de la matière première

3.1.1. Analyse des paramètres physico-chimiques du lait frais collecté par l'unité

3.1.1.1. Teneur en matières grasses

La teneur moyenne en MG dans le lait analysé est de $35,95 \pm 1,16$. Cette valeur est légèrement supérieure aux normes (34-35g/l). Cependant, pour le centre de collecte de TO et celui de Batna-Ain Beida la teneur en MG est parfois inférieure aux normes, à titre d'exemple durant la troisième semaine (Figure 14), la teneur moyenne en MG dans le lait provenant du centre de Batna-Ain Beida est de $31,30\text{g/l} \pm 0,58$.

Des fluctuations de la teneur en MG du lait en fonction des semaines sont observées. D'après l'écart-type calculé, le lait qui provient du centre de collecte de Biziou de la wilaya de Bejaia et de celui de BBA, présente les variations hebdomadaires les plus importantes comparativement aux autres laits (Biziou 1,65, BBA 1,18 contre 0,73 pour TO et 0,59 pour Batna-Ain-Beida).

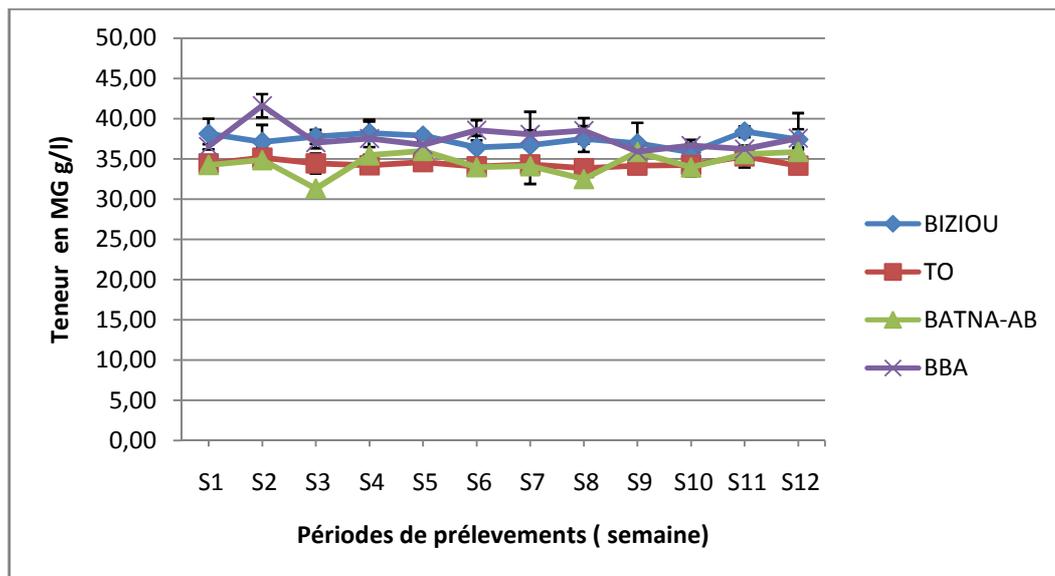


Figure 14 : Variation de la teneur du lait en matières grasses en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation.

Durant la saison de pâturage qui est notre période d'étude, la composition du lait est sous la dépendance des effets saisonniers qui sont étroitement associée à l'alimentation du bétail. En effet, il est fréquent d'observer une chute relativement importante (2 à 3g/kg), mais parfois de courte durée, du taux butyreux (TB) lors de la mise à l'herbe alors que les vaches recevaient préalablement une ration à base d'ensilage de maïs (CHILLIARD *et al*, 2000 ;

REGO *et al*, 2004). Mais à l'inverse, des augmentations sensibles sont constatées lorsque cette ration est à base de foin ou d'ensilage d'herbe (HODEN *et al*, 1985). En outre, Le ratio fourrages/concentrés, qui détermine la teneur en fibres et en glucides cytoplasmiques de la ration, est un important facteur de variation de la teneur en MG du lait (CHILLIARD *et al*, 2001 ; RULQUIN *et al*, 2007 ; COLLAS, 2008). En effet, le TB du lait diminue quand la part des aliments concentrés dans la ration augmente. Mais ce n'est qu'avec des proportions très élevées d'aliments concentrés (plus de 40% de la matière sèche de la ration) que le TB chute de façon nette (HODEN et COULON, 1991).

Pour cela, le maintien d'une teneur en MG normale nécessite des proportions en aliments concentrés ne dépassant pas les 40% de la matière sèche totale de la ration, car la quantité élevée de glucides rapidement fermentescibles et la faible fibrosité de la ration conduisent à une formation accrue d'acide propionique dans la panse aux dépens de l'acide acétique, avec pour conséquence une réduction du taux de matière grasse. Or, l'alimentation du bétail en Algérie se caractérise par une offre insuffisante en ressources fourragères. Les éleveurs sont alors contraints de se rabattre sur des fourrages de moindre qualité mais surtout d'utiliser les concentrés d'une manière abusive (KADI *et al*, 2007 ; GHOZLANE *et al*, 2009). Outre l'effet de dilution provoqué par un l'apport excessif de concentré, la baisse de la teneur en MG peut être liée à l'élévation des températures qui ont un effet favorable sur la production et défavorable sur la teneur en MG (DHOOR *et al*, 1994).

Concernant le suivi des paramètres physico-chimiques du lait selon les centres de collecte, les résultats (figure 15) montrent que la teneur du lait en MG est soumise à des variations suivant le centre de collecte considéré ($p < 0,05$). La valeur maximale est attribuée au lait qui provient de Bordj Bou Arreridj (BBA), avec une moyenne de $37,58 \pm 1,18$ g/l, suivie de Biziou avec une moyenne de $37,34$ g/l $\pm 1,65$. La valeur minimale est celle du lait collecté au niveau de la région de Tizi Ouzou (un lait de mélange d'Azazga, Imaloucen et Freha) avec une moyenne de $34,41$ g/l $\pm 0,73$.

Cette variabilité de la teneur en MG, notamment entre le centre de Tizi Ouzou, Batna-AB d'un côté et le centre de Bordj Bou Arreridj et Biziou de l'autre côté serait due en partie à l'alimentation des vache (temps d'accès au pâturage, quantité et qualité de l'herbe ou les quantités de concentrés offerts pour les animaux complémentés).

En outre, en l'absence de toute complémentation, les performances des vaches laitières au pâturage dépendent d'abord des performances observées à la mise à l'herbe (DELABY *et al* 1999), qui varient avec le potentiel génétique de l'animal et son stade de lactation.

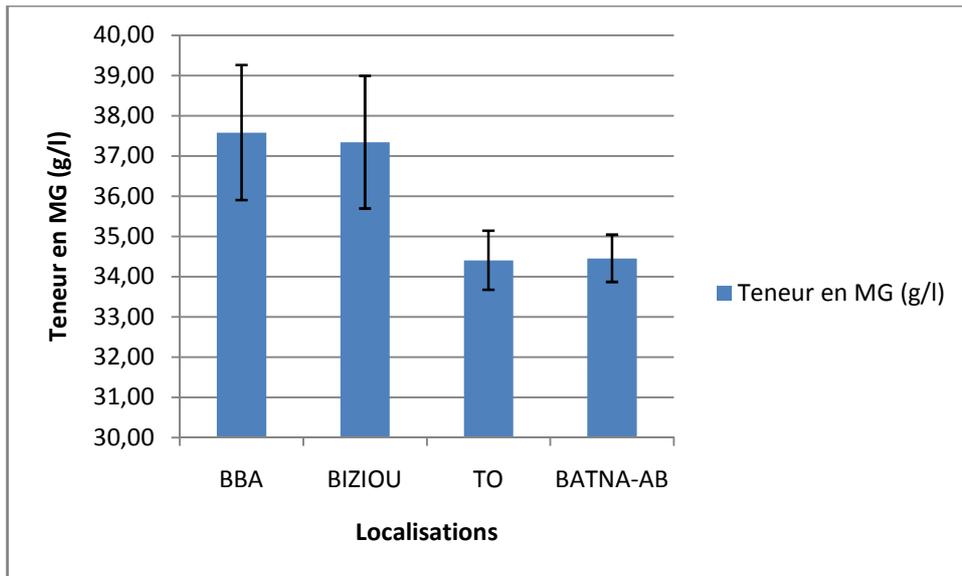


Figure 15 : Variation de la M.G. en fonction de la provenance du lait.

3.1.1.2. Teneur en protéines

Teneur La teneur en protéines du lait selon les différents centres (figure 16) est en moyenne de $33,21 \pm 0,39$. Cette teneur répond bien à la norme requise (32g/l) et ne varie pas sensiblement sous l'effet de la provenance du lait collecté. Cette observation est en accord avec les résultats d'autres études qui ont montré que la teneur en protéines est bien plus stable que celle de la MG (SRAIRI, 2005).

Néanmoins, cette teneur protéique varie d'une semaine à l'autre et, d'une manière générale, a tendance à baisser au cours de la période de collecte considérée. Ceci peut s'expliquer par le fait que durant la saison de pâturage, la composition du lait est sous la dépendance des effets saisonniers (diminution du taux lors des jours longs), et surtout du niveau d'alimentation (faible TP en période de pénurie fourragère estivale) (HODEN et COULON, 1991).

Il est à noter que le lait provenant du centre de collecte de Tizi Ouzou donne les valeurs les plus faibles ($31,91\text{g/l} \pm 0,35$) qui requière un ajustement au niveau de la laiterie par l'incorporation de la poudre de lait.

3.1.1.3. Teneur en extrait sec total

La teneur moyenne du lait en extrait sec total (EST) enregistrée est de $127,64\text{ g/l} \pm 1,70$ mais avec des fluctuations (avec un écart-type de $1,70\text{g/l}$), selon l'origine de collecte et tout au long de la période de prélèvement (figure 18 et 19). Globalement, le lait collecté est assez riche car sa teneur moyenne (en EST) dépasse la norme requise (120-125g/l).

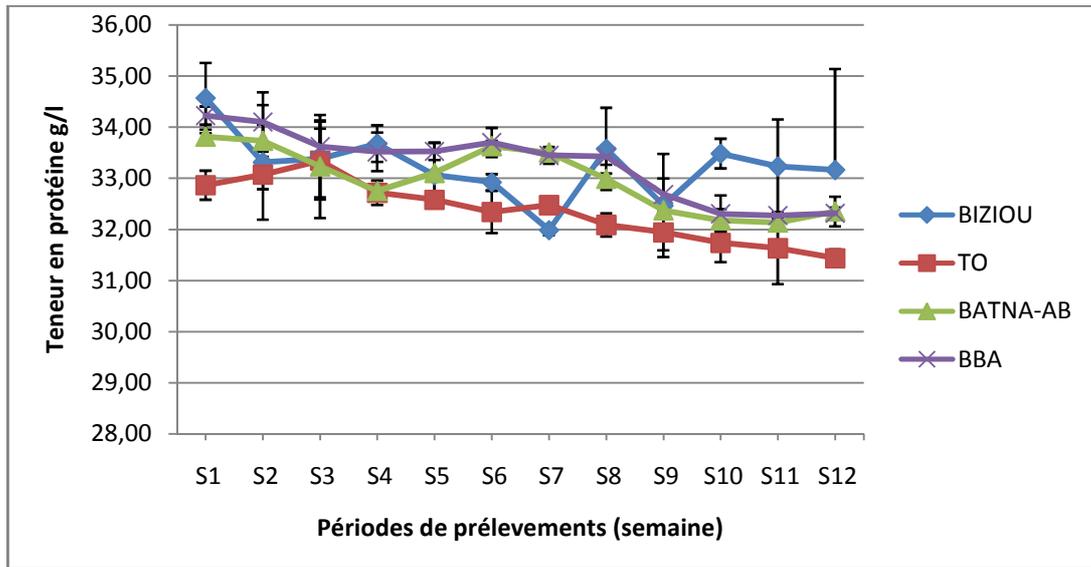


Figure 16 : Variation de la teneur du lait en protéines en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation.

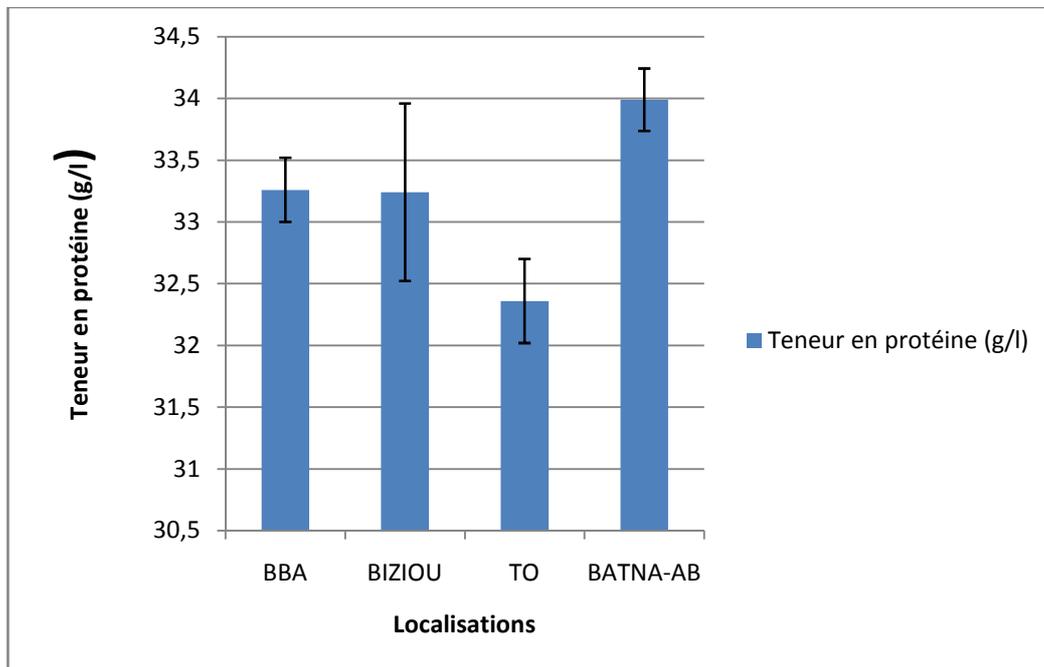


Figure 17 : Variation de la teneur en protéine en fonction de la provenance du lait.

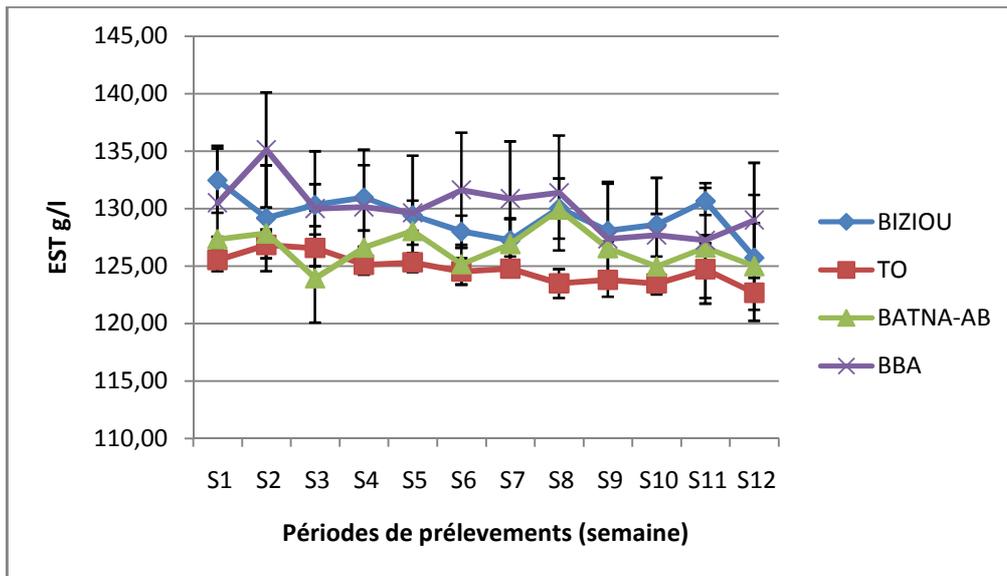


Figure 18 : Variation de l'extrait sec total du lait (EST) en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation.

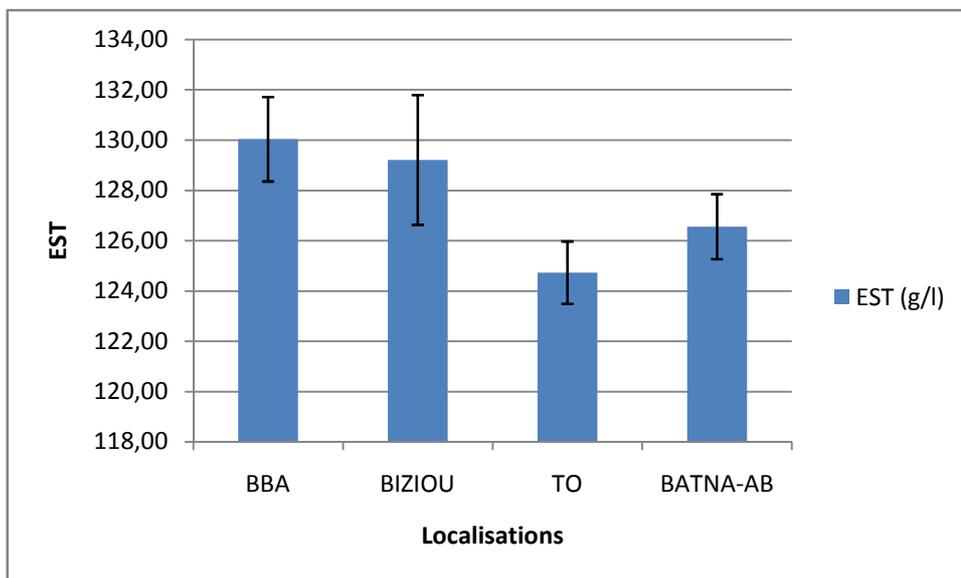


Figure 19 : Variation de l'extrait sec total du lait (EST) en Fonction de sa provenance.

3.1.1.4. Densité

Globalement, la valeur moyenne de la densité du lait collecté qui se situe à $1030,24 \pm 0,43$ est inférieure aux normes (1032-1035). Cette valeur (figure 20) est caractérisée par des fluctuations hebdomadaires, notamment pour le centre de collecte de Batna-Ain Beida avec une moyenne de $1030,61 \pm 0,47$. Il est à noter à ce niveau que le lait provenant du centre de collecte de Tizi Ouzou présente la baisse la plus importante où nous relevons qu'à partir de la huitième semaine la valeur de la densité descend au dessous de 1030

La variation de la densité en fonction des sources de collecte (figure 21) montre que celle-ci présente la valeur la plus élevée pour le centre de Batna-Ain Beida (moyenne de $1030,61 \pm 0,47$) alors que le centre de Tizi Ouzou donne les teneurs les plus faibles. L'insuffisance relative des paramètres physico-chimiques du lait collecté dans cette région, particulièrement la matière grasse et les protéines, est confirmée par les mesures de densités effectuées.

3.1.1.5 Conclusion de l'analyse physico-chimique du lait

La laiterie Soummam d'Akbou, comme les autres unités de production étatiques ou privées ont organisé un vaste réseau de collecte de lait cru qui est mis rapidement à basse température et acheminé aux unités via des camions frigorifiques. Cette disposition a énormément contribué à réduire la charge de ce lait en micro-organismes de contamination, mais la qualité physico-chimique et nutritionnelle n'était pas un critère d'acceptabilité déterminant malgré la volonté de certaines entreprises de vouloir payer le lait selon sa richesse en protéines et en matières grasses.

L'analyse des données sur le lait de collecte réceptionné pendant une certaine période à l'unité Soummam d'Akbou répond précisément au souci de situer la qualité de ce lait sur ce plan et de voir ses variations en fonction de la période et du lieu de collecte.

Les résultats obtenus ont montré que globalement les différents centres de collecte présentent un lait assez riche, dont les teneurs en nutriments de base sont tout à fait conformes aux normes exigées. Dans ce lot, les laits provenant de Tizi Ouzou sont légèrement déficitaires et sont susceptibles d'être corrigés par l'enrichissement de la matière sèche par de la poudre de lait.

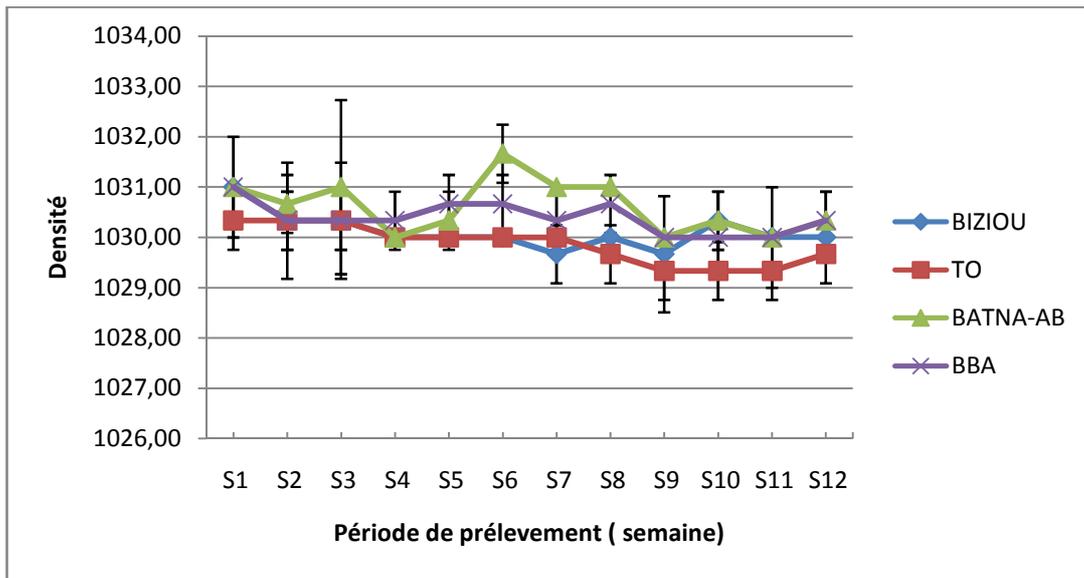


Figure 20: variation de la densité en fonction de la période de prélèvement pour chaque localisation.

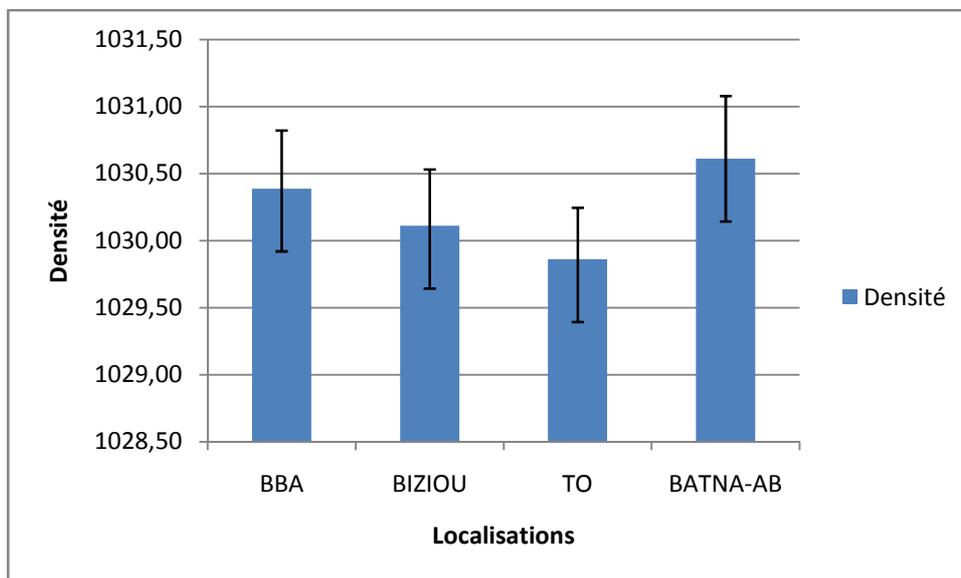


Figure 21 : variation de la densité en fonction de la provenance du lait.

3.1.2. Caractérisation des différents ingrédients laitiers

3.1.2.1. Poudre de lait

Les différentes spécifications des paramètres physico-chimiques de la matière première ont été fournies par le fournisseur (Tableau III). Concernant le taux de protéine, des mesures de vérifications ont été effectuées au laboratoire de Contrôle de la Qualité dans le but de les exploiter lors de différentes formulations.

Tableau III : Résultats des analyses physicochimiques des poudres de lait.

| Ingrédients | poudre de lait écrémé (0% de MG) | Norme | poudre de lait (26% de MG) | Norme |
|---------------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------|----------|
| Protéine (g/l) ¹ | 33,85± 0,08 | 34 | 28,63 ±0,09 | 27-29 |
| pH ² | 6,56 ± 0,01 | 6,6- 6,8 | 6,69 ±0,06 | 6,6- 6,8 |
| Matière grasse (%) ¹ | 0,5 ± 0,00 | 1,5 | 26% ±0,00 | 26 min |
| Humidité (%) ¹ | 2,87 ± 0,03 | 5 max | 1,55% ± 0,05 | 5 max |
| Acidité (%) ¹ | 16,8 ± 0,02 | 18 max | 17 ± 0,04 | 18 max |

¹ La norme est selon le Codex Standard 207-1999, Adopté en 1999. Amendement 2010.

² Selon la norme AFNOR

3.1.2.2. Les concentrés de protéines sériques (WPC)

Les caractéristiques physicochimiques du WPC sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Le pH mesuré est de 6,5.

Tableau IV: Résultats des analyses physicochimiques du WPC.

| Ingrédients | Protéines sériques (WPC) (en %) |
|----------------|---------------------------------|
| Protéines | 80,0 |
| Matière grasse | 05,0 |
| Humidité | 05,0 |

3.1.2.3. La caséine présure

Les caractéristiques physico-chimiques sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le pH mesuré varie de 6,8 à 7,3.

Tableau V: Résultats des analyses physicochimiques de la caséine présure

| Ingrédients % | La caséine présure(CNP) (en %) |
|----------------|--------------------------------|
| Protéine | 84,5 |
| Matière grasse | 01 |
| Humidité | 10 |

3.2. Evolution de la viscosité

3.2.1. Influence de l'enrichissement avec la poudre de lait

Dans l'optique d'étudier l'influence de l'enrichissement avec la poudre de lait sur la viscosité, des yaourts « nature » ont été préparés en faisant varier le taux de protéine. Ceci est réalisé en modifiant la quantité de poudre de lait (0% de MG) incorporée.

Les variations observées (figure 22) semblent similaires pour les 3 taux d'incorporation testés. En effet, la valeur de la viscosité initiale du produit tend à augmenter avec le taux d'enrichissement en poudre de lait (principalement en protéines). Cette viscosité s'accroît avec le temps de conservation jusqu'à 1 semaine avant de décroître par la suite. La viscosité du yaourt nature (YN) à 2,7% d'enrichissement présente la valeur la plus faible à J+1 (9 500 Centipoise ou cP). Cette valeur atteint 18 500 cP pour un enrichissement à 3,5% et pour une durée de conservation d'une semaine. Les Résultats du suivi de la viscosité en fonction du taux de protéine sont détaillés en annexe 10.

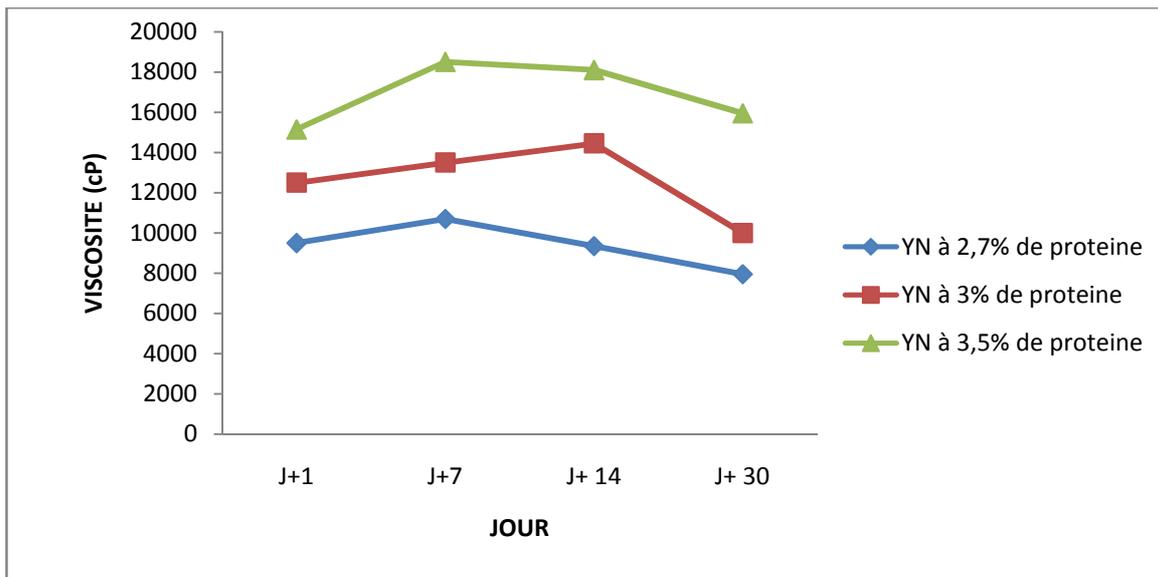


Figure 22 : Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt « nature » préparé à partir de la poudre de lait.

Cette variation de la viscosité peut s'expliquer par les réarrangements protéiques qui ont lieu où les interactions-protéines-protéines sont favorisées par les liaisons de faibles énergies (hydrogènes, hydrophobes, Van Der Waals...), ce qui conduit à une augmentation de la viscosité au cours du temps (ABU JDAYIL, 2002). De ce fait, ce réseau de gel est d'autant plus important que la proportion de protéines dans le yaourt est importante.

3.2.2 Influence de l'enrichissement avec les protéines sériques

Le yaourt nature, avec un taux de protéines de 2,7%, est enrichi avec des concentrés de protéines sériques (WPC) à différents taux (1, 2 et 3 %), pour évaluer l'influence de ces WPC sur la viscosité du produit.

L'enrichissement en protéines sériques a tendance à accroître la viscosité (Figure 23). Néanmoins cette augmentation tient compte du taux d'incorporation où les enrichissements à 2 et 3% ont des effets plus marqués sur la viscosité (35 000 à 50 000 cP) que celui à 1% qui se situe vers 20 000 à 30 000 cP. L'accroissement de la viscosité se fait aussi en fonction du temps de conservation où les valeurs les plus élevées sont enregistrées à J+21.

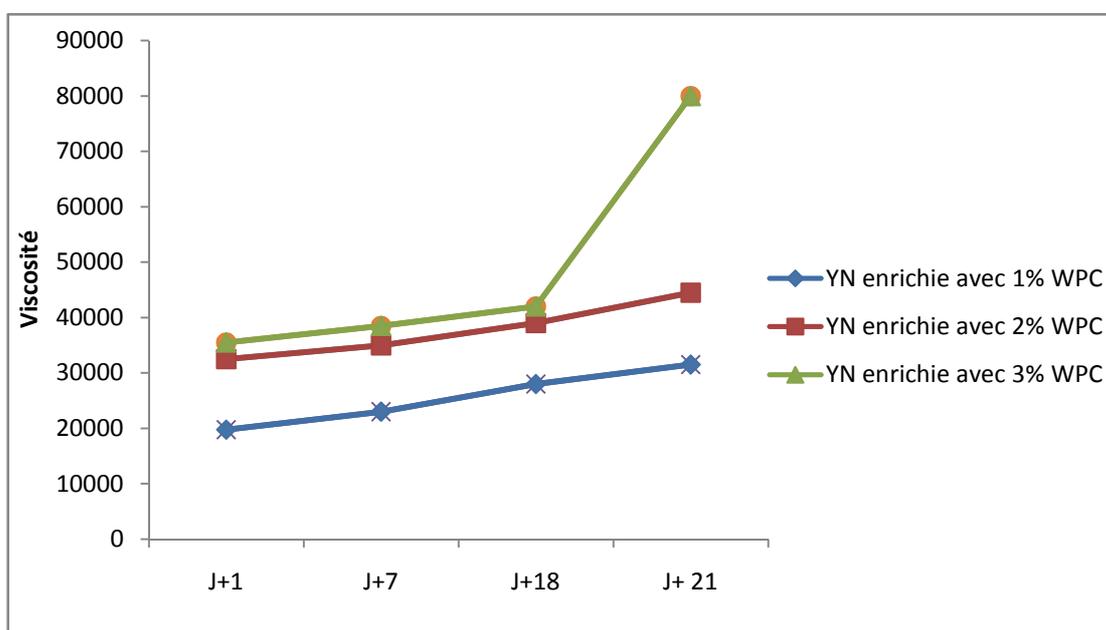


Figure 23 : Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt nature enrichi avec les protéines sériques concentrées (WPC).

3.2.3. Influence de l'enrichissement avec la caséine présure

Afin d'évaluer l'influence de l'ajout des caséines sur la viscosité, le yaourt nature (présentant un taux de protéines de 2,7%) a été enrichi avec de la caséine présure (CNP) à différents taux (0,8, 1,6 et 2,4 %).

Au vue des résultats obtenues (figure 24), il apparaît que la fortification du yaourt nature avec des quantités croissantes de caséines présure (CNP) n'améliore pas la viscosité. Les valeurs de cette dernière sont comprises entre 10 600 et 13 400 cP. Les résultats du suivi de la viscosité en fonction des taux de CNP ajoutés sont détaillés en annexe 12.

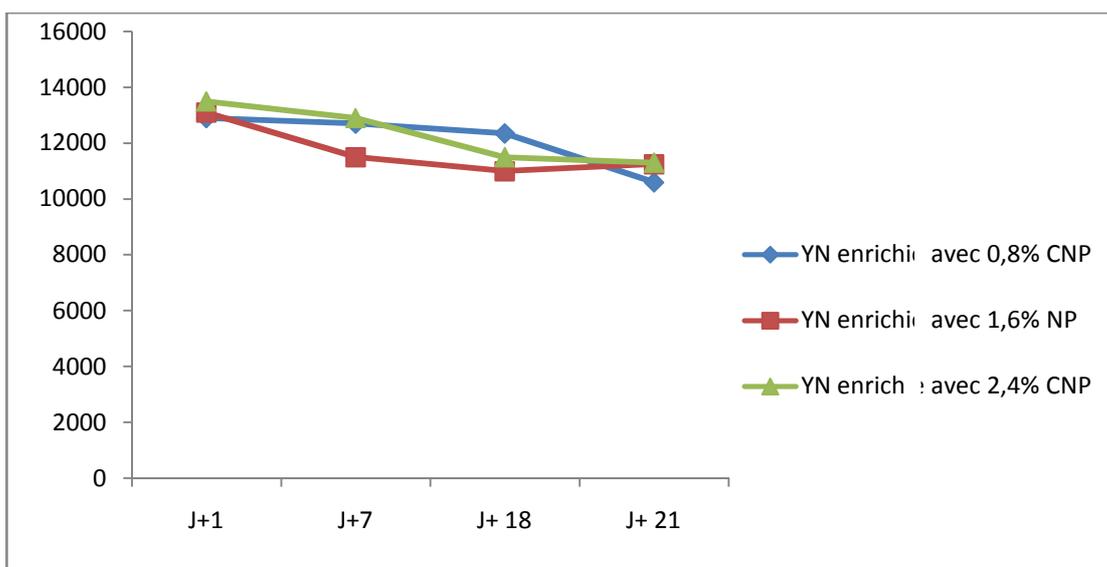


Figure 24 : Evolution de la viscosité, au cours du temps, d'un yaourt nature enrichi avec la caséine présure (CNP).

Dans des essais analogues, GUZMAN-GONZALES (2000) a observé que les yaourts contenant des caseinates présentent une viscosité supérieure à ceux préparés avec des poudres de lait. La différence constatée dans les deux cas serait liée au fait que les caséinates présentent une bonne solubilité, ce qui leur permet d'interagir avec les protéines initiales du yaourt et vont accroître par voie de conséquence la viscosité, alors que les poudres de caséines présure que nous avons utilisées, constituent un produit peu soluble dans le mix, ce qui réduit d'autant les interactions recherchées.

3.3. Evolution du taux de synérèse

3.3.1. Influence de l'enrichissement avec la poudre de lait

Des yaourts « nature » ont été préparés en faisant varier le taux de protéine. Ceci est réalisé en modifiant la quantité de poudre de lait (0% de MG) incorporée afin d'étudier l'influence de la fortification avec la poudre de lait sur le taux de synérèse.

La figure 25 montre les changements du taux de synérèse mesurés durant vingt un jours de conservation dans une chambre froide à 4°C. Le yaourt nature enrichi avec la poudre de lait à raison de 3,5% de protéine présente le niveau de synérèse le plus faible. A titre d'exemple, à J+1: 0,2ml de lactosérum sont mesurés contre respectivement 1,4 (pour YN à 2,7% de protéine) et 0,85ml (pour YN à 3%). Les résultats du suivi du taux de synérèse en fonction du taux de protéine sont détaillés en annexe 13.

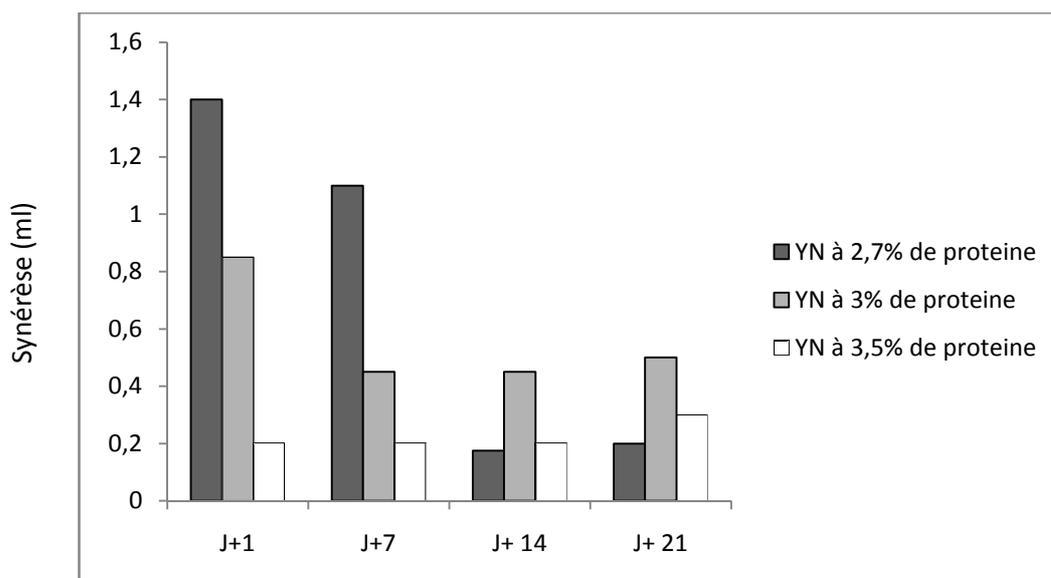


Figure 25 : Evolution du taux de synérèse au niveau des yaourts à différents taux de protéine.

Le taux de synérèse de tous les échantillons de yaourts diminue tout au long des premiers quatorze jours et il est d'autant plus faible que la proportion de protéine contenue dans le yaourt est importante. Ce résultat suggère que les protéines contribuent à l'augmentation de la rétention d'eau au niveau du gel de yaourt.

3.3.2. Influence de l'enrichissement avec les WPC

Un suivi du taux de synérèse a été réalisé sur des yaourts à 2,7% de protéine enrichi avec des concentrés de protéines sériques à des taux croissants (1, 2 et 3 %). Ces essais sont menés dans l'optique d'évaluer l'influence de ces WPC sur ce paramètre physique.

Tableau VI : mesure du taux de synérèse en fonction des proportions de concentrés de protéines sériques (WPC) incorporées.

| | Taux de synérèse mesuré (ml) | | | |
|-------------------------------|------------------------------|-----|------|------|
| | J+1 | J+7 | J+14 | J+21 |
| YN enrichi avec 1% WPC | 0 | 0 | 0 | 0 |
| YN enrichi avec 2% WPC | 0 | 0 | 0 | 0 |
| YN enrichi avec 3% WPC | 0 | 0 | 0 | 0 |

Selon ces valeurs, nous pouvons conclure que l'enrichissement du yaourt avec des

concentrés de protéines sériques élimine complètement le phénomène de synérèse. Des études ont rapportés que le traitement thermique conduisait à un niveau très élevé de « cross-linking » à l'intérieur du réseau du gel des yaourts enrichis avec des isolats de protéines sériques, augmentant ainsi la viscosité et la capacité de rétention d'eau (REMEUF *et al*, 2003)

3.3.3. Influence de l'enrichissement avec la caséine présure

Afin d'évaluer l'influence de l'incorporation de la caséine présure (CNP) sur le taux de synérèse, ce paramètre physique est mesuré au niveau des yaourts présentant un taux de protéines de 2,7% et enrichis avec la CNP à différents taux (0,8, 1,6 et 2,4 %).

D'après le graphe obtenu (figure 26), il apparaît que mis à part à J+1, le taux de synérèse ne diminue pas avec l'augmentation de la quantité de caséine présure. De ce fait, l'enrichissement du yaourt avec la caséine présure n'a pas d'impact sur la diminution de la quantité d'eau exsudée. Les résultats du suivi du taux de synérèse en fonction des taux de CNP ajoutés sont détaillés en annexe 14.

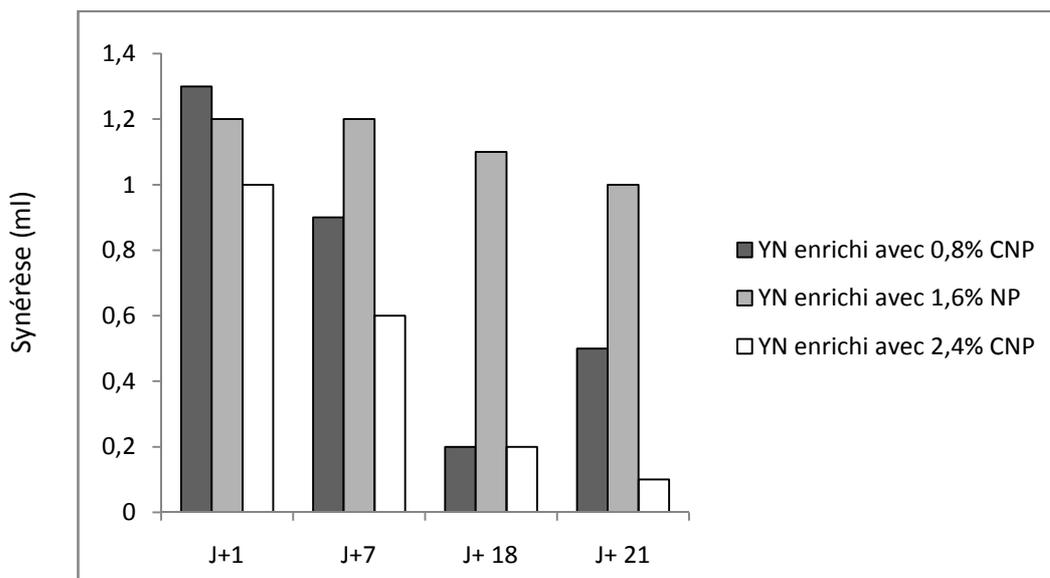


Figure 26 : Evolution du taux de synérèse au niveau d'un yaourt enrichi avec la CNP.

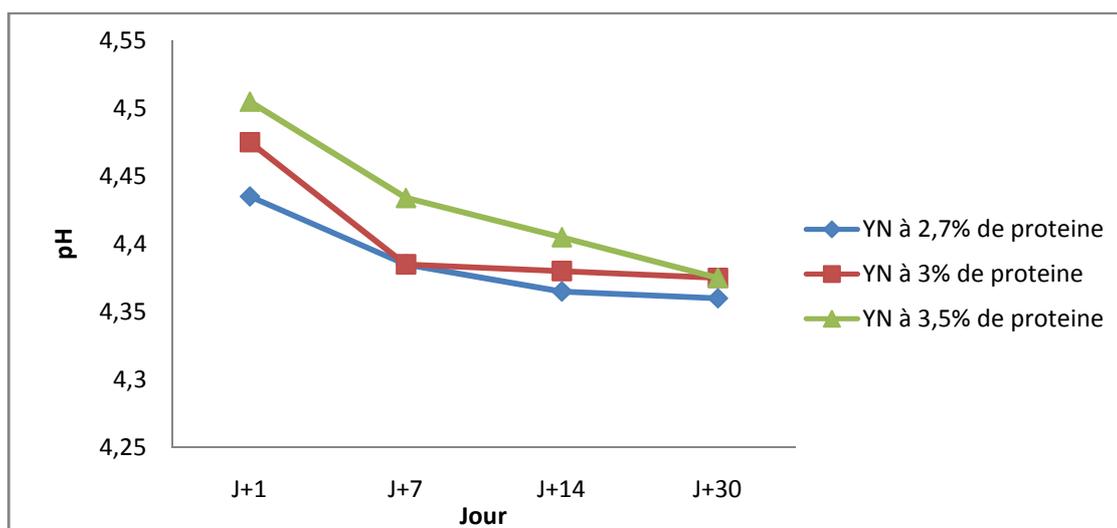
3. 4. Evolution du pH et de l'acidité en fonction du taux de protéines

Après l'étude du comportement rhéologique suite aux différents fortifications, un suivi de l'évolution du pH et de l'acidité a été réalisé afin d'examiner l'impact des différents enrichissements (PDL, WPC ou CNP) sur ces deux paramètres physico-chimiques.

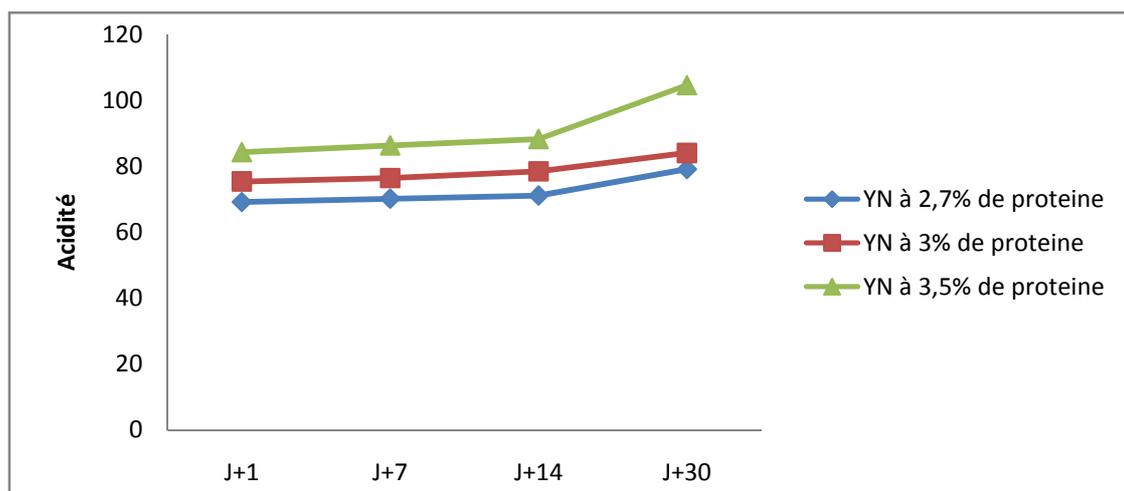
L'évolution des valeurs du pH (figure 27) pendant la conservation est caractérisée par une diminution jusqu'au voisinage de 4,36. Concernant l'acidité Dornic (figure 28), elle augmente

au cours du temps pour atteindre des valeurs variant entre 79,15°D (pour YN à 2,7%) à 104,7°D (pour YN à 3,5%). Les résultats de l'évolution du pH et de l'acidité en fonction du taux de protéine sont détaillés en annexe 15 et 16 respectivement.

De ce fait, nous relevons que l'augmentation du taux de protéines engendre une augmentation de l'acidité du yaourt. Ces variations sont imputables au développement des bactéries lactiques (favorisée par la disponibilité des nutriments) qui acidifient le milieu par la production d'acide lactique (d'où baisse du pH).



**Figure 27 : Evolution du pH en fonction du taux de protéines
Et du temps de conservation.**



**Figure 28 : Evolution de l'acidité en fonction du de protéines
et du temps de conservation.**

3.5. Evolution du pH en fonction du taux de WPC ou de la CNP

Des mesures physico-chimiques ont été réalisées pour étudier l'impact de l'enrichissement avec les concentrés de protéines sériques (WPC) sur le pH et l'acidité du yaourt durant vingt et un jours de conservation.

Les résultats dont les détails sont représentés en annexe 17 et 19, indiquent que la baisse de pH est observée pour les deux cas d'enrichissement. Toutefois, l'ajout de CNP entraîne une augmentation légère du pH de départ (4,84 pour YN enrichi avec 2,4% CNP). Le même constat est fait pour l'acidité (voir annexe 18 et 20).

L'augmentation des taux de fortification dans les deux cas d'enrichissement (WPC ou CNP) engendre un accroissement de l'acidité liée à la fermentation du lactose par les bactéries lactiques. L'ensemble connaît des changements de structure du produit et une modification de la composition en carbohydrates.

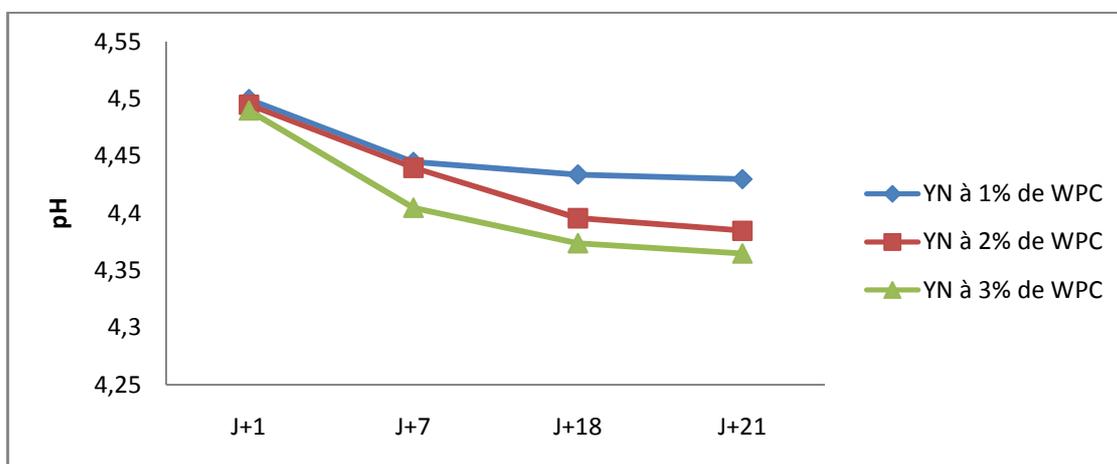


Figure 29 : Evolution du pH en fonction du taux de WPC incorporé, au cours du temps.

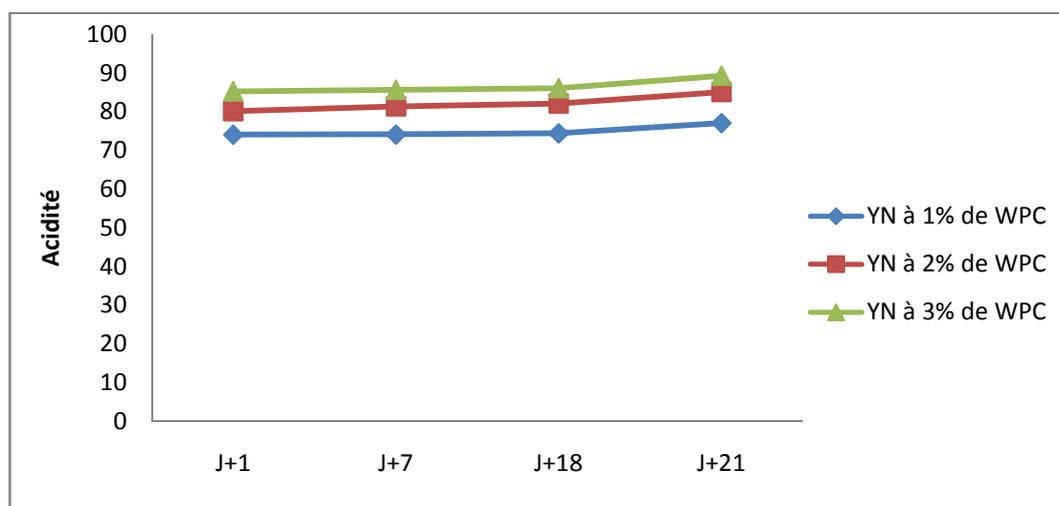


Figure 30: Evolution de l'acidité en fonction du taux de WPC incorporés, au cours du temps.

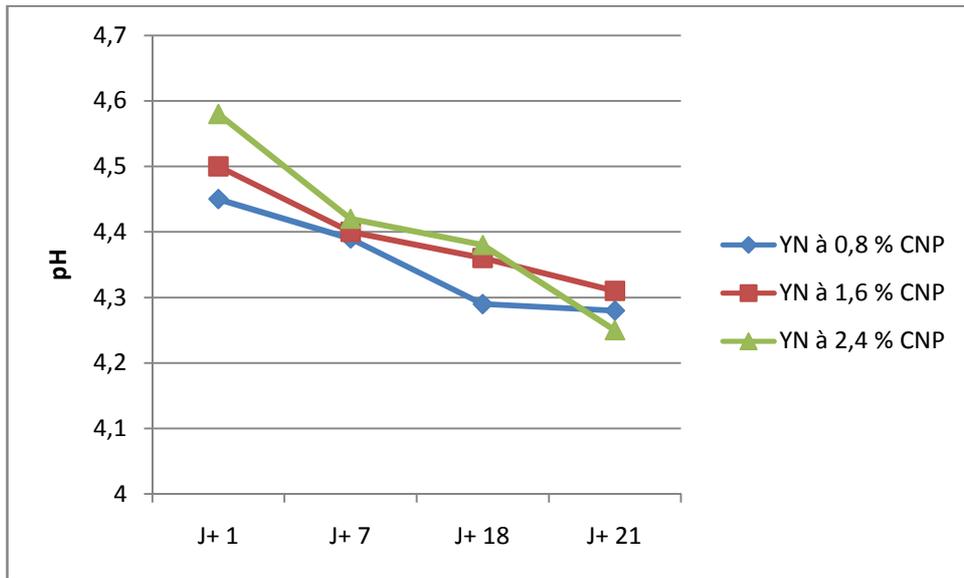


Figure 31: mesure du pH en fonction des taux de CNP rajoutés au cours de temps de conservation.

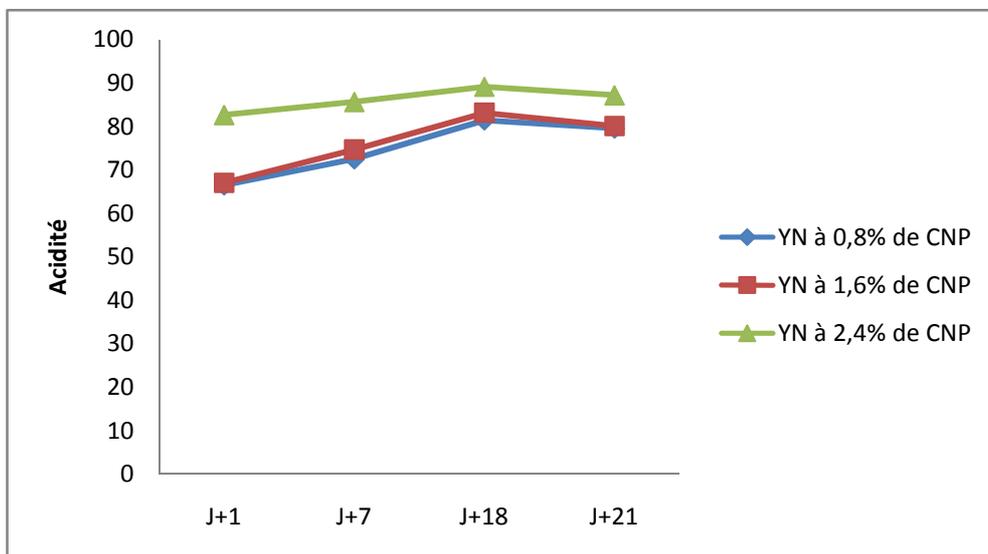


Figure 32 : Suivi de l'évolution de l'acidité en fonction des taux de CNP rajoutés, au cours du temps.

3.6. Evaluation sensorielle

Huit panélistes ont été sélectionnés pour mener à bien cette évaluation sensorielle où l'analyse est menée en suivant la procédure décrite par MEILGAARD *et al*, (1999). Les qualités organoleptiques évaluées concernent le goût, la texture, l'arôme et l'aspect.

Chaque attribut est mesuré selon une échelle d'intensité universelle de 0 à 15, où 0 = non détecté et 15 = extrêmement fort. Les résultats de cette analyse descriptive sont représentés dans le tableau qui suit :

Tableau VII : Résultats de l'analyse descriptive concernant l'aspect et la texture des échantillons de yaourt préparés.

| Attribut | PDL | | | WPC | | | CP | | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | YN à 2,7% de protéine | YN à 3% de protéine | YN à 3,5% de protéine | + 1% WPC | +2% WPC | +3% WPC | +0,8% CNP | +1,6% CNP | +2,4% CNP |
| quantité de lactosérum libre | 8,5 | 5,25 | 3,75 | 0 | 2,57 | 1,285 | 4,5 | 7,38 | 3,99 |
| granulosité « lumpiness » | 0 | 0 | 0 | 1,142 | 1,88 | 3,285 | 1,88 | 2,13 | 5,63 |
| épaisseur | 5 | 6,375 | 9,5 | 4,85 | 10,57 | 14 | 6,75 | 6,63 | 7,75 |

+ 1% WPC : Yaourt nature (YN) enrichi avec 1% concentré de protéine sérique (WPC),

+2% WPC : YN enrichi avec 2% WPC, +3% WPC : YN enrichi avec 3% WPC.

+0,8% CNP : YN enrichi avec 0,8% caséine présure (CNP), +1,6% CNP : YN enrichi avec 1,6% CNP,

+2,4% CNP : YN enrichi avec 2,4% CNP.

D'après le panel d'évaluateurs, le yaourt contrôle (YN à 2,7% de protéine) n'ayant pas subi d'enrichissement ni avec les concentrés de protéines sériques, ni avec la caséine présure, présente le taux de synérèse le plus élevé. Ceci a été confirmé avec les mesures physiques qui ont montré que l'enrichissement avec WPC conduisaient à l'élimination du phénomène de synérèse (tableau VI).

Il existe une différence significative en terme de granulosité entre les différents échantillons de yaourts préparés. La granulosité est la plus élevée au niveau des yaourts enrichis avec 2,4% CNP. D'après le panel, ce défaut est absent au niveau des yaourts nature sans adjonction de WPC ou CNP (Score =0). Ceci est dû au fait que la granulosité est apportée par les agrégats de protéines dont la taille est de 1 à 5mm. En outre, d'après les travaux de

l'équipe de ISLETEN (2006), la granulosité est élevée au niveau des yaourts enrichis avec WPI (Isolat de protéine sérique) avec un score de 6,5, faible au niveau des yaourts contrôle (score=2,4) et des yaourts enrichi avec les caseinates de Na (score 2,7). GONZALES-MARTINEZ *et al*, (2002) sont arrivés à un résultat différent. En effet, les yaourts enrichis avec la poudre de lactosérum montrent une texture sans granules plus homogène que les yaourts enrichis avec la poudre de lait. Ceci pourrait être dû à des différences de la composition entre WPI et la poudre de lactosérum.

Tous les sujets différencient les produits selon leur caractère épais. En effet, le panel a statué que l'intensité pour comprimer le gel de yaourt est plus importante avec les échantillons de YN enrichi avec 3% de WPC (score =14). Ceci est corroboré par les mesures de la viscosité où des valeurs très importantes sont enregistrées pour les YN fortifiés avec les concentrés de protéine sérique.

Tableau VII : Résultats de l'analyse descriptive concernant les attributs de flaveur

| Attribut | PDL | | | WPC | | | CNP | | |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------|---------|-------------|-----------|-----------|-------------|
| | YN à 2,7% de protéine | YN à 3% de protéine | YN à 3,5% de protéine | + 1% WPC | +2% WPC | +3% WPC | +0,8% CNP | +1,6% CNP | +2,4% CNP |
| goût de cuit | 0,125 | 0,25 | 0 | 0,285 | 1,43 | <u>1,90</u> | 0,13 | 1,5 | 0,38 |
| goût de lactosérum | 4,375 | 3 | 2,375 | 2,57 | 4 | <u>5,29</u> | 1,38 | 0,88 | 2,88 |
| goût d'étable | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,88 | 0 | 0 |
| Fermenté | 4,375 | 5,625 | <u>6,43</u> | 5,75 | 3,43 | 2 | 5,13 | 5,38 | 6 |
| sensation de goût aigre | 4 | 5,125 | <u>6,375</u> | 4,14 | 4,14 | 4,29 | 4,63 | 5 | 5,13 |
| goût salé | 1,125 | 1,5 | 1,25 | 1,79 | 1,79 | 2,5 | 2,31 | 3,19 | <u>3,31</u> |
| goût sucré | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,88 | 0,88 | 0,63 |
| astringence | 0 | 0,25 | 2,25 | 4,14 | 2,71 | <u>5,57</u> | 0,25 | 0,75 | 0,63 |
| arrière goût | 0 | 0,25 | 0,375 | 0,29 | 1 | <u>1,29</u> | 0,75 | 1,25 | 1,25 |

+ 1% WPC : Yaourt nature (YN) enrichi avec 1% concentré de protéine sérique (WPC), +2% WPC : YN enrichi avec 2% WPC, +3% WPC : YN enrichi avec 3% WPC ;

+0,8% CNP : YN enrichi avec 0,8% caséine présure (CNP), +1,6% CNP : YN enrichi avec 1,6% CNP, +2,4% CNP : YN enrichi avec 2,4% CNP.

Concernant le goût de cuit et d'après le tableau VII, il n'y a pas de différences entre les échantillons de yaourts Son intensité est très faible, elle varie de 0 à 1,9.

Le panel a ressenti un certain arrière goût et a attribué le score le plus élevé pour YN enrichi avec 3% de WPC (1,29). Toutefois, ceci reste négligeable, compte tenu de l'échelle d'évaluation qui s'étale sur 15.

L'enrichissement du YN avec WPC ou CNP n'a pas un impact très important sur la sensation de goût aigre. En effet, Les scores d'intensité des échantillons avec WPC varient de 4,14 et 4,29 comparables au YN contrôle (YN à 2,7% de protéine) dont le score est de 4. Les scores d'intensité des échantillons avec CNP varient de 4,63 et 5,31.

Le score le plus élevé pour l'intensité du goût de lactosérum est attribué au YN enrichi avec 3% de WPC (score =5,29).

Selon le panel interrogé, le goût d'étable est quasiment indétectable au niveau des différents échantillons testés, mis-à-part pour YN enrichi avec 0,8% de caséine présure où un score très faible de 0,88 est enregistré.

A titre de comparaison, l'équipe de DRAKE (2003) a recensé les attributs de saveur fréquemment rencontrés au niveau des poudres de laits écrémés, des caseinates et des WPCs. Les résultats des enquêtes proviennent des Etats Unis et d'autres pays. Les descripteurs les plus communs pour la poudre de lait écrémé sont, goût de cuit, de céréale, de carton et goût d'étable, la saveur sucré, salé et l'astringence. Par contre pour les caseinates et les WPCs, à coté de l'astringence, les saveurs les plus intenses sont : carton, animaux / chien trempé.

La saveur de fermentation est un attribut caractéristique du yaourt. L'enrichissement avec les différents ingrédients peut affecter l'appréciation de ce descripteur caractéristique de ce produit. D'après le panel interrogé, l'intensité la plus importante concernant la saveur de fermentation perçue est celle du YN préparé à partir de la poudre de lait à 3,5% de protéine non enrichi (score 6,375). D'une manière générale, Les YN enrichis avec WPC présentent les scores de saveur de fermentation les plus faible (un score de 2 pour YN enrichis avec 3% WPC). Ceci pourrait être dû aux propriétés de liaisons des arômes avec les protéines sériques.

En effet, de nombreuses études mettent en évidence des interactions entre la β -lactoglobuline, la protéine la plus abondante du lactosérum (environ 55%) et des composés d'arôme de différentes classes chimiques. Ainsi les aldéhydes (MILLS et SOLMS, 1984. ; SOSTMAN et GUICHARD, 1998), les esters (CHARLES *et al.*, 1996 ; PELLETIER *et al.*, 1998 ; REINERS *et al.*, 2000 ; FABRE *et al.*, 2002) et les cétones (O'NEILL et KINSELLA, 1987 ; JOUENNE et CROUZET, 2000 ; SOSTMAN et GUICHARD, 1998 ; ANDRIOT *et al.*, 2000) sont retenus par cette protéine par des liaisons hydrophobes.

Il est maintenant établi que la poche hydrophobe de la β -lactoglobuline coresspond à un site primaire de liaison pour les composés d'arôme (WISHNIA ET PINDER, 1966 ; DUFOUR et HAERTLE, 1990). L'existence d'un site secondaire à la surface de la protéine, postulé par DUFOUR *et al* (1990), a été confirmé par MOLINARI *et al*,(1996) par résonance magnétique nucléaire (RMN).

Les interactions composés d'arôme/ protéines laitières dépendent de nombreux autres facteurs, en particulier :

- le nombre de composés d'arôme en mélange en raison de phénomènes de compétition (SOSTMAN ET GUICHARD, 1998) ;

- le pH : la variation du pH s'accompagne d'une modification de la conformation des protéines laitières et peut avoir un impact sur la rétention des métabolites. Peu d'études examinent l'effet du pH sur les interactions caséines/ composés d'arôme. OVERBOSCH *et al*, (1991) rapportent une augmentation de la rétention des aldéhydes (hexanal et butanal) ainsi que du diacétyle avec l'augmentation du pH de 5 à 6,8, mais aucun effet n'est observé sur l'heptanone. Les auteurs suggèrent des interactions spécifiques entre les aldéhydes ou la cétone et les caséines.

Concernant la β -lactoglobuline, une augmentation de la rétention des composés d'arôme a été constatée avec une augmentation du pH de 2 à 9, liée à une meilleure accessibilité des sites primaires ou secondaires de liaison hydrophobe, suite aux modifications de la flexibilité de la protéine (JOUENNE ET CROUZET, 2000) ;

Les interactions entre caséines et composés d'arôme dépendent de la nature chimique des composés d'arôme et de la concentration en caséines. Les aldéhydes interagissent fortement avec les caséines. En effet, MAIER (1970) a montré qu'ils réagissent avec les groupements NH₂ et SH des aminoacides, en particulier des cystéines. En revanche, le panel interrogé lors de cette présente étude n'a pas vraiment différencié le yaourt fortifié avec la caséine présure du yaourt contrôle. En effet, il a attribué des valeurs proches à celles associées aux yaourts enrichis avec la PDL.

Dans la littérature, les interactions protéines laitières/ aldéhydes ont été surtout étudiées dans des systèmes simplifiés : des solutions aqueuses de caseines ou de β -lactoglobuline, à des pH proche de celui du lait (pH compris entre 6,0 et 7,0). les auteurs expliquent la rétention des arômes par des liaisons chimiques issues de la réaction de l'aldéhyde et le groupement aminiques (NH₂) libre des protéines (KIM et MIN, 1997). Dans le cas de la présente étude, le système est plus complexe et le pH est acide (pH < 4,6).

D'après le panel, le goût salé est notamment présent au niveau des yaourts enrichis avec CNP (score de 2,31 à 3,31) mais d'après l'échelle de l'intensité établie sur 15, cela reste un score très faible. L'intensité du goût sucré est indétectable au niveau des yaourts enrichis avec WPC. Elle est de 0,25 pour YN préparés à partir de PDL uniquement. Le score est, de l'ordre de 0,63 à 0,88 pour YN enrichis avec CNP. Ces scores d'intensité très faibles sont dus au fait que cette étude concerne un yaourt nature sans adjonction de sucre.

L'astringence est détectée dans pratiquement tous les yaourts testés. Les YN enrichis avec WPC présentent les scores d'intensité les plus importantes (jusqu'à 5,57 pour YN enrichi avec 3% de WPC). Par contre, l'enrichissement avec la caséine présure n'affecte pas d'une façon significative l'apparition de l'astringence. En effet, les scores restent proches de ceux attribués au YN contrôle (YN à 2,7% de protéine). L'astringence est liée aux laits ayant subis des traitements thermiques drastiques (HARWALKAR *et al*, 1989). En outre, l'astringence est attribuée à l'interaction entre les protéines sériques, le phosphate de calcium et les caséines dans le lait (JOSEPHSON *et al*, 1967). Ceci pourrait expliquer en partie le résultat des essais réalisés.

Toutefois, l'équipe de HARWALKAR (1993) a associé l'astringence à la production de γ -caséines à partir de β -caséines par rupture des liaisons peptidiques entre les acides aminés 28 et 29, 105 et 106 et 107 et 108. D'ailleurs, selon les travaux d'ISLATEN et KARAGUL-YUCEER (2006), l'intensité de l'astringence est plus élevée au niveau des yaourts enrichis avec les caseinates de sodium (score= 2,5) que pour les yaourts enrichis avec WPI (1,9) ou ceux préparés uniquement avec la poudre de lait (2,1).

3.7. Evaluation de l'effet du traitement thermique sur l'état de dénaturation des protéines sériques

3.7.1 Estimation du taux de dénaturation

L'estimation du taux de dénaturation a révélé une différence notable, selon qu'il s'agisse d'un lait qui a subi un ou deux traitements thermiques. En effet, après le traitement à 88°C/20s, le taux de dénaturation du lait frais est d'environ 6.51% et après la seconde pasteurisation de 95°C/5mn, ce taux s'élève à 23.04% (Figure 33).

Pour le lait pasteurisé (88°/20s), enrichi avec les concentrés de protéines sériques (WPC) à 1% puis re-pasteurisé à 95°C/5mn, le taux de protéine dénaturée diminue à 22.54%. Ceci peut s'expliquer par le fait que la proportion de protéine apporté par WPC n'a pas subi le premier traitement thermique infligé au lait cru.

Concernant le mix de yaourt standardisé avec la poudre de lait (7,69% de PL), le taux de dénaturation s'élève à 31.45%, mettant en relief ainsi l'effet du traitement thermique que la poudre de lait a subi en amont lors du processus de déshydratation.

L'enrichissement avec WPC du yaourt standardisé avec la poudre de lait, diminue légèrement le taux de dénaturation des protéines sérique d'environ 2.78%. En effet les concentrés de protéines sériques ajoutées semblent avoir une meilleure qualité en terme d'état de dénaturation de la fraction protéique.

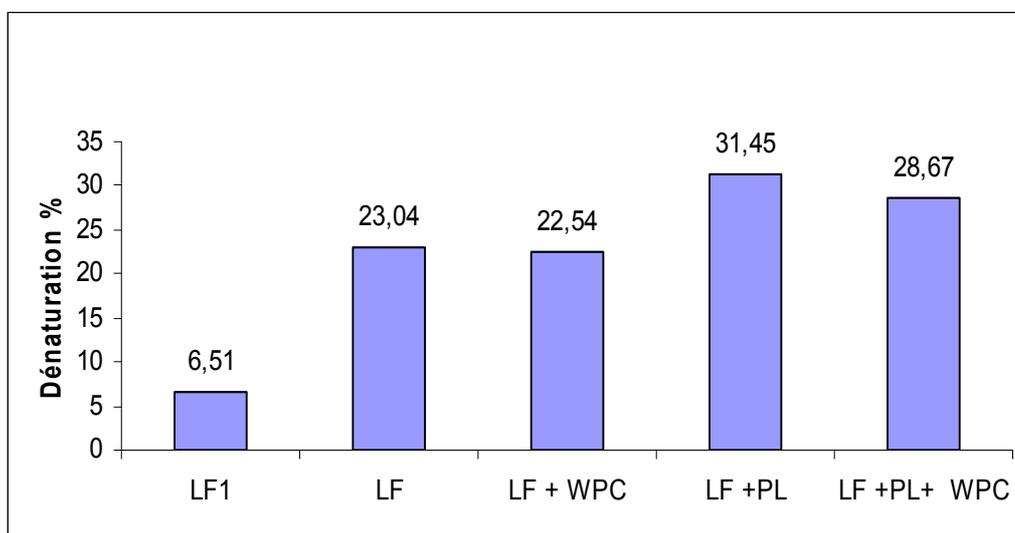


Figure 33 : Taux de dénaturation thermique des protéines sériques des différents mix préparés.

LF1 : Lait frais pasteurisé à 88°C/20.

LF : Lait frais pasteurisé 95°/5mn.

LF + WPC : lait frais + WPC pasteurisé à 95°/5mn.

LF + PL : lait Frais + poudre de lait pasteurisé à 95°/5mn.

LF + PL + WPC : lait frais + poudre de lait 26% de MG +WPC pasteurisé à 95°/5mn.

3.7.2. Caractérisation électrophorétique des différents mix

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide en conditions non dissociantes et non dénaturantes (PAGE-native) est résolutive et bien adaptée pour la séparation des protéines sériques du lait.

Appliquée aux fractions protéiques des différents mix de yaourt préparés, l'électrophorèse présente un profil de migration (figure 34) caractérisé par la variabilité des bandes selon leur intensité et leur focalisation en fine bande (cas de protéines natives) ou en larges bandes diffuses (cas de protéines dénaturées).

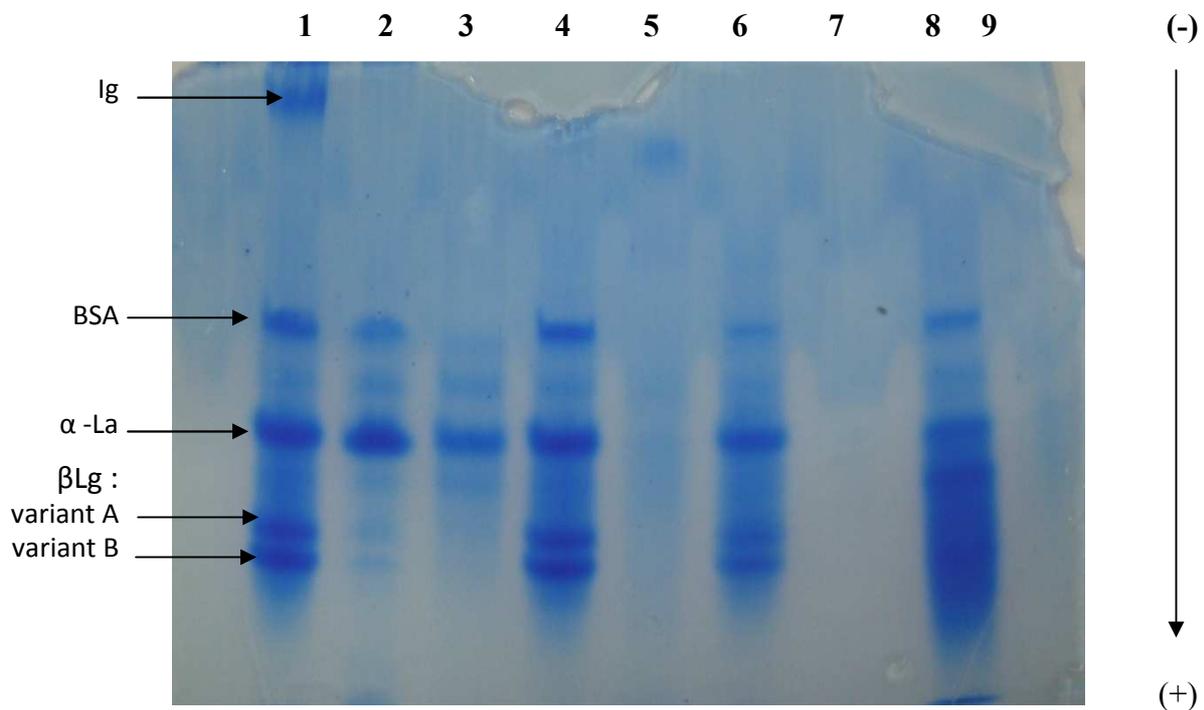


Figure 34 : Profils électrophorétiques en PAGE-native (gel à T= 12%, C=2,7%)

des protéines du lactosérum des différents mix de yaourt préparés

Piste 1 : Lait cru avant pasteurisation. Piste 2 : Lait frais après pasteurisation (88°C/20s)

Piste 3 : Lait frais après pasteurisation (95°C/5mn). ; Piste 4 : lait frais + WPC.

Piste 5 : lait frais + WPC après pasteurisation 95°C/5mn ; Piste 6 : lait frais + poudre de lait

Piste 7 : lait frais + poudre de lait après pasteurisation 95°C/5mn ; Piste 8 : lait frais + poudre de lait + WPC

Piste 9 : lait frais + poudre de lait + WPC après pasteurisation 95°C/5mn.

Concernant le lait cru non pasteurisé (la piste 01), les protéines sériques migrent en cinq bandes, représentant par ordre croissant de leur mobilité électrophorétique, les Immunoglobulines (Ig), l'Albumine sérique bovine (BSA), l' α -Lactalbumine (α -La) et la β -Lactoglobuline (variants A et B).

Après le premier traitement thermique (88°C/20seconde), des modifications importantes sont apparues se traduisant par la disparition de la bande qui correspond au Immunoglobulines et une baisse d'intensité de la BSA, de la β - Lactoglobuline et de la α -lactalbumine. En outre, pour les deux dernières protéines, les bandes sont assez diffuses et non focalisées.

Suite au second traitement thermique de 95°C pendant 5mn (piste 3), la plupart des bandes perdent de leur intensité, mise à part une bande qui migre au niveau α - lactalbumine. Certaines bandes disparaissent du profil.

Les protéines du yaourt enrichi avec WPC (piste 4) donnent un profil relativement similaire à celui obtenu à partir des yaourts non enrichis. Toutefois, nous relevons un regain d'intensité au niveau des bandes correspondant à la BSA, à la β - lactoglobuline et à α -lactalbumine. Ceci est dû à la fortification de cette préparation de yaourt avec les concentrés de protéines sériques.

Les mêmes évolutions que précédemment sont constatées pour les pistes 5, 6, 7, 8 et 9 où le traitement thermique subi dénature considérablement la majorité des protéines sériques et leur fait perdre leur comportement dans un gel d'électrophorèse.

3.7.3. Discussions des résultats

Les protéines sériques des mix de yaourt préparés montrent des profils électrophorétiques assez proches après la deuxième pasteurisation (95°C/5mn) avec un regain d'intensité de la bande diffuse localisée entre β - lactoglobuline et de la α -lactalbumine pour la préparation de yaourt standardisé avec la poudre de lait et enrichi avec WPC. Toutefois, le diagramme électrophorétique témoigne d'un état de dénaturation très avancé suite à ce traitement thermique drastique. La fortification avec WPC trouve son intérêt dans son ajout après la première pasteurisation. De ce fait, ces concentrés de protéines sériques ne subissent pas cette première dénaturation infligée au lait cru après son écrémage pour assurer sa stabilité au niveau des tanks de reconstitution.

Suite à la pasteurisation de 88°C/20 seconde, l'ordre général de thermostabilité des protéines sériques est le suivant, du moins stable au plus stable : Immunoglobulines < sérumalbumine < β - lactoglobuline < α -lactalbumine. Ces résultats sont accord avec ceux rapportés par MANJI et KAKUDA (1986), DONOVAN et MUVIHILL (1987).

Les protéines de lactosérum, qui représentent environ 20 % des protéines de lait bovin, sont des protéines globuleuses avec des niveaux élevés de structures secondaires et tertiaires. Par conséquent, elles sont sensibles à la dénaturation par divers agents, y compris le traitement thermique.

Dans le cas de l' α -lactalbumine, sa thermostabilité semble s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'une métalloprotéine qui présente la faculté de fixer des ions bivalents tels que Ca^{2+} ou Zn^{2+} . Elle se renature très facilement à la suite de dénaturation thermique mais l'apoprotéine est assez thermolabile. D'ailleurs, Le Ca^{2+} se lie dans une poche de groupes d'acide carboxylique des trois résidus d'ASP et les carbonyles d'un ASP et un résidu de Lys.

Le groupe d'acide carboxylique devient protonné au-dessous du pH 5 et perd sa capacité à lier le calcium. De ce fait, les molécules d'apoprotéine s'associent entre elles.

En outre, L' α -lactalbumine (α -La) est une protéine globulaire dont la structure est fortement ordonnée par des ponts disulfures. Elle contient 8 résidus cystéines (4 ponts disulfures) qui lui confèrent une structure tridimensionnelle assez rigide.

Certaines des conséquences les plus importantes de la dénaturation thermique des protéines de lactosérum sont dus au fait que ces protéines contiennent des ponts disulfure qui sont exposés après le traitement thermique. Ce phénomène présente des conséquences technologiques et nutritionnelles préjudiciables :

1. les protéines peuvent participer à des réactions d'échanges de ponts disulfures notamment aux températures supérieures à 75°C . Ces interactions mènent à la formation de complexes qui lient notamment la β -lg avec la κ -caséine et α -la, entraînant ainsi des répercussions profondes sur les propriétés fonctionnelles des protéines du lait, tels que la coagulation par la présuré et la stabilité au traitement thermique.

2. Formation de H_3S et $\text{H}_3\text{C-S-CH}_3$ qui sont responsables de la saveur de cuit du lait sévèrement chauffée. Ces composés sont volatils et instable et disparaissent après une semaine après la transformation.

3. la formation de déhydroalanine. Ce dernier est très réactif et peut réagir avec divers résidus d'acides aminés, en particulier la lysine, conduisant à la formation des lysinoalanine et dans une moindre mesure avec la cystéine avec la formation de lanthionine. Ces réactions réduisent la solubilité des protéines, la digestibilité et la valeur nutritive. Ce dernier aspect est d'une extrême importance, car la lysine qui est un acide aminé essentiel, ne pourra pas être utilisé par l'organisme (car condensée avec des composés carbonyles, l'ensemble n'est pas hydrolysé dans le tractus intestinal). Sa diminution dans la ration va constituer un facteur limitant de l'utilisation des autres acides aminés essentiels apportés via le bol alimentaire.

Conclusion

L'industrie de fabrication du yaourt en Algérie est fortement dépendante des marchés extérieurs de matières premières. Ceci engendre des difficultés pour garantir une bonne qualité du produit. Pour se soustraire des variations qualitatives de la matière première et de la versatilité du cours mondiale de la poudre de lait, la Laiterie Soummam d'Akbou s'est engagée dans une démarche visant à investir dans la production de lait cru en développant l'élevage bovin algérien. De ce fait, l'analyse des caractéristiques du lait collecté pour cette unité de transformation, s'est avérée nécessaire et essentielle pour déterminer les points de défaillance, afin de maîtriser et d'améliorer la qualité du produit fini.

Les résultats de l'évaluation de la qualité physico-chimique du lait livré à l'unité, à travers les différents centres de collecte, ont révélé que les teneurs moyennes obtenues en extrait sec total, matière grasse, protéines et densité sont très satisfaisantes à l'exception des centres de Tizi Ouzou et à un degré moindre celui de Batna-Aïn el Beïda où les taux se situent parfois au dessous des normes requises. Néanmoins des variations significatives ont été enregistrées selon la période de prélèvement considérée et/ou le centre de collecte considéré. Ces variations, elles-mêmes sujettes aux effets de la nature de l'alimentation et des paramètres intrinsèques liés à l'animal, ne contribuent pas à garantir la qualité physico-chimique du lait qui est réceptionné à l'usine. D'où l'effort important à mener en amont par les producteurs pour atténuer ces fluctuations et standardiser un tant soit peu la matière première en améliorant la conduite du troupeau et en apportant une alimentation équilibrée tout au long de l'année.

Dans ce cadre, les analyses effectuées selon les paramètres mesurés ont montré que le lait provenant du centre de collecte de Tizi-Ouzou donnait les taux les plus faibles. De ce fait, il paraît intéressant à l'avenir de se pencher sur le suivi des conditions d'élevage et de traite dans cette région ainsi que la réalisation d'un échantillonnage plus étoffé en fonction de la période de collecte afin de mieux appréhender les causes de ces déficiences et y remédier.

Un des objectifs principaux assignés à ce travail est d'explorer l'impact des enrichissements avec des concentrés de protéines laitières (concentrés de protéines sérique et caséine présure) sur les propriétés organoleptiques du yaourt tel que fabriqué à la Laiterie Soummam d'Akbou.

Les essais réalisés dans ce sens ont révélé que l'enrichissement avec les concentrés de protéines sérique (WPC) améliore d'une façon très significative la viscosité et diminue le

taux de synérèse des yaourts. Toutefois, certaines propriétés sensorielles sont négativement affectées par l'adjonction d'une proportion de WPC dépassant 1%.

Le yaourt nature enrichi avec la caséine présure (CNP) présente des propriétés organoleptiques meilleures que les deux autres types d'échantillons de yaourt. Le goût de cuit et de lactosérum se trouvent diminué et l'intensité de la flaveur de fermentation est augmentée. Cependant, l'enrichissement du yaourt nature avec la CNP n'améliore pas la viscosité et le taux de synérèse.

Avec ces effets favorables, notamment sur la texture et la valeur nutritionnelle du produit fini, l'ajout de protéines sériques du lait comme ingrédient de fabrication du yaourt est une piste intéressante à explorer au niveau technologique surtout que jusqu'à présent les gros tonnages de lactosérums issus de nos fromageries sont peu valorisés.

Néanmoins, ces protéines sont connues comme étant sensibles aux traitements thermiques. Elles doivent être préparées avec soins pour préserver leur forme native. En effet, en plus de l'effet néfaste sur leur solubilité, la dénaturation qui suit un chauffage drastique induit malheureusement une baisse sensible de la valeur nutritionnelle du produit suite au déroulement des réactions de Maillard (brunissement non enzymatique).

C'est précisément pour mieux apprécier ces données « in situ » sur un produit fabriqué que nous nous sommes proposés de voir, grâce à la mise en œuvre de techniques électrophorétiques appropriées, l'effet du traitement thermique de pasteurisation tel qu'il est pratiqué à l'unité sur les protéines sériques du lait.

Les essais réalisés ont montré qu'il y a un effet de dénaturation non négligeable estimé à environ 30% des protéines sériques, quand celles-ci se retrouvent dans le lait avec les micelles de caséines. Cet effet est multiplié dans le cas des laits recombinés additionnés au lait frais où le double traitement (déshydratation/pasteurisation) est préjudiciable à la qualité nutritionnelle du produit fabriqué.

C'est pour ces raisons et dans les conditions présentes de notre industrie laitière, l'effort à mener se situe à plusieurs niveaux :

- s'orienter vers l'achat et l'utilisation, pour la standardisation du lait frais, de poudres de lait type « low heat » ayant subi un traitement de déshydratation le moins préjudiciable ;
- améliorer la qualité hygiénique du lait frais collecté afin de pouvoir utiliser un traitement de pasteurisation où le barème (température/temps) induira le moins d'effets néfastes ;
- enfin, utiliser des techniques alternatives comme la bactofugation ou microfiltration pour diminuer la charge microbienne à l'arrivée du lait à l'usine.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- ABU –JDAYIL B. and MOHAMEED H. (2002).** Experimental and modeling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *Journal of Food Engineering*, 52, 359 – 365.
- AMELLAL R. (1995).** Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000. *Options Méditerranéennes, Série B*, 14.
- ANDRIOT I., HARRISON M., FOURNIER N. and GUICHARD E.(2000).** Interactions between methyl ketones and β -lactoglobulin : Sensory analysis, headspace analysis, and mathematical modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4246-4251.
- ANONYME. (1992).** Norme Internationale ISO 5492. Analyse sensorielle ; contrôle de la qualité des produits alimentaires. AFNOR.
- BARTHÉLÉMY J. (1998).** Evaluation d'une grandeur sensorielle complexe : description quantifiée. In : « Evaluation Sensorielles ». 2^{ème} éd. Tec&Doc. Lavoisier, Paris. 149-169.
- BERGAMAIER D. (2002).** Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *Lactobacillus rhamnosus* RW-959M dans un milieu à base de permeat de lactosérum. Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada.
- BILIADERIS C.G., KHAN M.M. et BLANK G. (1992).** Rheological and sensory properties of yogurt from skim milk and ultrafiltered retentates. *International Dairy Journal*, 2, 311-323.
- CALLIER P. (2001).** Traité d'Evaluation Sensorielle. Urdapilleta I., Ton Nu C., Saint Denis C. et Huon dekermade C, F. (Eds), Dunod, Paris. 363-391.
- CAMPBELL L.B. and PAVLASEK S.J. (1987).** Dairy products as ingredients in chocolate and confections. *Food Technology*, 41 (10), 78-85.
- CHARLES M., BERNAL B. and GUICHARD E. (1996).** Flavor Science ; Recent Developpement. Taylor, A.J. & Mottram, D.S. (Eds), the Royal Society of Chemistry, Cambridge, England.
- CHAVES A.C.S.D., FERNANDAZ N., LERAYER A.L.S., MIERAU I, KLEEREBEZEM M. and HUGENHOLTZ J. (2002).** Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (11), 5656-5662.
- CHEFTEL J.C. et CHEFTEL H. (1996).** Introduction à la Biochimie et à la Technologie des Aliments, Tec. et Doc., Lavoisier, Paris.
- CHILLIARD Y., FERLAY A. et DOREAU M. (2001).** Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Productions Animales*, 14(5), 323-335.
- CHILLIARD Y., FERLAY A., MANSBRIDGE R.M. and DOREAU M. (2000).** Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Annales de Zootechnie*, 49(3), 181-205.

- COLLAS L. (2008).** La ration sèche chez la vache laitière, étude de son impact sur la production laitière et la reproduction. Thèse de Doctorat présentée à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.
- COURTIN P., MONNET M. and RUL F. (2002).** Cell- wall proteinases PrtS and Prt B have a different role in *streptococcus thermophilus* / *Lactobacillus bulgaricus* mixed cultures in milk. *Microbiology*, 148, 3413 -3421.
- D'HOOR P. et COULON J.B. (1994).** Variations de la production et de la composition du lait au pâturage en fonction des conditions climatiques. *Annales de Zootechnie*, 43,105-109.
- DALGLEISH D. G. (1990).** Denaturation and aggregation of serum proteins and caseins in the heated milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1995-1999.
- DE WIT J.N. et HONTELEZ- BACKX E. (1981).** Les propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum ; conséquences des traitements thermiques. *Technique Lait*, 952, 19- 22.
- DELLAGLIO F., DE ROSSART H., TORRIANIS S., CURK M. et JANSSENS D. (1994).** Caractérisation générale des bactéries lactiques. Tec&Doc (Eds), Loriga, 1, 25-116.
- DELOBETTE H., FRIRY A., PLAWNIAK F. et EGRY J.M (1991).** Le dosage des protéines. *Biofutur*, 41, 3-11.
- DOLEYRES Y. (2003).** Production en conteneur du ferment lactique probiotique par la technologie des cellules immobilisées. Thèse Doctorat. Université de Laval. Quebec. 167 pages.
- DONOVAN M. and MULVIHILL DM. (1987).** Thermal denaturation and aggregation of whey proteins. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 11(1), 87-100.
- DRAKE M.A., KARAGUL-YUCEER Y., CADWALLADER K. RCIVILLE G. V. and TONG P. S. (2003).** Determination of the sensory attributes of dried milk powders and dairy ingredients. *Journal of Sensory Studies*,18,199–216.
- DUFOUR E, MARDEN M.C. and HAERTLÉ T.(1990).** β -lactoglobulin Binds retinol and protoporphyrin IX at two different binding sites. *FEBS Letters*, 277, 223-226
- DUFOUR E. and HAERTLÉ T.(1990).** Binding affinities of β -ionone and related flavor compounds to β -lactoglobulin: effect of chemical modification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1691-1695.
- ANONYME. (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et nutrition, 28.
- FABRE M., AUBRY V. and GUICHARD E. (2002).** Comparaison of different methods: static and dynamic headspace and solid-phase microextraction for the measurement of interactions between milk proteins and flavor compounds with an application to emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 1497-1501.
- GHOZLANE F, BOUSBIA A, BENYOUCEF M. T. et YAKHLEF H. (2009).** Impact technico-économique du rapport concentré / fourrage sur la production laitière bovine : Cas des exploitations de Constantine. *Livestock Research for Rural Development*, 21(6).

GONZALEZ –MARTINEZ C., BECERRA M., CHAFER M., ALBORS A., CAROT J . M. and CHIRALT A. (2002). Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 334–340.

GUICHARD E. and LANGOURIEUX S. (2000). Interactions between β -lactoglobulin and flavor compounds. *Food Chemistry*, 71, 301–308.

GUZMAN-GONZALEZ M., MORAIS F. and AMIGO L. (2000). Influence of skimmed milk concentrate replacement by dairy products in a low fat set-type yogurt model system. Use of caseinates, co-precipitate and blended dairy powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 433–438.

HANSEN A.P. and HEINIS J.J. (1991). Decrease of vanillin flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 74, 2936–2940.

HARWALKAR V. R., CHOLETTE H. MCKELLAR R.C. and EMMONS D.B. 1993. Relation between proteolysis and astringent off-flavor in milk. *Journal of Dairy Science*, 76, 2521 –2527

HARWALKAR V.R. BOUTIN -MUMA B. CHOLETTE H. MCKELLAR R.C. and EMMONS D. B. (1989). Isolation and partial purification of a stringent compounds from ultra high- temperature sterilized milk. *Journal of Dairy Research*, 56, 367–373.

HASSAN A.N., FRANK J.F., FARMER M.L., SCHMIDIT K.A. and SHALABI S.A. (1995). Observation of encapsulated lactic acid bacteria using confocal scanning laser microscopy. *Journal of Dairy Science*, 78, 2624-2628.

HEERTJE I., VISSER J. and SMITS P. (1985). Structure formation in acid milk gels. *Food microstructure*, 4, 267-277.

HILLIER R. M. (1976). The quantitative measurement of whey proteins using polyacrylamide gel electrophoresis. *Journal of Dairy Research*, 43, 259-265.

HODEN A. et COULON J.B. (1991). Maîtrise de la composition du lait : Influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. *Productions Animales*, 4 (5), 361-367.

HODEN A., COULON J.B. et DULPHY J.P. (1985). Influence de l'alimentation sur la composition du lait. Effets des régimes alimentaires sur les taux butyreux et protéique. *Bulletin Technique du Centre de Recherche Zootechnique et Vétérinaire Theix, INRA.*, 62, 69-79.

IMHOF R., GLATTLI H. and BOSSET J.O. (1994). Volatile organic aroma compounds produced by thermophilic and mesophilic mixed strain dairy starter cultures. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 27, 442-449.

ISLETEN M. and KARAGUL-YUCEER Y. (2006). Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science*, 89, 2865–2872

JOSEPHSON R.V., THOMAS E.L., MORR C.V. and COULTER S.T. (1967). Relation of heat-induced changes in protein -salt constituents and astringency in milk system. *Journal of Dairy Science*, 50, 1376– 1383.

- JOUENNE E. and CROUZET J. (2000).** Effect of pH on retention of aroma compounds by β -lactoglobulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1273-1277.
- KADI S.A., DJELLAL F. et BERCHICHE M. (2007).** Caractérisation de la conduite alimentaire des vaches laitières dans la région de Tizi-Ouzou, Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 19(4).
- KESSLER H.G. (1998).** The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition. *Texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF. Symposium. Vicenza, Italy, 5-6 May 1997*, 93-105
- LAMOUREUX L. (2000).** Exploitation de l'activité β -galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.
- LARPENT J.P. (1989).** Microbiologie alimentaire. Ed, techniques et documentation Lavoisier. Paris, 46, 1-117.
- LEORY F., DEGEEST B. and DE VUYST L. (2002).** A novel area of predictive modeling: describing the functionality of beneficial micro-organisms in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 73, 251-259.
- LESSCHAEVE I. (1997).** Etude des performances des sujets effectuant l'analyse descriptive quantitative de l'odeur ou de l'arôme des produits alimentaires. Recherche des liens entre épreuves de sélection et épreuves de profil. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne. ENSBANA, Dijon, France.
- LOONES A. (1994).** Lait fermenté par des bactéries lactiques. In « bactéries lactiques ». Vol II. DE ROISSART H. et LUQUET F.M. Ed. Loriga, Paris. 37-151.
- LOWRY O.H., ROSEBROUGH N. J., FARR A. L. and RANDALL R. J. (1951)** Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biochemistry*, 193, 265-275.
- LUQUET. (1985).** Lait et produits laitiers : Transformations et technologies. Ed, techniques et documentation, Lavoisier. 633.
- MAC LEOD P., SAUVAGEOT F. et KÖSTER E.P. (1998).** Les caractéristiques d'une réponse sensorielle In : « Evaluation Sensorielles ». 2^{ème} éd. Tec&Doc. Lavoisier, Paris. 6-29.
- MAHAUT M., JEANTET R., SCHAK P. et BRUL G. (2000).** Les produits industriels laitiers. Ed, techniques et documentation, Lavoisier, Paris. 26-40.
- MAIER H.G. (1970).** Volatile flavoring substances in foodstuffs. *Angewandte Chemie International Edition*. 9, 917-926.
- MANJI B. and KAKUDA Y. (1987).** Determination of whey protein denaturation in heat processed milks: comparison of three methods. *Journal of Dairy Science*, 70, 1355-1361.
- MARTY-TEYSSET C. DE LA TORRE F. and GAREL J-R. (2000).** Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus* upon aeration: involvement. *Applied*

and Environmental Microbiology, 66(1), 262-267.

MCFIE H.J., BRATCHELL N., GREENHOFF K. and VALLIS L. (1989). Designs to balance the effect of order of presentation and first-order effects in hall tests. *Journal of sensory Studies*, 4, 129-148.

MEILGAARD M., CIVILLE G. V. and CARR B. T. (1999). The Spectrum descriptive analysis method. *Sensory Evaluation Techniques*. 3 rd(ed). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

MILLS O.E and SOLMS J. (1984). Interaction of selected flavour compounds with whey proteins. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 17, 331-335.

MODLER H.W. (1985). Functional properties of nonfat dairy ingredients. A review. Modification of products containing casein. *Journal of Dairy Science*, 68, 2195-2205.

MONTET A. (2001). Les principales méthodes descriptives et leurs variantes in « *Traité d'Evaluation Sensorielle* ». Urdapilleta I., Ton Nu C., Saint Denis C. and Huon dekermade C, F. (Eds), Dunod, Paris, 3-147.

MURRAY J.M., DELAHUNTY C.M. and BAXTER I.A. (2001). Descriptive sensory analysis: Past, present and future. *Food Research International*. 34, 461-471.

NGOUNOU C., NDJOUENKEU R., MBOFUNG F. et NOUBI I. (2003). Mise en évidence de la biodisponibilité de calcium et du magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé du Zébu. *Journal of Food Engineering*, 57, 301-307.

NOZNICK P.P. (1982). Dairy Ingredients in food. *Bulletin de la Fédération Internationale de Laiterie*, 142, 60-66.

O'NEILL T.E. and KINSELLA E. (1987). Binding of alkanone flavors to β -lactoglobulin: effects of conformational and chemical modification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 770-774.

OVERBOSCH P., AGETEROF W.G.M. et HARING P.G.M.. 1991. Flavor release in the mouth. *Food Reviews International*, 7, 137-184.

PACI KORA E. (2004). Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception et de la texture et de la flaveur ? Thèse de Doctorat présentée à l'Institut National Agronomique. Paris Grignon.

PELLETIER E., SOSTMAN K. and GUICHARD E. (1998). Measurement of interactions between β -lactoglobulin and flavor compounds (esters, acids and pyrazines) by affinity and exclusion size chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1506-1509.

POUGHEON S. (2001). Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse de Doctorat Vétérinaire présentée à l'université Paul-Sabatier de Toulouse, France.

REGO O.A., PORTUGAL P.V., SOUSA M.B., ROSA H.J.D., VOUZELA C.M., BORBA A.E.S. and BESSA R.J.B. (2004). Effect of diet on the fatty acid pattern of milk from dairy cows. *Animales*

Research, 53, 213-220.

REINERS J., NICKLAUS S. and GUICHARD E. (2000). Interaction between β -lactoglobulin and flavour compounds of different chemical classes. Impact of the protein on the odour perception of vanillin and eugenol. *Lait*, 80(3), 347-360

REMEUF F., MOHAMMED S., SODINI I. and TISSIER J.P. (2003). Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *International Dairy Journal*, 13, 773 –782.

ROUSSEAU M. (2005). La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. 9 pages.

ROUSSEL Y., PEBAY M., GUEDON G., SIMONET J.P. and DECARISN B. (1994). Physical and genetic map of streptococcus thermophilus A054. *Journal of Bacteriology*, 176(24), 7413- 7422.

RULQUIN H., HURTAUD C., LEMOSQUETS. et PEYRAUD J.L. (2007). Effet des nutriments énergétiques sur la production et la teneur en matière grasse du lait de vache. INRA, Productions Animales, 20, 163-176.

SCHKODA A, STUMPH A. and KESSLER H.G. (1998). Stability of texture of fermented milk products in relation to composition. *Texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF Symposium. Vicenza, Italy, 5-6 May 1997*, 115-121.

SCHMIDT J.L., TOURNEUR C. et LENOIR J. (1994). Fonction et choix des bactéries lactiques laitières in « bactéries lactiques ». Vol II. DE ROISSART H. et LUQUET F.M. Ed. Lorica, paris. 37-46.

SINGH SUDHEER K., AHMED SYED U. and ASHOK P. (2006). Yogurt science and technology. 2nd Ed. Cambridge : woodhead Publishing.

SOSTMAN K. and GUICHARD E. (1998). Immobilized β -lactoglobuline on a HPLC-column: a rapid way to determine protein-flavor interactions. *Food Chemistry*. 62, 509-513.

SRAÏRI M.T., HASNI ALAOUI I., HAMAMA A. et FAYE B. (2005). Relations entre pratiques d'élevage et qualité globale du lait de vache en étables suburbaines au Maroc. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 156(3) 155-162.

STRINGLER F. (1998). L'organisation pratique de la mesure sensorielle. Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique. 2^{ème} éd. Tec&Doc (Eds), lavoisier, Paris, 46-94.

TAMIME A. Y. and ROBINSON R.K. (1985). Background to manufacturing practice. *Yoghurt. Science and technology*. Tamime, A. Y., & R.K. Robinson. (Eds), Pergamon Press, Paris. 7-90.

TAMIME A. Y., KALAB M. and DAVIES G. (1984). Microstructure of set-style yoghurt manufactured from cow's milk fortified by various methods. *Food Microstructure*. 3, 83-92.

TAMIME A.Y. and DEETH H.C. (1980). Yogurt: technology and biochemistry. *Journal of Food Protection*, 43, 12, 939-977.

TAMIME A.Y. and ROBINSON R.K. (1999). Yogurt science and technology. 2nd Ed. Cambridge : woodhead Publishing.

TAMIME, A. Y., E. BARRANTES , and A . M. SWORD. (1996). The effects of starch -based fat

substitutes on the microstructure of set- style yogurt made from reconstituted skimmed milk powder. Journal of Dairy Technology, 49:1– 10.

VAN MARLE M. (1998). Structure and rheological properties of yoghurt gels and stirred yoghurts. Thèse University of Twente, Enscheded, Pays Bas.

VIGNOLA C.L. (2002). Science et Technologie du Lait. Tec. et Doc., Lavoisier, Paris.

VISSER J., MINIHAN A., SMITS P., TJIAN S.B. and HEERTJE I. (1986). Effects of pH and temperature on the milk salts system. Netherlands Milk Dairy Journal, 40, 351-368.

WEBER F. (1994). Altérations des produits laitiers par les bactéries lactiques. In « Bactéries lactiques ». De Roissart, H. luquet, F.M.(Eds), Iorica, Uriage. 567-572.

WISHNIA A. and PINDER T.W. (1966). Hydrophobic interactions in Proteins. The alkane binding site of β -lactoglobulin A and B. Biochemistry, 5, 1534-1542.

YAKHLEF H. (1989). La production extensive de lait en Algérie. Options Méditerranéennes - Série Séminaires, 6, 135-139

YAKHLEF H., MADANI T., GHOZLANE F. et BIR B. (2010). Rôle du matériel animal et de l'environnement dans l'orientation des systèmes d'élevages bovins en Algérie ; in : « la filière lait en Algérie ». Communication aux 8^{èmes} Journées des Sciences Vétérinaires ,18 et 19 avril. Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger.

Annexes

Annexe 1 : les quantités de poudre mises en œuvres pour les différentes formulations

1. Variation du taux de protéine des mix de yaourt

Valeurs cibles :

- Taux de protéine = 2,7%
- MG= 2%
- La quantité de poudre de lait (PL) à 26% de MG pour avoir MG =2% :

Dans 100g de PL → 26% de MG

$$X1 \rightarrow 2\%$$

$$X1 = 2 * 100 / 26 \quad \Rightarrow \quad X1 = 7,69g$$

- La proportion de protéine apportée par X1 :

Dans 100g de PL → 28,63% de protéine

$$7,69g \rightarrow X2$$

$$X2 = 7,69g * 28,63 / 100 \quad \Rightarrow \quad X2 = 2,2\%$$

Donc la poudre de lait à 26% de MG apporte 2% de MG et 2,2 % de protéine, le reste sera apporté par la poudre de lait à 0% de MG : $X3 = 2,7\% - 2,2\% = 0,5\%$

- La quantité de poudre de lait à 0% de MG :

Dans 100g de PL → 33,85% de protéine

$$X4 \rightarrow 0,5\%$$

$$X4 = 0,5 * 100 / 33,85 \quad \Rightarrow \quad X4 = 1,48g$$

Pour préparer 100ml de mix de yaourt à 2,7% de protéine, il faut : $X1 = 7,69g$, $X4 = 1,48g$ et 89,83 d'eau ($100 - (X1 + X4)$).

$X1$ = quantité de poudre de lait à 26%

$X2$ = La proportion de protéine apportée par X1

$X3$ = La proportion de protéine apportée par la poudre de lait à 0% de MG

$X4$ = La quantité de poudre de lait à 0% de MG

On procède de la même façon pour le mix de yaourt à 3% et 3,5% de protéine. La quantité de poudre de lait à 26% de MG reste inchangée mais celle de la poudre de lait à 0% de MG varie en fonction du taux de protéine du mix.

2. Variation des taux de WPC

- Enrichissement avec 1% de WPC
- Mix du départ est à 2,7% de protéine
- Le concentré de protéines sériques (WPC) apporte 0,8% de protéine
- Volume du mix préparé = 2000ml

- La quantité de WPC ajouté :

$$100\text{ml} \rightarrow 1 \text{ de WPC}$$

$$2000\text{ml} \rightarrow Y1$$

$$Y1 = 2000 * 1 / 100 \iff Y1 = 20\text{g de WPC}$$

- La quantité de protéine contenue dans 20g de WPC

$$\text{Dans } 100\text{g de WPC} \rightarrow Z = 80\text{g de protéine}$$

$$20\text{g} \rightarrow Y2$$

$$Y2 = 20 * 80 / 100 \iff Y2 = 16\text{g}$$

NB : le yaourt aura $2,7\% + 0,8\% = 3,5\%$ de protéine

On procède de la même façon pour le mix de yaourt enrichi avec 2% et 3% de WPC.

Le même raisonnement est suivi pour l'enrichissement avec la caséine présure mais $Z = 84,5\%$

Y1 : La quantité de WPC à ajouter pour préparer 2L de mix de yaourt enrichi avec 1% de WPC.

Y2 : La quantité de protéine contenue dans Y1.

Z = proportion de protéine contenue dans la poudre de WPC ou de CNP déterminée par la méthode de Kjeldahl

Annexe 2 : Mode opératoire de dosage du taux de protéine par la méthode de Kjeldahl

- Minéralisation

L'échantillon (la prise d'essai est de 0,5g pour la poudre de lait et 1g pour le yaourt) est introduit dans le tube de minéralisation (matras de 250ml) puis sont ajoutés, ce qui suit :

- deux comprimés kjeltabs (pour accroître la vitesse de conversion des matières azotés en sulfate d'ammonium) ;
- 15ml d'acide sulfurique très concentré (95%-98%) ;

Après avoir homogénéisé le contenu du matras, positionner le collecteur de fumées sur les matras et activer le scrubber. Les matras sont ensuite transférés sur le minéralisateur préchauffé à 420°C

La minéralisation dure 1h05mn, le minéralisât doit être limpide et exempt de matière non digérée. Après le refroidissement (15 à 20mn), le tube de minéralisation est placé sur le support du distillateur.

NB : le blanc doit être fait dans les conditions que les échantillons à analyser, avec 0,85g de saccharose, deux comprimés kjeltabs, 5ml d'eau distillée et 15ml d'acide sulfurique.

- Distillation

Le contenu du matras est dilué avec 80ml d'eau distillée, puis alcaliniser avec 70 ml de soude à 40%.

Le distillat est récupéré dans un erlen Meyer de 250ml, contenant 50 ml d'acide borique (H_3BO_3 à 4%) destiné à fixer l'ammoniac

- Titrage acido-basique

L'ammoniaque piégé par l'acide borique contenu dans l'erlen Meyer est titrée par un acide (HCl à 0,1N). L'ammoniaque augmente le pH de la solution et la quantité d'HCl rajoutée pour revenir au pH initial, détectée par l'utilisation d'un indicateur coloré (la couleur vire du bleu au rose), est proportionnelle à la quantité d'ammoniaque. Le volume de l'acide est noté à 0,5ml près.

Annexe 3 : Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode acido-butyrométrique

On introduit dans un butyromètre 10ml d'acide sulfurique de densité 1.820. On ajoute 11ml d'eau distillée, 2,5g de la poudre de lait à analyser et 1ml de l'alcool amylique.

Après avoir fermé le butyromètre, on procède à l'homogénéisation par retournement jusqu'à complète dissolution. La dernière étape est la centrifugation pendant 5mn à 1200 tour /mn.

Annexe 4 : Détermination du taux d'humidité

On place une coupelle en aluminium sur la balance qui se trouve à l'intérieur de la chambre chaude du dessiccateur, on tare. On dépose 4g d'échantillons à analyser à la surface de la coupelle, puis on démarre l'analyse en appuyant sur la touche START de l'appareil, Cet appareil s'arrêtera automatiquement à la fin de l'analyse.

Annexe 5 : Détermination de l'acidité

- Peser 500/a de la poudre de lait dans un bécher. « a » étant la teneur de l'échantillon en solide non gras, exprimé en pourcentage en masse. Il est calculé en soustrayant de 100, la teneur en matière grasse et la teneur en eau.
- Préparer le lait reconstitué en ajoutant 50ml à la prise d'essai. Laisser reposer 20mn ;
- Le contenu du bécher est titré par addition, à l'aide d'une burette, de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1mole/l jusqu'à pH 8,4.
- Noter le volume de solution d'hydroxyde de sodium utilisé

Annexe 6 : Détermination de la masse volumique

- Peser dans un bécher de 250ml 100g de poudre de lait.
- Placer l'entonnoir sur l'éprouvette et transvaser la poudre de lait à l'aide d'une

spatule.

- Fixer l'éprouvette sur l'appareil de mesure de la masse volumique réglé à 625 tapotements.
- Après tapotement, égaliser la surface avec une spatule et lire le volume.

Annexe 7 : Modalité de mesure de la viscosité

- Placer l'interrupteur général (situé sur le panneau arrière) sur la position ON.
- Après stabilisation de l'écran d'affichage, retirer le mobile et presser une touche quelconque. Après cette opération le DV-I commence son réglage automatique de zéro, « autozeroing ».
- Après environ 15secondes l'écran s'affiche, remettre le mobile et presser une touche quelconque, à ce moment là l'écran normal du DV-I s'affiche.
- Presser la touche de sélection du mobile (SELECT SPINDLE) ; la lettre S commence à clignoter, régler le numéro du mobile par les flèche haut/ bas ↓↑ pendant que le S clignote. Lorsque le code du mobile souhaité est affiché, presser une nouvelle fois sur la touche SELECT SPINDLE, la lettre S cesse de clignoter, ainsi le nouveau code du mobile est accepté.
- Pour sélectionner la vitesse, presser une des flèches haut/ bas ↓↑ ce qui affiche la vitesse déjà sélectionnée dans la zone à droite du RPM. Régler la vitesse par les flèches haut/ bas (la vitesse utilisée est de 10 tour/mn). Lorsque la vitesse souhaitée est affichée, presser une nouvelle fois sur la touche SET SPEED pour confirmer.

Une fois que toutes ces étapes sont effectuées, la mesure de la viscosité peut commencer :

- Placer et centrer le mobile et l'immerger dans le produit, en prenant soin de ne pas toucher le fond du pot.
- Presser la touche MOTOR ON/OFF pour que le viscosimètre DV-I commence à tourner.
- La viscosité est affichée en centi-poise (cP). Après quelques secondes de rotation du mobile, noter la valeur se répétant à plusieurs reprises ou se stabilisant pendant un laps de temps important, cette valeur obtenue correspond à la viscosité de l'échantillon pour essai.

Annexe 8 : Détermination de la teneur en protéines par la méthode de LOWRY et al (1951)

1. Solutions :

Solutions alcalines A

- Soude 0.1 N.....500 ml
- Carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3).....10 g

Solution cuivrique B

- $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$ (0.32 g/ 100ml).....2 ml
- Tartrate double de Na et de K (1 g/100ml).....2 ml

Solution C

- Solution A50 ml
- Solution B.....1 ml

Solution mère de BSA

- BSA.....10 mg
- Eau distillée100 ml

Gamme étalon

A partir de la solution de BSA, des dilutions sont préparées suivant le tableau ci-dessous

| | | | | | | |
|--|------|-----|-----|-----|-----|------|
| Concentration en BSA $\mu\text{g/ml}$ | 0 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Solution mère de BSA (μl) | 0 | 100 | 250 | 500 | 750 | 1000 |
| Eau distillée (μl) | 1000 | 900 | 750 | 500 | 250 | 0 |

2. Méthode

- 1 ml d'échantillon contenant 100 μg de protéine maximum et 25 μg minimum
- ajouter 5 ml de solution C et mélanger ;
- laisser 10 mn à température ambiante ;
- ajouter 0.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu ;
- laisser 30mn à l'obscurité ;
- lire la DO à 750 nm.

3. Expression des résultats

Une courbe étalon est tracée en portant sur l'axe des abscisses, les concentration en BSA des dilutions (gamme étalon) préalablement préparée et sur l'axe des ordonnées, les DO mesurées respectivement pour chaque dilution.

La concentration de la protéine inconnue X est déterminée en portant la valeur de la DO correspondante sur l'axe des ordonnées qui est ensuite projetée sur l'axe des abscisses.

**Annexe 9 : Electrophorèse en conditions non dissociantes et non dénaturantes
(PAGE-native)**

Solution d'acrylamide (A)

| | |
|--------------------|--------|
| Acrylamide..... | 36 g |
| Bisacrylamide..... | 1 g |
| Eau distillée..... | 100 ml |

Tampon de gel (B)

| | |
|--------------------|--------|
| Tris..... | 9.14 g |
| Eau distillée..... | 100 ml |
| Eau distillée..... | 100 ml |

Ajuster à pH 8.9 avec de HCl 4N

Tampon d'électrode (pour une plaque)

| | |
|-------------------|--------|
| Tris..... | 0.12 g |
| Glycine..... | 0.58 g |
| Eau distillé..... | 200 ml |

Ajuster à pH 8.3 avec du Tris

Tampon d'échantillon

| | |
|--------------------------|---------------------|
| Tampon du gel (B)..... | 100 µl |
| Eau distillée..... | 700 µl |
| Glycérol 50%..... | 200 µl |
| Bleu de Bromophénol..... | une tête d'aiguille |

Dissoudre 1 mg de protéines lyophilisées dans 1 ml de ce tampon

Electrophorèse

Préparation du gel : T = 12% et C = 2.7% (pour une plaque)

| | |
|--|---------|
| Solution (A)..... | 3.25 ml |
| Solution (B)..... | .5 ml |
| Eau distillée..... | 1.68 ml |
| Dégazer le mélange (maximum 2 mn) | |
| TEMED..... | 10 µl |
| Solution de persulfate d'ammonium 10%..... | 75 µl |

Couler et mettre le peigne immédiatement

Dépôt d'échantillon : 10 à 20 µl

Mise sous tension : 20 mA, 25 V

Fixation : 45mn dans la solution de fixation

Coloration : 1 heure dans la solution de coloration

Décoloration : dans la solution de décoloration

Annexe 10 : Résultats de l'évolution de la viscosité en fonction du taux de protéine

| | J+1 | J+7 | J+ 14 | J+ 30 |
|------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN à 2,7% de protéine | 9500 | 10700 | 9350 | 7950 |
| YN à 3% de protéine | 12500 | 13500 | 14450 | 10000 |
| YN à 3,5% de protéine | 15150 | 18500 | 18100 | 15950 |

Annexe 11 : Résultats de l'évolution de la viscosité en fonction des taux de WPC.

| | J+1 | J+7 | J+18 | J+ 21 |
|-------------------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| YN enrichi avec 1% WPC | 19750 | 23000 | 28000 | 31500 |
| YN enrichi avec 2% WPC | 32500 | 35000 | 39000 | 44500 |
| YN enrichi avec 3% WPC | 35500 | 38500 | 42000 | 80000 |

Annexe 12 : Résultats de l'évolution de la viscosité en fonction des taux de CNP.

| | J+1 | J+7 | J+ 18 | J+ 21 |
|---------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN enrichi avec 0,8% CNP | 12900 | 12700 | 12350 | 10600 |
| YN enrichi avec 1,6% CNP | 13100 | 11500 | 11000 | 11250 |
| YN enrichi avec 2,4% CNP | 13400 | 12900 | 11500 | 11300 |

Annexe 13 : Résultats du suivi de la synérèse en fonction des taux de protéines

| | J+1 | J+7 | J+ 14 | J+ 21 |
|------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN à 2,7% de protéine | 1,4 | 1,1 | 0,175 | 0,2 |
| YN à 3% de protéine | 0,85 | 0,45 | 0,45 | 0,5 |
| YN à 3,5% de protéine | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |

Annexe 14 : Résultats du suivi de la synérèse en fonction des taux de la CNP.

| | J+1 | J+7 | J+ 18 | J+ 21 |
|---------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN enrichi avec 0,8% CNP | 1,3 | 0,9 | 0,2 | 0,5 |
| YN enrichi avec 1,6% CNP | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,2 |
| YN enrichi avec 2,4% CNP | 1 | 0,6 | 0,2 | 0,1 |

Annexe 15 : Résultats de l'évolution du pH en fonction du taux de protéines

| | J+1 | J+7 | J+ 14 | J+ 30 |
|------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN à 2,7% de protéine | 4,435 | 4,385 | 4, 365 | 4,36 |
| YN à 3% de protéine | 4,475 | 4,385 | 4,38 | 4,375 |
| YN à 3,5% de protéine | 4,505 | 4,434 | 4,405 | 4,375 |

Annexe 16 : Résultats de l'évolution de l'acidité en fonction du taux de protéines.

| | | | | |
|------------------------------|-------|------|-------|-------|
| YN à 2,7% de protéine | 69,2 | 70,2 | 71,15 | 79,15 |
| YN à 3% de protéine | 75,45 | 76,5 | 78,5 | 84,1 |
| YN à 3,5% de protéine | 84,35 | 86,4 | 88,35 | 104,7 |

Annexe 17 : Résultats de l'évolution du pH en fonction du taux de WPC.

| | J+1 | J+7 | J+18 | J+ 21 |
|-------------------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| YN enrichi avec 1% WPC | 4,5 | 4,445 | 4,434 | 4,430 |
| YN enrichi avec 2% WPC | 4,495 | 4,44 | 4,396 | 4,385 |
| YN enrichi avec 3% WPC | 4,49 | 4,405 | 4,474 | 4,365 |

Annexe 18 : Résultats de l'évolution de l'acidité en fonction du taux de WPC.

| | J+1 | J+7 | J+18 | J+ 21 |
|-------------------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| YN enrichi avec 1% WPC | 74,1 | 74,15 | 74,45 | 77,10 |
| YN enrichi avec 2% WPC | 80,15 | 81,35 | 82,12 | 85,1 |
| YN enrichi avec 3% WPC | 85,3 | 85,7 | 86,14 | 89,35 |

Annexe 19 : Résultats du suivi du pH en fonction des taux de la CNP ajoutés.

| | J+1 | J+7 | J+ 18 | J+ 21 |
|---------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN enrichi avec 0,8% CNP | 4,45 | 4,385 | 4,29 | 4,28 |
| YN enrichi avec 1,6% CNP | 4,5 | 4,4 | 4,36 | 4,31 |
| YN enrichi avec 2,4% CNP | 4,58 | 4,42 | 4,38 | 4,25 |

Annexe 20 : Résultats de l'évolution de l'acidité en fonction des taux de CNP.

| | J+1 | J+7 | J+ 18 | J+ 21 |
|---------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| YN enrichi avec 0,8% CNP | 66,45 | 72,5 | 81,4 | 79,55 |
| YN enrichi avec 1,6% CNP | 67,0 | 74,65 | 83,1 | 80,05 |
| YN enrichi avec 2,4% CNP | 82,6 | 85,6 | 89,1 | 87,15 |

Annexe 21 : Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de lait de collecte.

| Semaine | paramètre | BIZIOU | TO | BATNA-AB | BBA |
|---------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| S1 | MG g/l | 38,11 ± 1,91 | 34,41 ± 0,54 | 34,23 ± 0,14 | 36,53 ± 0,31 |
| S2 | | 37,09 ± 2,15 | 35,13 ± 1,25 | 34,84 ± 0,34 | 41,62 ± 1,44 |
| S3 | | 37,74 ± 0,86 | 34,45 ± 1,25 | 31,30 ± 0,58 | 37,02 ± 0,68 |
| S4 | | 38,18 ± 1,70 | 34,20 ± 0,57 | 35,43 ± 0,10 | 37,54 ± 2,11 |
| S5 | | 37,87 ± 0,52 | 34,61 ± 0,64 | 35,96 ± 1,31 | 36,76 ± 1,26 |
| S6 | | 36,39 ± 1,50 | 34,06 ± 0,59 | 33,94 ± 0,10 | 38,58 ± 1,25 |
| S7 | | 36,69 ± 1,89 | 34,30 ± 0,45 | 34,09 ± 2,19 | 38,05 ± 2,82 |
| S8 | | 37,49 ± 1,61 | 33,84 ± 0,85 | 32,48 ± 0,10 | 38,51 ± 1,59 |
| S9 | | 36,93 ± 2,56 | 34,17 ± 0,02 | 35,84 ± 0,54 | 35,91 ± 0,51 |
| S10 | | 35,82 ± 1,08 | 34,24 ± 0,43 | 33,93 ± 1,09 | 36,67 ± 0,71 |
| S11 | | 38,38 ± 0,67 | 35,31 ± 1,35 | 35,57 ± 0,21 | 36,22 ± 0,31 |
| S12 | | 37,39 ± 3,32 | 34,15 ± 0,86 | 35,86 ± 0,33 | 37,57 ± 1,12 |
| | Moyenne | 37,34 ± 1,65 | 34,41 ± 0,73 | 34,46 ± 0,59 | 37,58 ± 1,18 |
| | | BIZIOU | TO | BATNA- AB | BBA |
| S1 | Protéine g/l | 34,57 ± 0,69 | 32,87 ± 0,28 | 33,82 ± 0,14 | 34,23 ± 0,18 |
| S2 | | 33,31 ± 1,12 | 33,07 ± 0,29 | 33,74 ± 0,32 | 34,10 ± 0,58 |
| S3 | | 33,38 ± 0,75 | 33,35 ± 0,76 | 33,23 ± 1,01 | 33,62 ± 0,35 |
| S4 | | 33,68 ± 0,36 | 32,72 ± 0,24 | 32,75 ± 0,10 | 33,52 ± 0,38 |
| S5 | | 33,06 ± 0,45 | 32,58 ± 0,12 | 33,11 ± 0,58 | 33,53 ± 0,17 |
| S6 | | 32,93 ± 0,16 | 32,34 ± 0,41 | 33,63 ± 0,10 | 33,70 ± 0,29 |
| S7 | | 31,99 ± 0,10 | 32,48 ± 0,16 | 33,51 ± 0,00 | 33,45 ± 0,16 |
| S8 | | 33,58 ± 0,80 | 32,09 ± 0,23 | 32,99 ± 0,10 | 33,43 ± 0,16 |
| S9 | | 32,47 ± 1,01 | 31,94 ± 0,35 | 32,38 ± 0,06 | 32,69 ± 0,31 |
| S10 | | 33,49 ± 0,29 | 31,74 ± 0,38 | 32,18 ± 0,22 | 32,31 ± 0,36 |
| S11 | | 33,24 ± 0,92 | 31,64 ± 0,70 | 32,14 ± 0,10 | 32,27 ± 0,06 |
| S12 | | 33,17 ± 1,97 | 31,44 ± 0,17 | 32,35 ± 0,29 | 32,32 ± 0,11 |
| | Moyenne | 33,24 ± 0,72 | 32,36 ± 0,34 | 32,99 ± 0,25 | 33,26 ± 0,26 |
| | | BIZIOU | TO | BATNA-AB | BBA |
| S1 | Densité | 1031,00 ± 0,00 | 1030,33 ± 0,58 | 1031,00 ± 1,00 | 1031,00 ± 0,00 |
| S2 | | 1030,33 ± 0,58 | 1030,33 ± 0,58 | 1030,67 ± 0,58 | 1030,33 ± 1,15 |
| S3 | | 1030,33 ± 1,15 | 1030,33 ± 0,58 | 1031,00 ± 1,73 | 1030,33 ± 0,58 |
| S4 | | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 | 1030,33 ± 0,58 |
| S5 | | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 | 1030,33 ± 0,58 | 1030,67 ± 0,58 |
| S6 | | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 | 1031,67 ± 0,58 | 1030,67 ± 0,58 |
| S7 | | 1029,67 ± 0,58 | 1030,00 ± 0,00 | 1031,00 ± 0,00 | 1030,33 ± 0,58 |
| S8 | | 1030,00 ± 0,00 | 1029,67 ± 0,58 | 1031,00 ± 0,00 | 1030,67 ± 0,58 |
| S9 | | 1029,67 ± 1,15 | 1029,33 ± 0,58 | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 |
| S10 | | 1030,33 ± 0,58 | 1029,33 ± 0,58 | 1030,33 ± 0,58 | 1030,00 ± 0,00 |
| S11 | | 1030,00 ± 1,00 | 1029,33 ± 0,58 | 1030,00 ± 0,00 | 1030,00 ± 0,00 |
| S12 | | 1030,00 ± 0,00 | 1029,67 ± 0,58 | 1030,33 ± 0,58 | 1030,33 ± 0,58 |
| | Moyenne | 1030,11 ± 0,42 | 1029,86 ± 0,38 | 1030,61 ± 0,47 | 1030,39 ± 0,43 |

| Semaine | paramètre | BIZIOU | TO | BATNA- AB | BBA |
|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| S1 | EST g/l | 132,45 ± 2,80 | 125,53 ± 0,96 | 127,33 ± 0,23 | 130,49 ± 0,60 |
| S2 | | 129,17 ± 4,60 | 126,83 ± 1,14 | 127,84 ± 0,37 | 135,11 ± 6,24 |
| S3 | | 130,30 ± 1,83 | 126,56 ± 3,30 | 123,93 ± 3,84 | 129,99 ± 0,63 |
| S4 | | 130,95 ± 2,84 | 125,11 ± 0,84 | 126,59 ± 0,10 | 130,13 ± 1,77 |
| S5 | | 129,40 ± 1,30 | 125,32 ± 0,84 | 128,04 ± 1,16 | 129,62 ± 1,25 |
| S6 | | 127,99 ± 1,41 | 124,53 ± 1,16 | 125,14 ± 1,72 | 131,62 ± 1,22 |
| S7 | | 127,23 ± 1,87 | 124,77 ± 0,43 | 126,92 ± 2,25 | 130,85 ± 3,02 |
| S8 | | 130,02 ± 2,62 | 123,49 ± 1,26 | 129,91 ± 0,10 | 131,38 ± 1,74 |
| S9 | | 128,06 ± 4,12 | 123,79 ± 0,38 | 126,55 ± 0,59 | 127,34 ± 1,11 |
| S10 | | 128,59 ± 0,97 | 123,49 ± 0,94 | 124,95 ± 0,91 | 127,69 ± 0,93 |
| S11 | | 130,64 ± 1,18 | 124,72 ± 2,98 | 126,59 ± 0,41 | 127,24 ± 0,49 |
| S12 | | 125,73 ± 5,48 | 122,67 ± 0,63 | 124,98 ± 3,77 | 129,00 ± 1,12 |
| | Moyenne | 129,21 ± 2,58 | 124,73 ± 1,24 | 126,56 ± 1,29 | 130,04 ± 1,68 |

Annexe 22 : un exemple du questionnaire de l'évaluation sensorielle descriptive.

Evaluation sensorielle descriptive

Bonjour ;

Type d'échantillon : yaourt nature

Avant de participer à cette évaluation sensorielle descriptive, veuillez préciser certaines informations vous concernant :

L'âge :

Sexe : féminin masculin (cochez la réponse vous correspondant)

Pour mener à bien cette évaluation sensorielle descriptive, il vous ait présenté un langage sensoriel. Chaque attribut est mesuré selon une échelle d'intensité universelle de 0 à 15, où 0=non détecté et 15=extrêmement fort.

Il vous ait présenté trois yaourts nature, Veuillez commencer par déguster celui qui se trouve à votre gauche.

| Terme | Référence | Note | | |
|--|--|------|-----|-----|
| | | 103 | 240 | 360 |
| Quantité de lactosérum libre | Assigné aux panelistes | | | |
| Granulosité | Assigné aux panelistes | | | |
| Epaisseur (la force exigée pour comprimer le gel d'un yaourt dans la bouche) | 1= eau, 10= yaourt ordinaire avec 15% NDM | | | |
| Goût de cuit | Lait chauffé à 85°C pendant 30 min. | | | |
| Goût de lactosérum | 5 g de poudre de lactosérum dans 100 ml d'eau | | | |
| Goût d'étable | 5% d'une solution de caséinate de sodium dans l'eau | | | |
| Fermenté | yaourt Frais | | | |
| La sensation de gout aigre | 2=0,05% acide citrique ; 5=0,08% acide citrique. | | | |
| Goût salé | 2,5= 0,2% NaCl ; 5= 0,35% NaCl | | | |
| Goût sucré | 2=2% saccharose ; 5= 5% saccharose. | | | |
| Goût astringent | le trempage pendant une heure d'un petit sachet de Thé = 6.5 | | | |
| L'arrière goût | Tâche assignée aux panelistes | | | |

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION