

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département des Sciences Alimentaires



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Contrôle de Qualité et Analyse

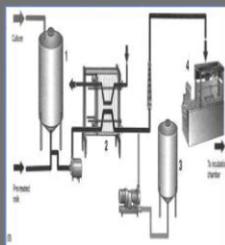
Thème :

Effet des paramètres technologiques et le type de recette sur la qualité texturante d'un yaourt ferme « Yaoumi »

Organisme d'accueil : Danone Djurdjura d'Akbou

Réalisé par :
M^{elle} : SILA Ouassila.

Devant le jury :
President: M^r BACHIR BEY M.
Promoteur: M^r KATI D.E.
Examineurs: M^{elle} ACHAT S.
M^r. CHIKHOUNE A.





Remerciements

*Avant tout, je tiens à remercier le **Dieu** tout puissant qui m'a accordé santé et courage pour mener ce travail jusqu'à son bout.*

J'exprime ma gratitude à Mr KATI D.E, pour ses nombreux conseils, sa gentillesse et son aide illimité.

Je remercie M^{lle} ACHAT S., M^r BACHIR BEY M et M^r CHIKHOUNE A d'avoir accepter de faire part du jury de ce travail.

Tous mes remerciements à M^r OUKIL B, pour son aide inestimable durant mon stage pratique et même après. Mes vifs remerciements s'adressent également à toute l'équipe de laboratoire Danone Djurdjura particulièrement Zami Houssine, Salim, Nassim, Soufiane, Wahibe, Aachour, Djamel et Lahlou ...

Je remercie M^{me} LAHDIRI R, chef de service de laboratoire de contrôle de qualité à DDA. Je tiens également à remercier M^r BRABEZ M et M^r HAMGA Z qui m'ont donné la chance de réaliser ce stage pratique au sein de l'unité DDA.





Merci Allah de m'avoir appris, protégé, guidé tout au long de ma vie.

Les sentiments de la plus profonde humilité, je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère et mon très cher père qui m'ont toujours soutenu et je les remercie d'autant que je ne remercie personne

A la mémoire de ma chère grand-mère et mes deux chères grand-pères que Dieu les accueillent dans son vaste paradis

A ma très chère grand- mère OUARDIA. Que Dieu la protège

A mes adorables sœurs: Nabila, Djazia, Fahima, Nassima et Amel

A mes adorables frères Salem et Aabdo

A mes beaux frères : Rabah, Djamel et Salim

A mes chères nièces : Romayssa , Lina, Noor el-hoda et malak

A mes cheres neveux :Rahim, Khalil, Fayes et Amin

A mes oncles et tantes

A mes amies : Hassiba, Bahdja, Sabrina, Massilia, Fta, Lamia,

Meriem, Yassmina, Ouassila, Nawel, Linda, Naima, Yamina,

Nabila, Kahina, Sabiha, Anissa ...

A mes chères copines de chambre : Souhila, Samira et Kahina

A toute la famille SILA

A tout la promotion CQA et SA (2011-2012).

Dans le souci de n'oublier personne, que ceux qui m'ont aidé de près où de loin, trouve dans ces lignes l'expression ma gratitude.



Liste des abréviations

a_w	Activité de l'eau
C	Conditionnement
CF	Crème Fraiche
CN	Casein : Caséines
Cps	Centipoises
DLC	Date limite de consommation
D	Début
°D	Degré Dornic
EPS	Exopolysaccharides
EST	Extrait sec total
J.O.R.A	Journal Officiel de République Algérienne
LE	Lait Ecrémé
Lc	Lactococcus
M	Milieu
Min	Minute
MG	Matière Grasse
MGLA	Matière Grasse Laitière Anhydre
N	Nuiton
Pa	Pascale
PDL	Poudre De Lait
S	Streptococcus
SP	Sortie pasteurisation
Ssp	Sous-espèce
TP	Taux de protéines
TPS	Tank de poudrage et de standardisation
WPNI	Whey Protein Nitrogen Index : L'indice d'azote protéique de lactosérum
WP	Whey Protein

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Pourcentage des différentes protéines du lait	5
2	Diagramme de fabrication du yaourt étuvé aromatisé	13
3	Edification et stabilisation des micelles caséiques	15
4	Schéma des différents mécanismes de formation des agrégats solubles et micellaires dans le lait au cours du traitement thermique	16
5	Ingénierie des agrégats protéiques thermo-induits et fonctionnalités lors de la gélification acide	17
6	Observation au microscope électronique illustrant les EPS produits par <i>Lb.delbruekii</i> ssp <i>bulgaricus</i> dans le yaourt	18
7	Organigramme de l'unité Danone-Djurdjura Algérie.	23
8	Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre électromagnétique	24
9	Image du Milko Scan™ FT120	25
10	L'interféromètre en image	26
11	Le dessiccateur infrarouge (Sartotius MA 45)	27
12	viscosimètre Brookfield	28
13	pH-mètre « HANNA Instrument »	29
14	Variation de l'EST en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c)	30
15	Variation de TP en fonction des trois niveaux de la chaîne des cinq productions pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c).	32
16	Variation de MG en fonction des trois niveaux de la chaîne de production des cinq productions pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c).	33
17	Variation du PH selon le niveau de tank des productions pour les trois recettes	35
18	Variation du Viscosité selon le niveau de tank des productions pour les trois recettes	35
19	Evolution du TP du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes.	37
20	Evolution de la MG du produit fini en fonction des productions et pour les trois recettes	38

21	Evolution de l'EST du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes	39
22	Evolution du PH du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes.	40
23	Evolution de la viscosité du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes	41
24	Evolution de la viscosité par rapport au TP du produit fini « Yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions	43
25	Evolution de la viscosité par rapport à la MG du produit fini « yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.	44
26	Evolution de la viscosité par rapport à l'EST du produit fini « yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.	45
27	Evolution de la viscosité par rapport au pH du produit fini « yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.	46

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Composition moyenne du lait de vache	4
II	Caractéristiques physico-chimiques du lait	6
III	Causes possibles de standardisation inadéquate d'un mélange et l'incidence sur la qualité du yogourt	10
IV	Causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yogourt	10
V	Cause possible de traitement thermique inadéquat et incidences sur la qualité du yogourt	11
VI	Capacité de production de l'usine	21
VII	Normes de l'entreprise pour les paramètres physicochimiques.	En annexe

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	1
I. Synthèse bibliographique.....	3
I. 1. Présentation du yaourt	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2. Vertus du yaourt.....	3
1.2. Matières utilisées pour la production du yaourt	3
1.2.1. Lait cru.....	3
1.2.2. Poudre de lait.....	7
1.2.3. Bactéries caractéristiques du yaourt	8
1.3. Différents types du yaourt.....	9
1.4. Technologie du yaourt.....	9
1.4.1. Réception et stockage du lait	9
1.4.2. Standardisation du mélange	9
1.4.3. Homogénéisation.....	10
1.4.4. Traitement thermique	11
1.4.5. Refroidissement.....	11
1.4.6. Ensemencement.....	11
1.4.7. Réchauffage.....	12
1.4.8. Aromatisation et conditionnement.....	12
1.4.9. Etuvage et stockage.....	12
1.5. Qualités du yaourt	14
1.5.1. Aspects physico-chimiques.....	14
1.5.2. Aspects hygiéniques.....	14
1.5.3. Qualité organoleptique	14
II. Matériels et méthodes	20
II.1. Information sur la structure: DANONE-DJURJURA Algérie.....	20
II.2. Echantillonnage	24

II.3. Analyses physico-chimiques	24
II.3.1. Produit semi fini	24
II.3.2. Produit fini	27
III. Résultats et discussions.....	30
III. 1. Résultats de la variation des paramètres de validation (EST, TP, MG) au cours de processus de fabrication.	30
III. 2. Variation de la viscosité et du pH du produit fini	34
III. 2. 1. Suivi du pH du produit fini	34
III. 2. 2. Suivi de la viscosité du produit fini	36
III. 3. Variation et conformité de la Viscosité et du pH ainsi que les paramètres EST, TP et MG	36
III. 3. 1. Variation et conformité des paramètres, TP, MG et EST	37
III. 3. 2. Variation et conformité du pH et de la viscosité	39
III.4. Relation entre la viscosité et les différents paramètres.....	43
Conclusion	48
Références bibliographiques	
Annexe	

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 (Saint-Eveet *et al.*, 2008). 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 (**Fizman *et al.*, 1999**).

L'industrie laitière Algérienne se distingue par un marché à potentiel de croissance élevé. Si les tonnages réalisés notamment au niveau de la transformation du lait sont importants, 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 fait qu'on ait recours chaque année à l'importation de poudre de lait, de matière grasse anhydre et d'ingrédients de fabrication. Ainsi, **Yakhlef *et al.*, (2010)** rapporte que les besoins sont estimés à 3,2 milliards de litres/an tandis que la production nationale est estimée à 1,6 milliards de litres/an. Cette dernière ne couvre que 40 % des besoins.

Très souvent dans bon nombre de fabrications, le lait frais collecté est additionné de lait recombinaé à différents taux (**Beghoul *et al.*, 2010**). Cela pose de sérieux problèmes d'homogénéisation et de maîtrise de la constance et de la qualité du produit fini (hygiénique, physico-chimique, nutritionnelle et organoleptiques). Malgré l'importance de l'impact de l'ajout du lait cru sur les propriétés des produits finaux, peu d'études ont été menées pour voir comment cette nouvelle matière première pourrait évoluer dans les différentes fabrications (yaourt, fromages,...). En effet, il est important de connaître l'effet de la fluctuation de la composition de la matière première ainsi que les contraintes des procédés technologiques sur la qualité du produit fini. Ceci permettrait de garantir l'obtention d'un produit répondant aux normes requises ainsi qu'aux exigences du consommateur.

C'est dans cette problématique générale que s'insère l'objet de la présente contribution. Elle se propose d'apporter des solutions au problème concret rencontré à la Laiterie Danone Djurdjura d'Akbou lors de fabrication d'un yaourt ferme « Yaoumi » malgré la diversification des matières premières.

Pour cela, nous avons évalué dans un premier temps l'effet du mouillage qui se produit lors de la pousse du produit d'un niveau à l'autre sur la qualité rhéologique du produit fini. Pour se faire, les trois paramètres : taux de protéines (TP), d'extrait sec total (EST) et de matière grasse (MG), ont été mesurés à chaque niveau (tank de poudrage et de standardisation, sortie pasteurisation, lors de conditionnement) de la chaîne de production et au niveau (début, milieu, fin) de chaque tank pour les trois recettes : poudre de lait+crème fraîche, lait écrémé+crème fraîche et lait écrémé+matière grasse laitière anhydre.

Dans un second temps, et afin d'étudier l'impact des différents paramètres (TP, EST, MG) ainsi que le pH sur la viscosité, nous avons tenté de mettre en évidence les relations qui existe entre chaque paramètre et leurs effets sur la texture du produit fini.

I. Synthèse bibliographique

I. 1. Présentation du yaourt

I.1.1 Définition du Yaourt

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 microorganismes du produit final doivent être viables et abondants (AFNOR, 1992 ; Mahaut et al., 2000)

I.1.2. Vertus du yaourt

Plusieurs études ont démontré les effets nutritionnels et thérapeutiques du yaourt :

1.1.2. 1. Effets nutritionnels

Les meilleurs valeurs nutritionnelles du yaourt résultent de la composition du lait après sa modification (Mahaut et al., 2000), ainsi le yaourt est une bonne :

- Source de protéines (Leveau et Bouix, 1993).
- Source de minéraux tels que le calcium (Beal et Sodini, 2003; Gaucheron, 2004)
- Source des molécules biologique comme des vitamines ou d'autres facteurs de croissance (Acides aminés, acides gras essentiels, etc.) (Guiraud, 1998).

En plus les bactéries lactiques du yaourt permettent la diminution de la concentration du lactose en dégradant ce dernier (Heymman, 2000).de même elles consomment des molécules à haute valeur énergétique : la valeur "calorique" des produits fermentés est généralement inférieur à celle du produit initial (Guiraud, 1998).

1.1.2.2. Effets thérapeutiques

La consommation régulière du yaourt conduit à des effets thérapeutiques, elle influe sur :

- L'équilibre de la flore intestinale par production de substances antibactérienne (bactériocines, acides organique...etc) (Guiraud, 1998).
- La défense immunitaire par l'augmentation de la production d'interférons, d'immunoglobulines et de l'activation des lymphocytes B, ce rôle est attribué au *Lactobacillus bulgaricus* (Mahaut et al., 2000).

1.2. Matières utilisées pour la production du yaourt

1.2.1. Lait cru

1.2.1.1 Définition du lait cru

Selon le codex (norme 206-1999), le lait est la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur. Selon le Congrès international de la répression des fraudes en 1909, le lait est le produit intégral de la

traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum. Le décret du 25 mars 1924 indique la définition « lait » que sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée au lait de vache. Tout lait provenant d'une femelle laitière autre que la vache devra être clairement caractérisé (**Snappe et al., 2010**).

1.2.1.2 Composition majoritaire du lait cru

Le lait est un système complexe constitué d'une solution vraie, d'une solution colloïdale, d'une suspension colloïdale et d'une émulsion (Amiot et al., 2002). La composition moyenne d'un litre de lait de vache est résumée dans le tableau suivant :

Tableau I : Composition moyenne du lait de vache (**Beal et Sodini, 2003**).

Composition moyenne du lait de vache (Teneurs exprimées en g pour 100g)	
Composant	Teneur
<i>Eau</i>	87,8
<i>Lactose</i>	4,8
<i>Matière grasse</i>	3,9
<i>Matières azotées</i>	3,8
caséines	2,6
protéines sériques	0,5
azote non protéique	0,1
<i>Minéraux</i>	0,7
calcium	0,12
phosphore	0,09
potassium.	0,14

a. L'eau

C'est de loin le composé le plus abondant : 902 g par litre, en elle, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de sa matière sèche (**Mathieu, 1998**).

b. Les glucides (lactose)

Ils sont essentiellement représentés par du lactose, constituant le plus abondant de la matière sèche (**Goursaud, 1985**). Les propriétés physiques du lactose qui compte le plus dans les transformations industrielles sont la solubilité, la cristallisation et le pouvoir sucrant (**Amiot et al., 2002**).

c. La matière grasse

La matière grasse est composée essentiellement de triglycérides, formés d'acides gras dont les principaux sont l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique. Les proportions relatives de ces divers acides sont variables, selon principalement le régime alimentaire de l'animal (**Andre, 1975**).

d. La matière azotée

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode KJELDAHL, ne permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2 %. Différentes structures et propriétés physico-chimiques distinguent les protéines du lait (**Amiot et al., 2002**).

On distingue deux grands groupes de protéines : d'une part, Les caséines et la micelle de caséine qui représentent la partie protéique la plus intéressante en technologie laitière, elles se présentent dans le lait sous forme d'un complexe organique et minéral ; d'autre part, les protéines du lactosérum qui représentent 15 à 28% des protéines du lait et 17% des matières azotées et elles demeurent en solution dans le «sérum isoélectrique » obtenu à pH = 4,6 à 20°C (Figure 1) (**Pougheon, 2001**).

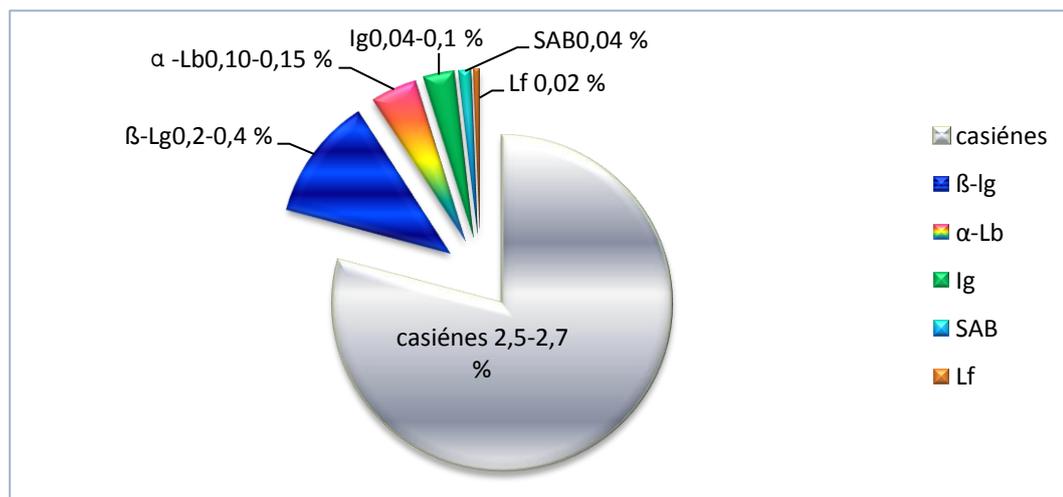


Figure 1 : Pourcentage des différentes protéines du lait (Amiot et al., 2002).

β-Lg : β- lactoglobuline ; α-Lb : α-lactalbumine ; Ig : immunoglobuline ; SAB : sérum albumine bovine ; Lf : lactoferrine.

e. La matière saline

Le lait apporte de nombreux minéraux. Les plus importants sont : le calcium (1,2g/l), le phosphore (0,9g/l), le potassium (1,5g/l), magnésium (130mg/l) et le chlore (1,2 g/l). Le lait et les produits laitiers sont les principales sources alimentaires de calcium et de phosphore, pour lesquels ils couvrent plus de la moitié de nos besoins journaliers. Ce sont des éléments plastiques intervenant dans l'ossification, et leur apport est crucial pour les sujets jeunes et âgés (**Mahaut, 2005**).

Lors de changements de conditions physicochimiques ou de traitements technologiques, la fraction saline du lait et de produits laitiers subit des modifications pouvant être réversibles ou non (**Holt, 2004**).

1.2.1.3. Propriétés du lait

a. Propriétés physico-chimiques

Les principales caractéristiques physico-chimiques du lait sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II : Caractéristiques physico-chimiques du lait (Martin, 2000).

Paramètres	Valeur relative
Densité	1,028 à 1,034
Point de congélation	-0,530 à -0,555 °C
Le pH (à 20 °C)	6,5 à 6,7
Acidité titrable	14 à 18 °D
Activité de l'eau à (20 °C)	0,99

➤ Densité

La densité du lait à 15°C varie entre 1,028 et 1,035 pour une moyenne de 1,032. Chacun des constituants agit sur la densité du lait. Plus un lait ou un produit laitier contient un pourcentage élevé en matières grasses, plus sa densité sera basse. De plus, les solides non gras, ont tous une densité supérieure à 1. Par conséquent, plus la teneur en solides non gras est élevée, plus la densité du produit laitier sera élevée. On peut donc affirmer qu'un écrémage du lait augmentera sa densité et qu'un mouillage ou une addition d'eau la diminuera (Amiot et al., 2002).

➤ Le point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Il peut varier de -0,530°C à -0,575°C avec une moyenne de -0,555°C (Amiot et al., 2002).

➤ Acidité titrable

L'acidité titrable mesure tous les ions H⁺ disponible dans le milieu, qu'ils soient dissociés, ou non. C'est une mesure de deux acidités :

Acidité titrable = acidité naturelle + acidité développée (Amiot et al., 2002).

➤ Le pH

Le pH d'un lait frais se situe entre 6,6 à 6,8. Contrairement à l'acidité titrable, le pH ne mesure pas la concentration des composés acides mais plutôt la concentration des ions H⁺ (Amiot et al., 2002).

b. Propriétés nutritionnelles

Lait a longtemps été et sera toujours consommé dans le cadre d'une alimentation saine et équilibrée, car elle contient un nombre impressionnant de nutriments et, par conséquent, joue un rôle important en aidant les individus à satisfaire leurs besoins nutritionnels (Michaelidou, 2008). Ses protéines ont une valeur nutritive élevée, en particulier la lactoglobuline et la lactalbumine, riches en acides aminés soufrés. Il est considéré comme une

excellente source de calcium, de phosphore, de riboflavine, de thiamine et de vitamine A. Il contient peu de fer, cuivre, acide ascorbique et vitamine D (**Cheftel et Cheftel, 1986**).

c. Propriétés microbiologiques

Le lait est, de par sa composition, un aliment de choix : il contient des graisses, du lactose, des protéines, des sels minéraux, des vitamines et 87% d'eau. Son PH est de 6,7. Il est un substrat très favorable au développement des micro-organismes (Guiraud, 1998).

Le lait au cours de la traite, du transport ou du stockage à la ferme ou à l'usine est contaminé par une grande variété de microorganismes. Une partie seulement d'entre eux peut se multiplier dans le lait si la température leur est favorable, et le milieu propice. Il en résulte que la nature de la flore microbienne du lait cru est à la fois complexe et variable d'un échantillon à l'autre et suivant la durée de conditionnement du lait (**O'connor, 1995**).

1.2.2. Poudre de lait

1.2.2.1 Définition du la poudre de lait

Les poudres de lait sont définies par le codex alimentarius standard 207-1999 comme « produits laitiers qui peuvent être obtenus par l'enlèvement partiel de l'eau du lait ». Le lait en poudre ou lait déshydraté ou lait sec est le produit obtenu directement par élimination de l'eau du lait (**J.O.R.A., 1999 ; Jean-Claude M et al., 2002**).

1.2.2.2 Principaux constituants de la poudre de lait

➤ Les protéines

Les protéines jouent un rôle majeur du point de vue des possibilités de reconstitution du lait. Les protéines solubles sont plus ou moins dénaturées selon l'intensité et la durée des traitements thermiques subis au cours de la fabrication (**Veisseyre, 1975**).

➤ La matière grasse

L'état de la matière grasse, dans les poudres, est un facteur très important d'appréciation de la qualité et sa présence accroît les risques d'oxydation et de rancissement, très légèrement au cours de la conservation. La matière grasse libre est un obstacle à la solubilisation des poudres dans la mesure où elle entrave le mouillage des granules (**Veisseyre, 1975 ; Luquet, 1987**).

➤ Le lactose

C'est le constituant majeur de la matière sèche du lait, où il représente plus de la moitié de l'extrait sec total (EST) (**Mahaut et al., 2000**).

➤ Les vitamines

Seul la thiamine (vitamine B₁), cobalamine (vitamine B₁₂) et l'acide ascorbique (vitamine C) sont réellement thermosensibles, les autres vitamines ne sont que peu ou pas détruites à l'abri de l'air et de la lumière, les procédés modernes de séchage (séchage par atomisation) modifiant peu les teneurs en vitamines de lait (**Mahaut et al., 2000**).

➤ Les minéraux

Les traitements thermiques induisent la concentration des substances ioniques dans les minéraux (**Mahaut et al., 2000**).

1.2.2.3. Modifications biochimiques et physico-chimiques induites au cours du procédé technologique de la poudre du lait

Au cours des différentes étapes du procédé technologique, les produits subissent différents traitements thermiques associés à une réduction de la teneur en eau dans les évaporateurs et les séchoirs. Ceci se traduit par une augmentation de la concentration de tous les éléments constitutifs, un accroissement de la viscosité et une réduction du pH consécutive à une augmentation de la force ionique. Ces traitements thermiques appliqués dans des conditions physico-chimiques évolutives modifient les constituants du lait et l'organisation structurale des éléments dispersés, des micelles de caséine et des globules gras. Il en résulte des changements au niveau des caractéristiques nutritionnelles, organoleptiques et fonctionnelles des poudres. On présente les modifications physico-chimiques majeures induites au cours du procédé technologique de la fabrication des poudres d'origine laitière. (**Mahaut et al., 2000; Schuck, 2011**).

1.2.2.4. La qualité des poudres

L'utilisation de lait reconstitué à partir de poudres se justifie pour diverses raisons : économiques, alimentaires, diététiques, géographiques et accessoirement organoleptiques et techniques. Par exemple, elle permet de répondre aux besoins des pays où la production laitière est insuffisante ou de faire du report de lait pour des pays dont la variation saisonnière de la production laitière est importante (Gouedranche et al., 2008).

a. Qualité microbiologique des poudres de lait

La flore initiale des divers produits susceptible d'être déshydratés va être modifiée au cours des traitements de déshydratation. Les produits déshydratés sont stable tant que l'humidité n'augmente pas. Les moisissures sont capable de se développer aux a_w les plus faible (<0,85) alors que généralement les bactéries ont des besoins plus importants (0,92 à 0,99) (Guiraud, 1998).

b. Qualité physicochimique des poudres de lait

La qualité biochimique et physico-chimique des poudres dépend essentiellement de la nature des différentes opérations technologiques mises en œuvre pour la réalisation de poudre d'origine laitière (**Schuck, 2011**).

Dans l'industrie laitière, le séchage sur cylindres a été dépassé par d'autres techniques telles que le séchage par atomisation, parce que le procédé est réputé pour ses exigences thermiques (température de chauffe comprise entre 120 à 130°C ; temps de séjour compris entre 2 à 20 s) et son inaptitude à répondre aux nouveaux besoins qualitatifs (solubilité > 99%, dispersibilité > 95 %, L'indice d'azote protéique de lactosérum (WPNI : "Whey Protein Nitrogen Index") maximum, faible teneur en matières grasses libres, ...) des utilisateurs de poudres (**Mahaut et al., 2000 ; Schuck, 2011**).

1.2.3. Les bactéries caractéristiques du yaourt

Pour bénéficier de l'appellation yaourt, la réglementation en France impose la seule présence des deux bactéries lactiques thermophiles *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* sub sp. *Bulgaricus*. Ce groupe des bactéries se caractérise par la

capacité de ces micro-organismes à produire de grandes quantités d'acide lactique à partir de sucres fermentescibles, essentiellement le lactose dans le cas du lait (**Beal et Sodini, 2003**)

Ces bactéries sont des cellules procaryotes, bacilles ou coques à Gram positif, catalase négative, généralement immobiles, asporulés. Ces deux bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène, elles sont dites microaerophiles (**Dellaglio *et al.*, 1994**).

1.3. Les différents types du yaourt

En technologie, trois types de yaourts, différents selon la consistance ou non du gel forme 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

Les procédés de fabrication des yaourts et des laits fermentés se caractérisent par trois grandes étapes : la préparation du lait, la fermentation et les traitements post-fermentaires du produit (**Beal et Sodini, 2003 ; Paci Kora, 2004**). Le diagramme de production diffère selon le type de produit (yaourt ferme ou brassé) et présente des variantes selon sa teneur en matières grasses et son arôme. Le diagramme général de production est présenté (Page 13 figure 2) et les étapes de la fabrication sont détaillées aux paragraphes suivants.

1.4.1. Réception et stockage du lait

Le lait frais, collecté au plus tard 72 h après la traite, arrive en camions-citernes réfrigérés à l'unité de production. Il est contrôlé lors de la réception, pompé et filtré pour éliminer les résidus solides (paille, feuilles, terre), puis stocké à froid (< 5 °C) dans des tanks stériles. Avec une double enveloppe permettant de maintenir le lait au froid (**Beal et Sodini, 2003**). Il est généralement reconnu qu'en ne peut pas faire un produit de qualité avec une matière première de mauvaise qualité. Dans cet esprit, il y a deux paramètres à respecter dès la réception du lait : sa microbiologie et des données sur sa chimie qui permettent de procéder à la standardisation du mélange (**Lamontagne, 2002**).

1.4.2. Standardisation du mélange

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

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

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

1.4.3. Homogénéisation

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

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

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

1.4.4. Traitement thermique

Le traitement thermique appliqué au mix est toujours drastique. Il vise à réduire la charge microbienne et à améliorer les propriétés physiques du yaourt (viscosité, capacité de rétention d'eau). Son objectif est de dénaturer 80 % de la fraction protéique sérique, soit totalement l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline, pour assurer une bonne texture du produit fini. Les barèmes de traitement thermique sont variables selon les installations : 30 min à 85 °C, 5 min à 90-95 °C, ou 3 s à 115 °C. Le traitement le plus courant est un chauffage à 92 °C pendant 5 à 7 min, avec un débit de circulation compris entre 4 000 et 20 000 L · h⁻¹. Le maintien du lait à 92 °C pendant 5 à 7 min est réalisé dans une section de chambrage située à l'extérieur de l'échangeur. Il s'agit de tubes en acier inoxydable, compactés à l'intérieur d'une cuve thermostat (**Beal et Sodini, 2003**).

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

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

1.4.5. Refroidissement

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

1.4.6. Ensemencement

L'ensemencement d'une culture de *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* doit se faire à un taux assez élevé pour assurer une acidification correcte : il varie selon la vitalité des cultures entre 1 et 7%, et selon le rapport streptocoques /lactobacilles de 1,2 à 2/1 pour les yaourts naturels (**Mahaut et al., 2000**). En réalité, chaque fabricant travaille dans des conditions qui lui sont propres, en privilégiant plutôt l'impact de chaque association sur les caractéristiques finales du produit (Beal et Sodini, 2003), ces ferments sont commercialisés sous forme congelée (stockage à T° < - 40 °C) ou lyophilisée (stockage à T° < 4 °C) (**Beal et Sodini, 2003 ; Luquet et Corrieu, 2005**).

1.4.7. Réchauffage

Les bactéries lactiques sont des bactéries homofermentaire, microaérophiles et thermophiles dont la température optimale de développement se situe selon les auteurs de 37 à 46°C pour *S. thermophilus* et de 42 à 50°C pour *Lb. Bulgaricus*. (Mahaut et al., 2000). Selon Luquet et Corrieu, (2005) le mix laitier est porté à la température de fermentation (42-45°C) par réchauffage en ligne.

1.4.8. Aromatisation et conditionnement

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

La conditionneuse assure à la fois :

- ✓ Le formage des pots à partir des films d'emballage ;
- ✓ Le remplissage et le dosage des pots (c'est à ce niveau que s'effectue l'ajout d'arômes) sous protection avec air filtré (hotte à flux laminaire) ;
- ✓ La fermeture hermétique des pots par thermo-scellage ;
- ✓ L'impression et le marquage de la DLC ;
- ✓ Confection des pots (Boudier, 1990; Luquet, 1990).

L'ajout éventuel des arômes intervient avant le conditionnement (Pacikora, 2004).

1.4.9. Etuvage et stockage

Dans le cas des yaourts fermes, le mélange lait/ferment est soutiré et l'acidification se fait en pots tandis que celle des brassés se fait en cuve. L'incubation est réalisée à des températures entre 42 et 44°C. Cette étape dure entre 2h30 et 3h30. L'objectif de cette phase est d'atteindre une acidité de 70-80°D. Lorsque cette acidité est atteinte, on procède à un refroidissement rapide pour bloquer la fermentation. Ce refroidissement est effectué soit dans des chambres froides fortement ventilées (le plus souvent), soit dans un tunnel (Mahaut et al., 2000).

Les yaourts sont stockés en chambre froide à 4°C (Loones, 1994).

1.5. Qualités du yaourt

1.5.1. Aspects physico-chimiques

Le yaourt doit répondre aux caractéristiques suivantes :

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

1.5.3. Qualité organoleptique

L'analyse sensorielle est et demeure aujourd'hui une approche indispensable à l'évaluation de la qualité 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 (**Paci Kora, 2004**).

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

1.5.3.1. Gélification acide (Fermentation)

Les caséines se présentent sous la forme de particules sphériques ou micelles. Elles sont constituées d'un noyau, fortement hydrophobe, composé exclusivement des caséines α_s et β , reliées entre elles par des ponts salins de phosphate de calcium, et par des liaisons hydrophobes et électrostatiques. Et d'une enveloppe hydrophile contenant majoritairement des caséines κ et α_s , et quelques monomères de caséine β (figure 3). Elle développe une

charge négative qui maintient les micelles en suspension, à l'écart les unes des autres (**Beal et Sodini, 2003**)

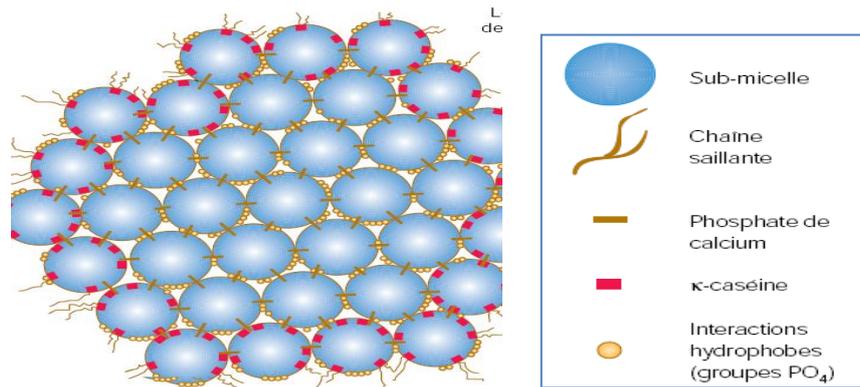


Figure 3 : Edification et stabilisation des micelles caséiques d'après **Rollema (1992)**.

Pendant la fermentation, le pH du lait diminue et les propriétés physico-chimiques des micelles de caséines sont profondément modifiées. Les fonctions acides de certains acides aminés fixent les protons formés, entraînant une annulation progressive de la charge négative des micelles (**Beal et Sodini, 2003**). En parallèle, une solubilisation du phosphate de calcium micellaire est observée, entraînant une déminéralisation progressive des micelles de caséines. Celles-ci vont s'associer entre-elles par formation de liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques pour former un réseau protéique retenant la phase aqueuse (**Paci kora, 2004**).

1.5.3.2. Comportement rhéologique

La transformation du lait en yaourt s'accompagne aussi d'un changement des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide à un gel a destruction non réversible (**Paci Kora, 2004**).

a. La viscosité

La viscosité du yaourt fait partie des critères de qualité de ce dernier, et ce, quelque soit le type (ferme ou brassé). La texture du yaourt est évaluée par la mesure de sa viscosité. La viscosité est définie comme étant la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. Elle est exprimée en N.S/m^2 , Pa.s ou **centipoises (10^{-3}Pa.s)**. Celle-ci dépend de 4 paramètres indépendants :

- la nature physico-chimique du produit ;
- la température du produit ;
- la pression ;
- le gradient de vitesse ;
- le temps (**Scher, 2003**).

b. Les facteurs influençant la viscosité du yaourt

Comme signalé ci-dessus, l'un des attributs les plus importants pour la qualité de yaourt est la texture (**Damin et al., 2009**), qui est en fonction de la concentration en

matière sèche, de la méthode d'enrichissement du lait, du traitement thermique mais aussi des souches bactériennes utilisées (Paci Kora, 2004).

❖ L'Effet des protéines

La teneur du lait en protéines est une caractéristique essentielle de sa valeur marchande car plus le taux protéique est élevé, meilleur sera le rendement de la transformation technologique (Pougheon, 2001). L'augmentation de niveau des protéines du lait est le facteur principal influençant la texture (Damin et al., 2009). Selon Xu et al., (2008), le procédé de la formation de gel d'un yaourt commence avec l'agrégation des protéines sériques liées aux caséines, particulièrement le b-lactoglobuline. Il a été rapporté que deux interactions principales ayant lieu entre les protéines sériques et les micelles de caséine suite chauffant appliqué. C'est-à-dire, une interaction directe de b-lactoglobuline avec des micelles de caséine, par l'intermédiaire de caséine- k, et l'interaction entre a-lactalbumine et b-lactoglobuline en solution et leur réaction avec les micelles (Figure 4). Ainsi, la réticulation et les ponts formés par les protéines sériques dénaturées liés aux micelles de caséine a comme conséquence une augmentation de nombre et de la force des liens entre les particules de protéine.

Le degré de dénaturation des protéines sériques est un paramètre très important qui affecte le comportement rhéologique des gels. (Serra et al., 2009).

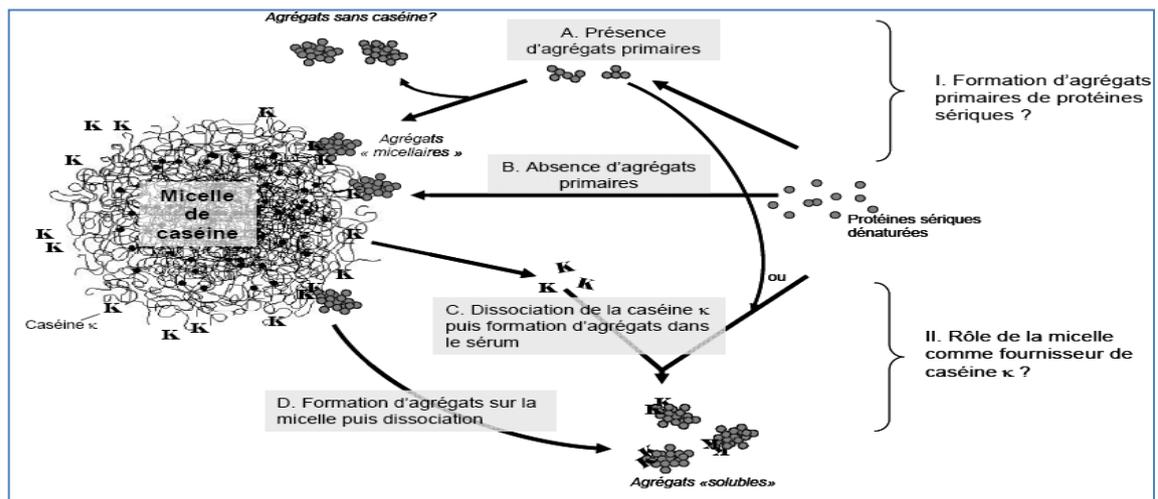


Figure 4 : Schéma des différents mécanismes de formation des agrégats solubles et micellaires dans le lait au cours du traitement thermique (Donato et Guyomarc'h, 2009; Famelart et al., 2011).

❖ Effet de la température et de traitement thermique

Le traitement thermique du lait avant l'acidification change nettement les propriétés de gels formés comparées à ceux du lait non chauffé (Tamime et Robinson, 2007; Vabinder et al., 2003). En effet, les micelles de caséines d'un yaourt fabriqué à partir d'un lait chauffé forment des chaînettes bien liées entre-elles, tandis qu'elles forment des

agrégats dans un yaourt fabriqué à partir de lait non chauffé. Cette différence est essentiellement due au comportement des β -lactoglobuline (Paci Kora, 2004), où un rapport clair entre la dénaturation provoquée par la chaleur de β - lactoglobuline et les caractéristiques de yaourt a été observé (Augustin et al., 1999).

Selon Vassbinder et al., (2003) , le microscope électronique a révélé que le traitement thermique du lait a changé des micelles de caséine en micelles avec des annexes composées de protéines de lactosérum sur la surface. Ce changement a comme conséquence une augmentation de la rigidité du gel formé par l'augmentation du nombre de points de contact entre les micelles (Figure 5). Donc, il est bien établi que ce traitement thermique du lait qui cause la dénaturation des protéines sérique du lait est nécessaire pour la production de yaourt avec une texture ferme et une résistance à la synérèse (Augustin et al., 1999).

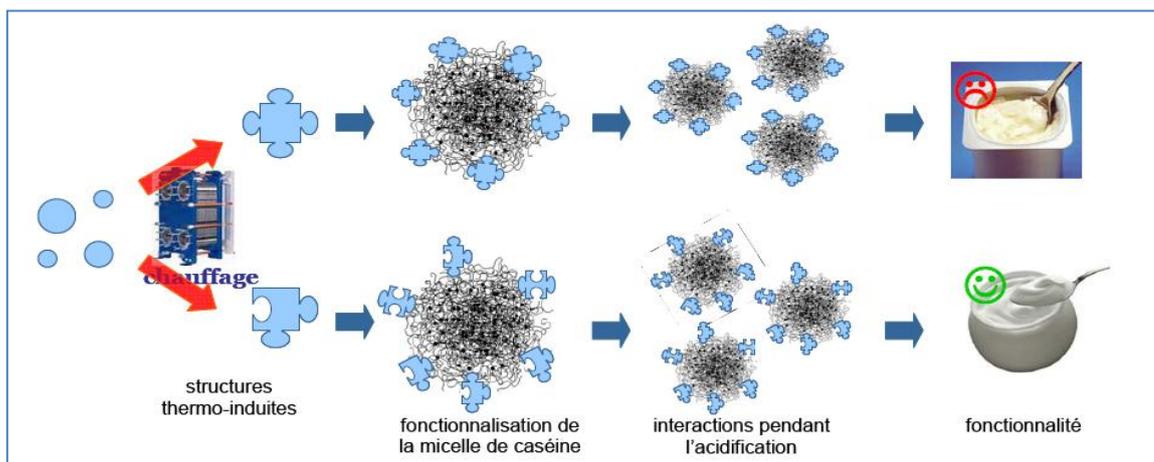


Figure 5 : Ingénierie des agrégats protéiques thermo-induits et fonctionnalités lors de la gélification acide (Famelart et al., 2011).

❖ Effet de la flore lactique

Différentes bactéries lactiques sont connues par leur capacité de produire des exopolysaccharides (EPS) pendant la fermentation qui agissent à la fois sur la fermeté et l'onctuosité des produits fermentés (Renard et al., 2005). Ils sont présents sous forme de filaments attachés aux micelles de caséines et à la surface des bactéries. Les interactions entre les bactéries, les EPS et les caséines contribuent à former un réseau qui emprisonne l'eau dans le gel (Figure 6) (Tamime et Robinson, 2000). La texture et la stabilité globales des produits alimentaires dépend non seulement des propriétés des protéines et des polysaccharides, mais également de la nature et de la force des interactions de protéines/polysaccharide (Hemar et al., 2001).

En plus, lors de la croissance de ces bactéries, le lactose est converti en acide lactique entraînant une baisse du pH et la gélification du milieu avec des modifications structurales irréversibles (Paci Kora, 2004 ; Tamime et Robinson, 2007).

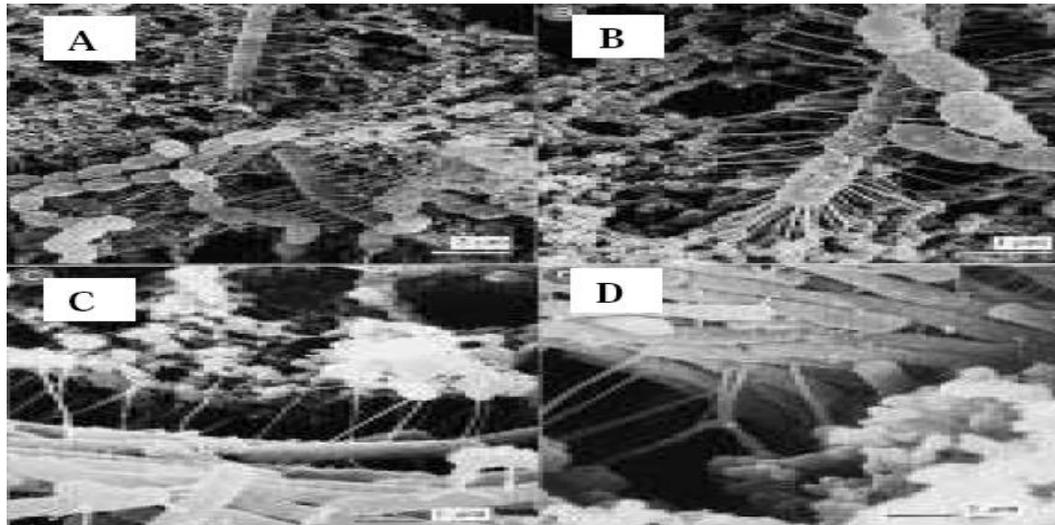


Figure 6 : Observation au microscope électronique illustrant les EPS produits par *Lb.delbrueckii ssp bulgaricus* dans le yaourt obtenu dans les différents laboratoires : A et B, Tamime et Kalab (Scotland et Canada); C et D, Tobbazzi (Italy). (Tamime and Robinson, 2000).

❖ Effet de l'homogénéisation (pression / vitesse)

La viscosité des yaourts est directement proportionnelle à l'augmentation de la pression lors de l'homogénéisation, une pression entre 140 à 200 bars est optimale pour la viscosité des laits fermentés. Une pression trop faible conduit à un produit plus liquide donc une consistance et une viscosité moindre. Cependant, une pression trop forte provoque une viscosité et une consistance inappropriées en raison d'une dégradation des protéines (**Lamontagne, 2002**). De même, l'homogénéisation évite la remontée de la matière grasse pendant la coagulation, améliore la rétention de l'eau et la fermeté du produit fini (**Mahaut et al, 2008**).

❖ Effet du pH

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

❖ Effet de l'extrait sec total

La législation Française (Journal officiel, 1997) autorise l'ajout de poudres laitières au lait de fabrication des yaourts pour augmenter sa teneur en matière sèche et

rendre ainsi les yaourts plus fermes (**Famelart et al., 2011**) et selon **Debon et al., (2010)**, un petit changement de la concentration des solides totaux conduit aux changements des propriétés rhéologiques des yaourts (**Tamime et Robinson, 2007**).

❖ **Effet de la variation de rapport caséines /protéines de lactosérum**

La nature et les proportions relatives des différentes protéines dans la matière sèche affectent de manière significative la texture du produit fini (**Damin et al., 2009**). Selon (**Snappe et al., 2010**) même à une concentration de protéines constante, lorsque la proportion de caséines croît, la fermeté du gel augmente. À l'inverse, les gels acides préparés à partir de laits enrichis graduellement en protéines sériques sont de moins en moins fermes. La présence de protéines sériques perturberait donc la bonne gélification des particules de caséines. De même, l'étude réalisée par **Amatayakul et al., (2005)** (**Amatayakul et al., 2005**) montre que l'augmentation des ratios des caséines/protéines sériques (CN /WP) abouti à des valeurs de fermeté plus élevées, les yaourts fait à base de lait avec un ratio CN/WP de 4,52 étaient plus fermes que celles qui sont faites en utilisant le lait avec le ratio CN/WP de 3,20 à 3,40.

❖ **Effet des minéraux**

Un fort déplacement du Ca et du phosphate soluble vers la micelle de caséine. Il en résulte un accroissement de la taille des micelles de caséine (**Mahaut et al 2000 ; Schuck, 2011**) et celles-ci selon **Jacob et al., (2010)**, avec un diamètre moyen approximativement de 200 nanomètre, sont des assomonomères de caséine stabilisés par des interactions hydrophobes et des cristallites de phosphate de calcium, et la caséine-k établit une couche de terminaison externe qui est responsable de la stabilité colloïdale du système.

❖ **Effet de la matière grasse**

Les protéines sériques comme les globules de graisse qui agissent en tant que remplisseur, ils agissent l'un sur l'autre avec la protéine matrice par les réticulations des caséines avec la membrane des globules de graisse (**Tamime et Robinson, 2007; Xu et al., 2008**).

*Partie
Pratique*



*Matériel et
méthodes*



Matériel et méthodes

|

II. **Matériel et méthodes**

II.1. **Information sur la structure: DANONE-DJURJURA Algérie**

L'unité de production laitière DANONE DJURDJURA ALGERIE (DDA) est une SPA entre le leader mondial des produits laitiers DANONE et la laiterie DJURDJURA. Elle a démarré ses activités en Octobre 2001 ; avec une capacité de production de 220 000 U/heure (pots & bouteilles) dans environ 50 unités de production agroalimentaire. Cette société du groupe international français du même nom a accaparé 40% du marché national des produits laitiers frais (PLF).

Face à la demande de plus en plus importante, un système de travail en continu de trois équipes de huit heures chacune est mise en place.

L'unité dispose de plusieurs circuits de collecte de lait cru de vache qui s'étendent sur les wilayas suivantes : TIZI-OUZOU, BEJAIA, BOUIRA, MEDEA, SETIF, BOURDJ BOUARARIDJ, CONSTANTINE et AIN TIMOUCHENT. Des cuves de réfrigération sont réparties à travers les différents centres de collecte et points de regroupements dont dispose l'unité. Le lait est acheminé à l'unité par des camions équipés de citernes isothermiques réparties en trois cuves d'une capacité de 3000L chacune.

DDA a réalisé en 2005 un chiffre d'affaires d'un peu plus de 60 millions d'euros, en distribuant principalement les marques : Activia, Danette, Fruix, Petit Gervais aux Fruits et le fameux Danao.

L'organisation de l'entreprise est représentée dans le diagramme en figure 7.

a. Situation géographique

DDA est implantée dans une zone industrielle « TAHARACHT » ; véritable carrefour économique de la wilaya de Béjaia. Elle est située à 2 km d'Akbou, à quelques dizaines de mètres de la voie ferrée, à 60 km à l'Ouest de la wilaya de Béjaia et à 170 km à l'est de la capitale d'Alger.

b. Capacités de production de l'usine D'Akbou

Tableau VI : Capacité de production de l'usine

<i>N° Ligne</i>	<i>Type de produit</i>	<i>Capacité U/ heure</i>
Ligne 01	Yaourt étuvé	20160
Ligne 02	Yaourt étuvé	36000
Ligne 03	Yaourt étuvé	20160
Ligne 04	Yaourt étuvé	43000
Ligne 05	Crème dessert (Danette)	12000
Ligne 06	Crème dessert (Danette)	12000
Ligne 07	Danao	9000
Ligne 08	Yaourt à boire (Dun'up)	8500
Ligne 09	Yaourt à boire (Dun'up)	6500
Ligne 10	Yaourt brassé	38880
Ligne 11	Yaourt brassé	9000
Ligne 12	Danino	2000

c. Les produits de l'unité

L'unité DDA produit et commercialise différents types de produits laitiers et elle ne cesse pas d'innover en lançant de nouveaux produits sur le marché Algérien :

- Bioactivia : c'est un yaourt aux *Bifidus*.(bifido-bactérie)
- Yaourt aromatisé : avec utilisation de divers arômes, citant : le citron, l'ananas, les framboises, la cerise, l'orange, la fraise, ... créé en 2002.
- Danette : un dessert goût de chocolat et de caramel, lancé en Novembre 2003.
- Danao : c'est un « jus lacté », c'est-à-dire, un mélange de jus et du lait.
- Dan'up : c'est un yaourt à boire conditionné dans une bouteille pratique, riche en différentes vitamines, créé en Septembre 2003.
- Fruix : c'est un mélange de lait et de fruits finement mixés, créé en Décembre 2003.
- PGF : c'est le petit Gervais au fruit, riche en calcium, destiné aux enfants.
- Nature : premier yaourt nature 100% au lait de vache (production algérienne).

d. Matières premières

- La poudre de lait : l'unité utilise deux types de poudres de lait dont la teneur en matière grasse est de 26% au minimum (poudre de lait entier) pour l'une et de 0.5% au maximum pour l'autre (poudre de lait écrémé) stockées dans des sacs de 25 kg.
- Le lait cru : il est acheminé par des camions citernes iso thermiques à une température qui varie entre 4°C et 6°C.

- Le sucre : il est caractérisé par son pouvoir sucrant et énergétique, il améliore la qualité organoleptique du produit ; il est stocké dans des hangars.
- Les ferments lactiques : ce sont des micro-organismes ayant la capacité de fermenter le lactose du lait pour produire l'acide lactique. Ils sont importés lyophilisés et sous forme concentrée ; ils sont utilisés enensemencement direct. Ils sont conservés dans un congélateur à température - 45°C.
- Les arômes : l'aromatisation est l'un des principaux facteurs qui renforcent la qualité organoleptique du produit fini. Bien que le yaourt possède un arôme caractéristique lié au développement des micro-organismes impliqués dans son élaboration, l'utilisation des arômes conduit à une modification importante de la saveur du produit.
- Les agents texturants : ils donnent la texture voulue aux produits. On regroupe sous ce terme : les épaississants, les gélifiants et émulsifiants.
- Jus de fruits concentrés : ils sont utilisés pour la fabrication du jus lacté (Danao).
- La matière grasse : elle peut provenir du lait (liquide ou en poudre) ou des matières grasses anhydres (MGLA), qui sont importées de l'étranger dans des fûts et stockées à une température qui ne dépasse pas 20°C.

e. Approvisionnement en eau

La laiterie a besoin d'une grande quantité d'eau. Pour cela, l'unité puise son eau au niveau de trois forages : deux sont situés à quelques mètres de la laiterie et la troisième à Ighzer-Amokrane.

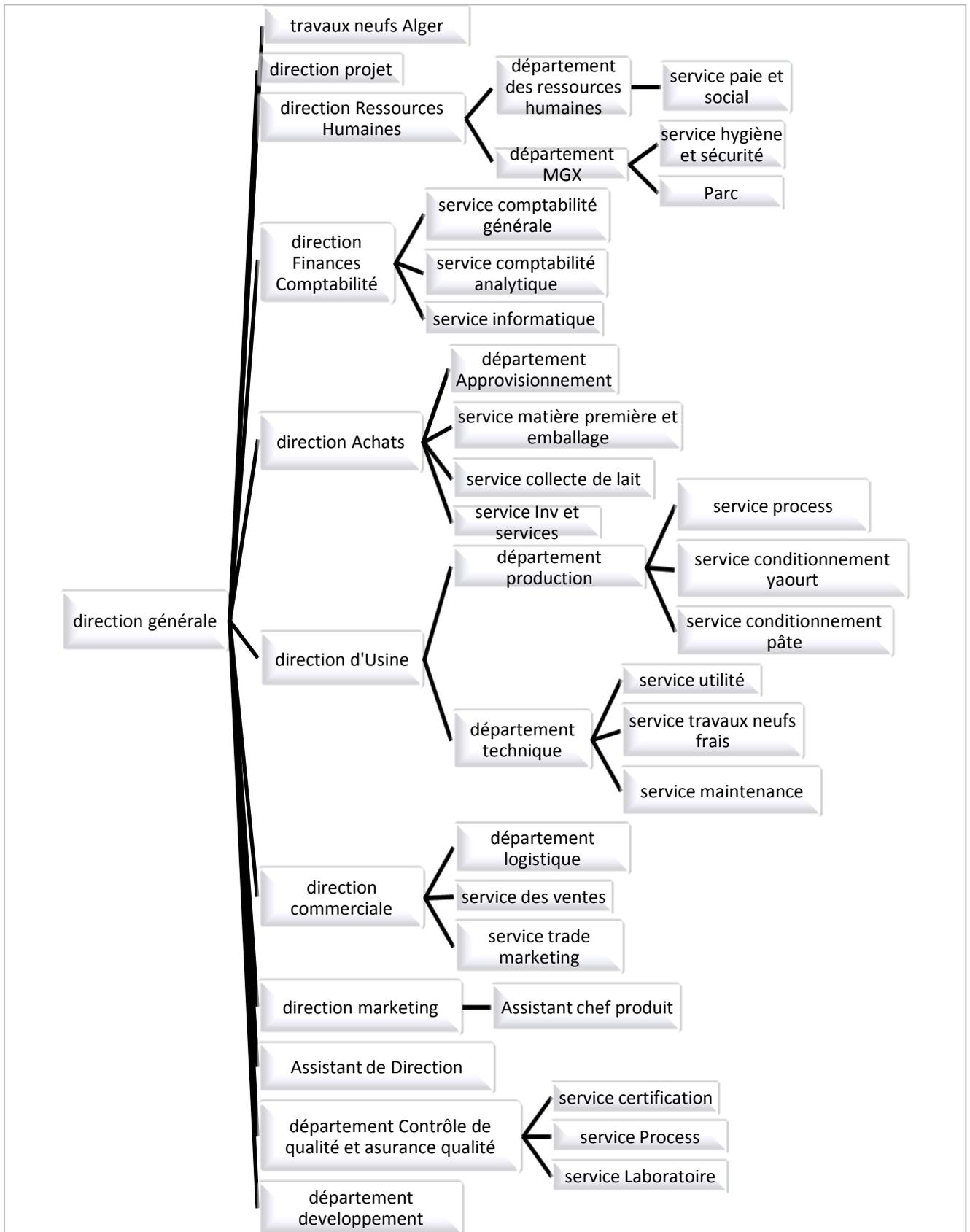


Figure 7. : L'organigramme de l'unité Danone-Djurdjura Algérie.

II.2. Echantillonnage

Le contrôle légal de la qualité et de la conformité des denrées alimentaires exige une étape primordiale avant toute analyse qui est l'échantillonnage représentatif (**Multon, 1994**). Deux types d'échantillonnage ont été réalisés, l'un pour le produit semi fini et l'autre pour le produit fini. L'échantillonnage pour le produit semi fini consiste à prélever dans deux niveaux de la chaîne de production, le premier échantillon au niveau du tank de poudrage et le deuxième échantillon après pasteurisation (Sortie Pasto : SP).

Pour le produit fini, deux échantillonnages ont été réalisés, le premier consiste à prélever deux pots du yaourt ferme «Yaoumi» au début, au milieu et à la fin de chaque production lors de conditionnement (sur machine). Le deuxième échantillonnage s'opère au niveau de la chambre de conservation (2et 6°C). Il consiste en un prélèvement de quatre pots, qui ont le même numéro de palette que ceux prélevés lors du conditionnement. Les échantillons prélevés au niveau de la chambre de conservation sont conservés de manière à éviter toute détérioration de l'échantillon pour ne pas fausser les résultats. Les pots prélevés ont été conservés à 10°C pendant 24h avant d'être analysés.

II.3. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques réalisées durant ce travail sont : l'extrait sec, le taux de protéines, le taux de matière grasse du produit semi fini et du produit fini. Le produit fini fait également l'objet d'analyses de la viscosité et du pH.

II.3.1. Produit semi fini

a. Détermination de taux des protéines (TP) et le taux de matière grasse (MG)

Les analyses du TP et de la MG ont été réalisées grâce au Milko Scan FT120 (FOSS Electric, Type 71200) est un spectrophotomètre à FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) automatique de grande capacité. Il utilise la technologie d'absorption spectroscopique en moyen infrarouge à transformée de Fourier (Figure n°8).

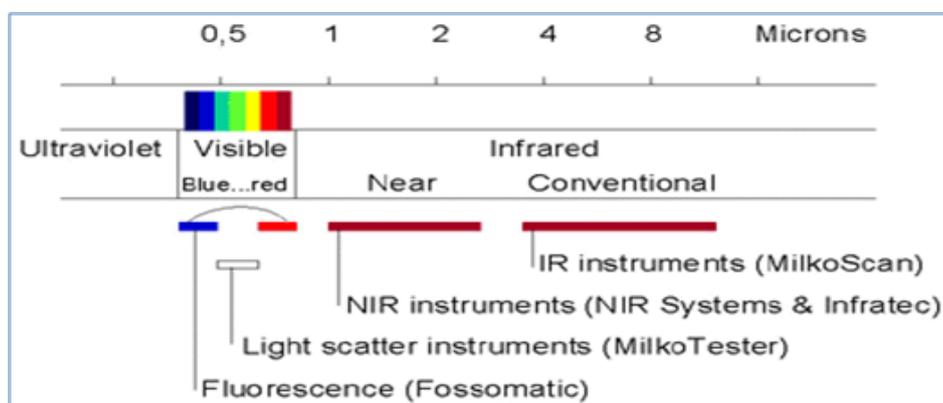


Figure 8. : Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre électromagnétique (Schéma tiré du manuel de l'appareil Milko Scan™ FT120).

Le Milko Scan™ 120 (figure n°9) permet d'optimiser l'utilisation des produits intermédiaires et de contrôler la qualité des produits finis tout au long de la chaîne de fabrication. 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 sur l'écran en pourcentage par rapport à la quantité de l'échantillon analysés.



Figure 9 : Image du Milko Scan™ FT120 disponible à l'unité (Schéma tiré du manuel de l'appareil Milko Scan™ FT120)..

❖ 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 (figure n° 10). 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.

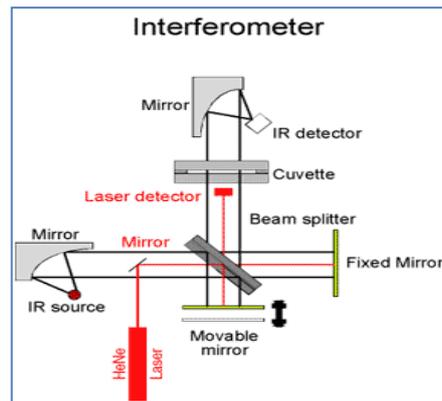


Figure 10 : L'interféromètre en image.

Les éventuelles erreurs de l'appareil Milko Scan™ FT120 calibrées par un étalonnage avec des valeurs obtenues grâce à des analyses réalisées avec les méthodes de références qui donnent des résultats plus précis mais plus longs à obtenir.

❖ Les méthodes référentielles

L'analyse des différents paramètres physico-chimique devient simplement une question de calibrage on utilisant des méthodes de référence.

La méthode de Kjeldahl est appliquée pour déterminer la quantité de protéine. Elle détermine l'azote contenu dans un produit. Elle s'effectue en trois étapes : la minéralisation, la distillation et le titrage. Le taux de protéines est déterminé après en multipliant le taux d'azote obtenu par le facteur 6,38.

La méthode acido-butyrométrique est appliquée pour la détermination de la teneur en matière grasse, cette détermination est basée sur l'ajout de l'acide sulfurique qui dissout les protéines. La séparation de la matière grasse des autres constituants est réalisée après centrifugation du butyromètre en présence d'alcool iso-amylque.

❖ Mode opératoire

- 1) Préchauffer tout les échantillons dans le bain marie à 40°C/ pendant 10 à 15min avant de procède à l'analyse.
- 2) L'analyse s'effectue de la façon suivante
 - Sélectionner le programme produit «yaoumi» ;
 - Retourner doucement l'échantillon plusieurs fois pour le mélanger sans créer de mousse ;
 - Décapsuler l'échantillon et le placer sous la pipette ;
 - Définir le niveau de prévenance de l'échantillon dans le champ d'identification.
 - Mettre l'analyse en route en cliquant sur la touche démarrage du tableau de commande ;
 - Dès que l'échantillon a été pompé (les deux prise), lancer le «Démarrage Analyse» sur à ce que l'écran redevienne verte ;
 - Retirer l'échantillon et cliquer sur la touche nettoyage.

❖ Lecture des résultats

La moyenne des deux prises et l'écart type de tous les composants s'affichent dans la Fenêtre des résultats après la dernière prise. Les résultats sont exprimés en pourcentage (masse/masse) pour le TP et en pourcentage (masse/volume) pour MG.

b. Détermination de l'extrait sec total

La teneur en matière sèche totale est le résultat obtenu après évaporation de l'eau du produit. Elle est exprimée en gramme par litre ou kilogramme de lait ou en pourcentage masse/masse autrement dit en gramme pour 100 gramme de lait (Mathieu, 1998).



Figure 11 : Le dessiccateur infrarouge (Sartotius MA 45).

❖ Principe de fonctionnement

La mesure du taux d'extrait sec total est réalisée par un dessiccateur infrarouge de marque SARTOTIUS MA 45 (figure 11). C'est une dessiccation à 105°C pendant 15 min jusqu'à l'obtention d'une valeur d'un poids constant pour le produit semi fini et à 105°C /10 min pour le produit fini.

❖ Mode opératoire

- ✓ Allumer l'appareil avec la touche START ;
- ✓ Placer la coupelle sur la balance du dessiccateur ;
- ✓ Tarer;
- ✓ Peser 3g de l'échantillon de cette coupelle ;
- ✓ bien étaler l'échantillon et enfin baisser le capot de l'appareil ;
- ✓ Appuyer sur la touche START pour démarrer l'analyse.

❖ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en pourcentage (masse/masse).

II.3.2. Produit fini

Pour la détermination de taux de TP, MG et l'extrait sec, le même protocole expliqué pour le produit semi fini est appliqué.

a. Mesure des propriétés rhéologiques et suivi de la viscosité

Le yaourt étant un fluide viscoélastique rhéofluidifiant, toute manipulation énergique modifie ses propriétés rhéologiques (Paci kora, 2004). De ce fait une attention particulière est portée aux échantillons de yaourts destinés à la mesure de la viscosité.



Figure 12 : Viscosimètre Brookfield.

❖ Principe

Le principe de mesure de la viscosité tel que conçu par Brookfield (figure 12) est d'appliquer une force de mouvement à un produit en mettant en rotation un mobile de taille fixe.

❖ Mode opératoire

Les viscosités des yaourts (4pots/production/recette) sont mesurées à 10°C après un jour de conservation (après 24h ± 6h) :

- ✓ Placer le mobile sur le viscosimètre ;
- ✓ Placer le pot de yaourt sur le support et centrer le par rapport au mobile ;
- ✓ Régler les paramètres pour mener la vitesse jusqu'à 2,5 tour/s ;
- ✓ Après 45s lire la valeur indiquée sur l'échelle.

❖ Expression des résultats

La valeur lue est Multiplie par un coefficient égale à 4000, le résultat obtenue est exprimé en centipoises.

b. Mesure de pH

Le pH des produits fermentés à été mesure à l'aide d'un pH-mètre «HANNA Instrument[®]» (figure 13). La mesure nous renseigne sur le degré de la fraîcheur du produit (Martinez-villaluengaa et al., 2006)



Figure13 : pH-mètre « HANNA Instrument ».

❖ Principe

Le pH sert à quantifier la concentration en ion H^+ dans l'échantillon. Ces ions confèrent au milieu son caractère acide ou basique. L'appareil utilisé, le pH-mètre, mesure la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongée dans l'échantillon à analyser (Amiot et al., 2000; Rejsek, 2002).

❖ Mode opératoire

- Etalonner le pH mètre avec deux solution tampons : l'une à pH 7 et l'autre à pH 4,
- Amener l'échantillon à analyser à 10°C ;
- Rincer la sonde de pH-mètre avec de l'eau distillée et sécher la avec de papier absorbant
- Plonger la sonde de température et l'électrode dans le pot à analyser en réalisant une légère rotation pour bien homogénéiser le produit ;
- Attendre à ce que la valeur affichée se stabilise

❖ Expression des résultats

La valeur affichée sur l'écran du pH-mètre est le résultat de la formule suivant :

$pH = \text{Log}(\text{concentration en } H^+)$ (Aurengo et Petitclerc, 2006).

*Résultats
et discussion*



III. Résultats et discussions

III. 1. Résultats de la variation des paramètres de validation (EST, TP, MG) au cours de processus de fabrication.

Cette partie détaille l'évolution de la variation de l'extrait sec total (EST) du taux de protéines (TP) et de la matière grasse (MG) en fonction des trois niveaux de la chaîne de production : Tank de poudrage et de standardisation (TPS), sortie pasteurisation (SP), lors du conditionnement (C), et ce, pour les trois recettes : poudre de lait + crème fraîche (PDL + CF) ; lait écrémé +crème fraîche (LE+CF) et lait écrémé + matière grasse laitière anhydre (LE+MGLA).

a. Evolution de l'extrait sec total

L'évolution de la variation de l'EST, en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour les trois recettes est représentée dans la figure 14.

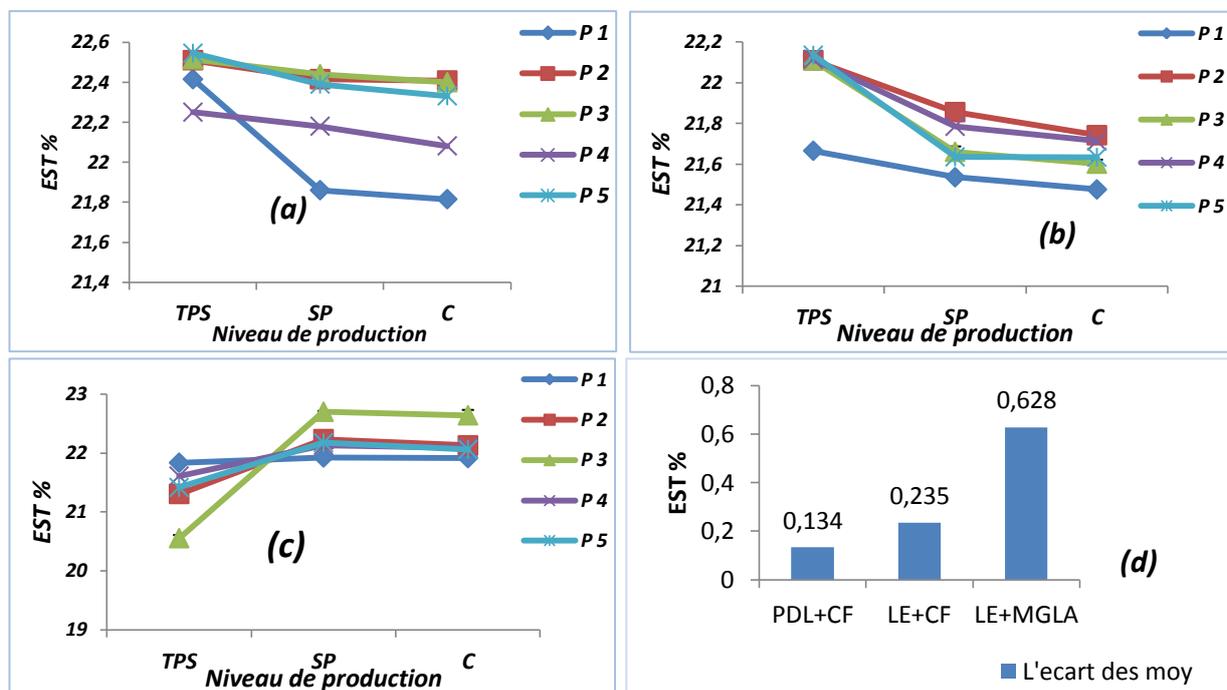


Figure 14 : variation de l'EST en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c). Les écarts en EST entre TPS et SP des moyennes des productions (d). Les valeurs de l'EST sont exprimées en % massique (m/m).

Les représentations graphiques des résultats permettent de constater qu'il ya une variation de l'EST en fonction des trois niveaux (TPS, SP, C) de la chaîne de production pour chaque recette. Durant le passage du niveau (TPS) jusqu'au niveau (C), l'allure des courbes de variation de l'EST évolue de la même manière pour les cinq productions des deux recettes PDL+CF (*Figure 14a*) et LE+CF (*Figure 14b*). En effet, La valeur maximale est observée au niveau TPS, elle diminue de manière significative au niveau SP.

Cette variation de la teneur en « EST » est due au mouillage qui se produit lors de la pousse initiale et/ou finale appliquée pour pousser le produit d'un niveau à l'autre.

Il a été observé que le taux de mouillage varie d'une production à l'autre (par exemple la P1 et P3, P5 des recettes PDL+CF et LE+CF respectivement qui présentent le taux de mouillage le plus élevé). Il est en relation avec :

- le tonnage poudré, en effet en augmentant la quantité poudrée, le taux de mouillage va diminuer ;
- la maîtrise des pousses qui coïncide avec le moment de l'ouverture et de la fermeture des vannes.

Concernant, l'évolution de l'EST de la recette LE+MGLA entre les niveaux TPS et SP (**Figure 14c**), une augmentation d'ordre 0,628 % d'EST (**figure 14d**) a été observée entre le niveau TPS vers SP, et ce, en comparaison avec les deux recettes précédentes (PDL+CF et LE+CF). Cette augmentation est certainement due à l'injection de MGLA qui se fait juste avant la pasteurisation.

Toutefois, une faible diminution a été observée entre les niveaux SP et C (Ecart entre ces deux niveaux en EST des moyennes de productions sont : 0,035 %, 0,043 % et 0,046 %) pour les trois recettes (PDL+CF, LE+CF et LE+MGLA respectivement). Cette dernière est vraisemblablement due à l'erreur du dessiccateur ($\sigma=0,15\%$) et non pas au mouillage.

Il est à noter que le mouillage conduit d'une part à une perte économique par la perte du produit (rejet à l'égout). D'autre part il est à l'origine de défauts de texture « viscosité » du produit fini.

b. Evolution du taux de protéines

L'évolution de la variation du TP, en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour les trois recettes est représentée dans la figure 15.

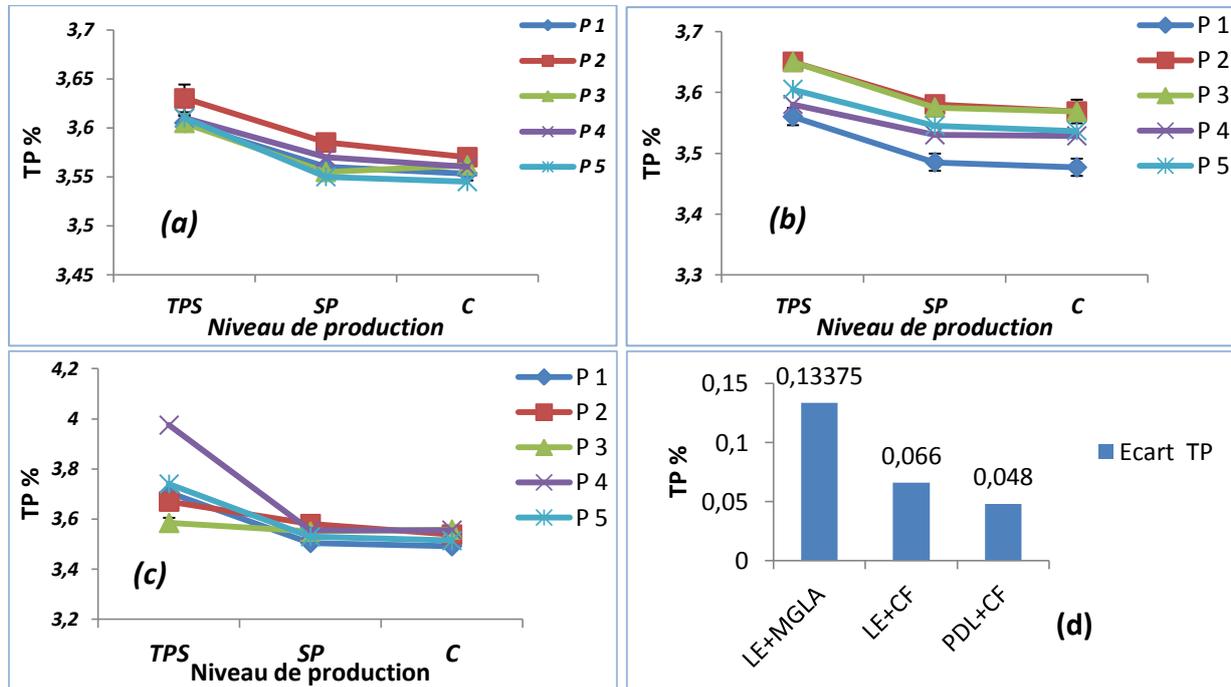


Figure 15 : Variation de TP en fonction des trois niveaux de la chaîne des cinq productions pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c). Les écarts en TP entre TPS et SP des moyennes des productions (d). Les valeurs du TP sont exprimées en % massique (m/m).

L'évolution des courbes de variation du TP en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour chacune des trois recettes (*figure 15: a, b et c*) est semblable à celle observée lors du suivi de l'EST pour les deux recettes PDL+CF et LE+CF (*Figure 14a et 14b*). Ce constat est vraisemblablement dû à l'occurrence du mouillage entre les niveaux concernés. En effet, Les protéines sont un des éléments constitutif majeur de l'EST, ainsi, la mouillabilité de l'EST impliquera certainement celle du TP. La similitude de l'allure du TP et de l'EST concerne également les niveaux SP et C. En effet, une stabilisation du TP y est constatée.

Par ailleurs, un mouillage considérable d'ordre 0,13 % entre TPS et SP (*Figure 15d*) du TP a été observé pour la recette LE+MGLA à titre d'exemple la production P4 (*Figure 15c*), où une diminution de 0,5 % du TP est constatée en passant 3,97 % à 3,55 %.

Cela peut être dû à l'injection de la MGLA qui participe à la diminution de la concentration des protéines, en augmentant le volume total de produit (*Figure 14c*).

c. Evolution de la matière grasse

L'évolution de la variation de la matière grasse, en fonction des trois niveaux de la chaîne de production pour les trois recettes est représentée dans la figure 16.

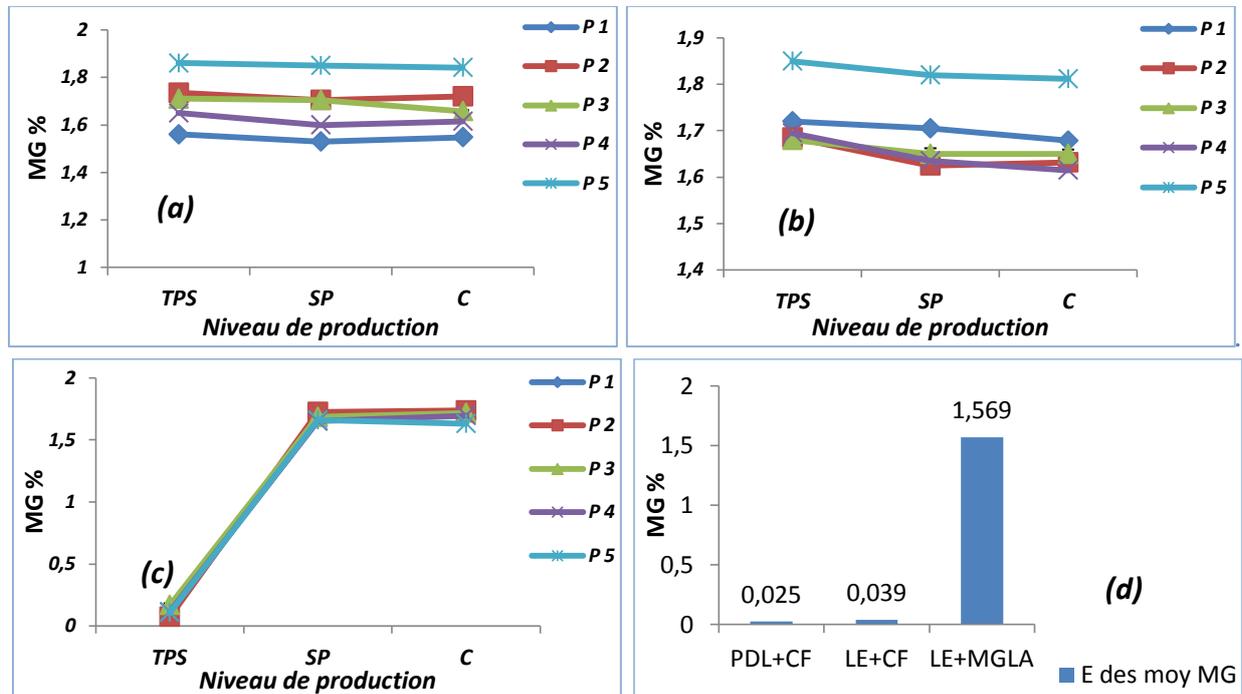


Figure 16 : variation de MG en fonction des trois niveaux de la chaîne de production des cinq productions pour chacune des recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c). Ecart en MG entre TPS et SP des moyennes des productions (d). Les valeurs du MG sont exprimées en % volumique (m/v).

Il a été observé que le mouillage - habituellement constaté entre les niveaux TPS et SP- n'affecte pas de manière significative le taux de matière grasse pour les recettes PDL+CF (diminution d'ordre 0,025 %) et LE+CF (diminution d'ordre 0,033 %) (**Figure 16 d**). Ainsi, ce résultat renseignerait sur la stabilité du taux de MG durant le passage du niveau TPS vers SP.

Concernant la recette LE+MGLA, les résultats montrent une très forte augmentation du taux de MG et ce pour toute les productions (1,569 %) (**Figure 16 d**). Ce constat est certainement dû à l'injection de la MGLA avant le niveau SP. Cependant, un très faible écart en MG entre le SP et C des moyennes des productions des trois recettes PDL+CF, LE+CF, LE+MGLA a été observé (diminution d'ordre 0,0009 %, 0,006 % et 0,012 % respectivement) renseigne sur la stabilité du taux de MG.

En outre, et à titre d'illustration, **la figure 16c** permet de visualiser l'efficacité de l'écémage du lait cru. En effet, le taux de MG des cinq productions du lait écrémé utilisé comme matière première ne dépasse pas le 0,17 % au niveau TPS. Cette efficacité selon Beal et Sodini, (2003) permet d'atteindre moins de 0,07 g de matières grasses pour 100 g de lait en sortie d'écémuseuse.

III. 2. Variation de la viscosité et du pH du produit fini

Cette partie illustre les variations de la viscosité et du pH du produit fini après 24h de stockage à 4°C. Le suivi concerne les trois points de prélèvement au niveau du tank (début, milieu, fin).

III. 2. 1. Suivi du pH du produit fini

L'évolution de la variation du pH en fonction des trois niveaux de tank (début, milieu, fin) de chaque production pour les trois recettes est représentée dans la figure 17.

On observant l'allure des représentations graphique de la recette PDL+CF, il est constaté la stabilité globale du pH entre les trois niveaux (D, M, F) des cinq productions. Cette stabilité est certainement due non seulement à la stabilité des paramètres (TP, MG, EST) mais aussi à la maîtrise de la fermentation au niveau de la chambre chaude. Notamment la maîtrise de la durée de fermentation qui assure un arrêt de la culture au pH optimal (4,6) afin d'éviter une acidification trop poussée (Beal et Sodini, 2003). Toutefois, une comparaison entre les recettes fait ressortir que la PDL+CF enregistre des valeurs encore plus stables que celle de LE+MGLA, elle-même plus stable que la recette LE+CF.

Concernant les valeurs de pH des trois niveaux (D, M, F), les productions de la recette LE+CF et de la recette LE+MGLA présentent des variations considérables. En effet, de très faibles valeurs de pH ont été observées pour ces deux dernières. A titre d'exemple, les deux niveaux (D, M) de la production P2 de la recette LE+CF qui affiche des valeurs qui se situent dans la zone de rejet du produit ($\text{pH} < 4,3$). Ceci est peut être due :

- À la non maîtrise de la fermentation par une durée incubation trop longue ou une température trop élevé, refroidissement trop lent ou pas assez poussé (Mahaut et *al.*, 2000; Lamontagne, 2002) ;
- À la variabilité du LE (variabilité du TP et de la MG) ;
- À l'effet de mouillage qui se produit en cas de fin de la production. En effet, la pousse initiale et finale du produit engendre une diminution de taux MG, EST, TP au début et la fin du tank. Cette diminution se répercuter négativement sur le pH de part un mauvais développement des ferments responsables de l'acidification grâce à la conversion du lactose en acide lactique.

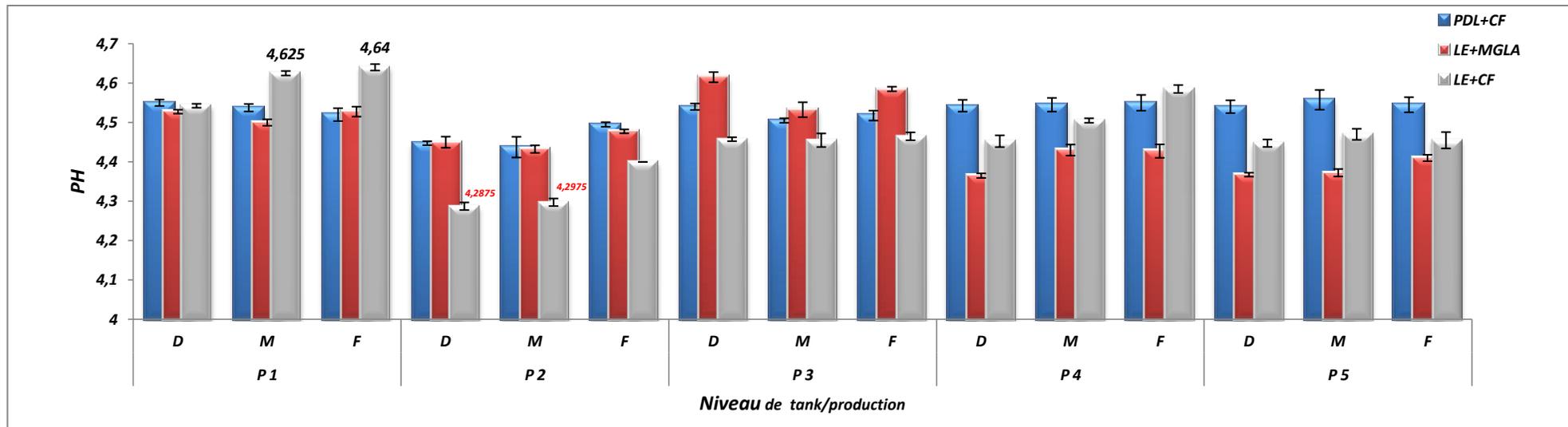


Figure 17: Variation du PH selon le niveau de tank des productions pour les trois recettes

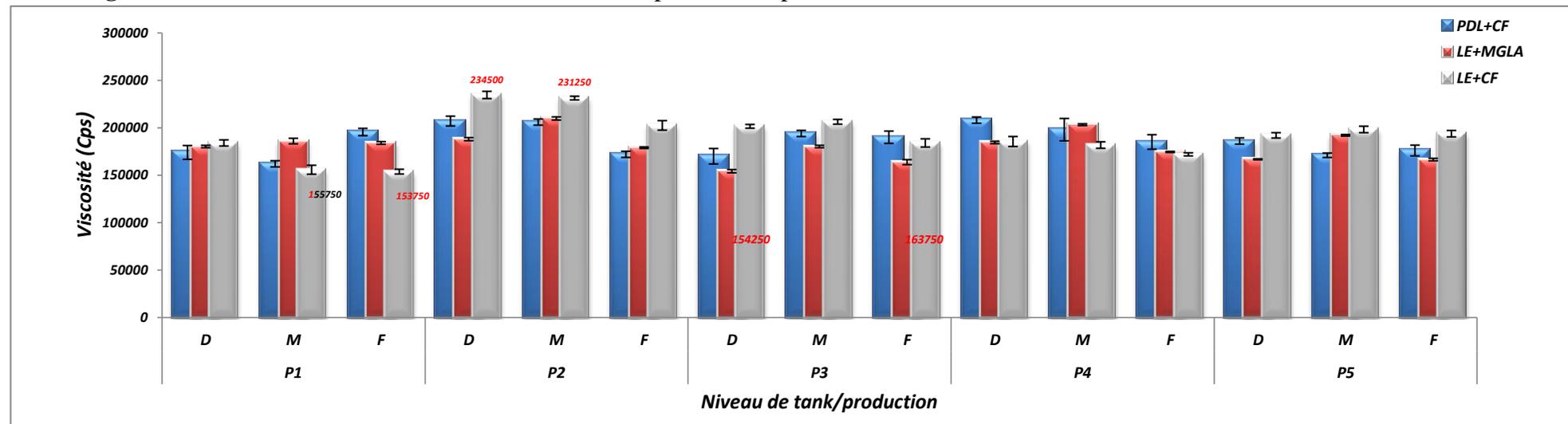


Figure 18: Variation du Viscosité selon le niveau de tank des productions pour les trois recettes

III. 2. 2. Suivi De la viscosité du produit fini

L'évolution de la variation de la viscosité en fonction des trois niveaux de tank (début, milieu, fin) de chaque production pour les trois recettes est représentée dans la figure 18.

Les résultats montrent une légère variation de la viscosité en fonction des trois niveaux de tank (début, milieu, fin). Cette dernière est généralement inversement proportionnelle aux valeurs du pH. En effet parallèlement à l'augmentant du pH, une diminution de la viscosité a été remarquée.

Les valeurs de la viscosité les plus élevées qui se situent dans la zone de rejet du produit ont été observées au niveau du début et du milieu de tank de la production P2 (recette LE+CF). Ceci peut être expliqué par la non-conformité de leurs pH qui se situe lui-même dans la zone de rejet du produit (défaut de suivi de la fermentation et/ou de la composition). Néanmoins les valeurs de la viscosité les plus faibles qui se situent dans la zone de rejet du produit ont été observées au niveau du milieu et fin de tank de la production P1 de la recette LE+CF. Ceci est peut être dû au pH élevé de celles-ci (Figure 17) et de l'effet de la poussée en fin de conditionnement (mouillage).

De même, des faibles valeurs de la viscosité de la recette LE+ MGLA au niveau Début et fin du tank de la production P3 ont été observé. Ceci est peut être dû au fait que cette dernière a subi une dilution à cause des deux pousses de début et de fin de conditionnement. En effet lors de début et de la fin de conditionnement une pousse avec l'eau s'effectue, ce qui entraîne un mouillage du produit qui se répercute négativement sur la viscosité de produit fini.

Outre les éventuels défauts technologiques, la variabilité de la composition du LE peut fortement contribuer à l'instabilité des valeurs de la viscosité dans les produits issus des recettes à base de lait cru. Plusieurs auteurs imputent la dite variabilité de la composition en terme qualité du lait cru à :

- l'alimentation du troupeau (Pougheon, 2001) ;
- au moment de la traite (Mathieu, 1998 ; O'connor, 1995 ; Pougheon, 2001) ;
- la race et varie aussi d'un individu à l'autre (Mathieu, 1998 ; O'connor, 1995).

III. 3. Variation et conformité de la Viscosité et du pH ainsi que les paramètres EST, TP et MG

Les résultats d'analyse de variation de la viscosité, du pH et des paramètres (TP, MG et EST) pour les cinq productions et selon les recettes PDL+CF, LE+CF et LE+MGLA sont présentés dans les figures 24, 23, 19, 20, 21 respectivement. Les mesures de la viscosité et du pH sont réalisées après un stockage à 4°C durant 24h. Les valeurs attribuées pour chaque production sont des moyennes calculées à partir des différentes mesures réalisées sur des échantillons prélevés à trois niveaux du tank (début, milieu et fin) de chaque production. Cette partie met également en évidence la comparaison aux normes exigées par l'entreprise (normes illustrées dans le tableau N° VI en annexe).

III. 3. 1. Variation et conformité des paramètres, TP, MG et EST

a. Taux de protéines

La figure 19 montre les variations du TP en fonction des productions et des recettes. Elle illustre par ailleurs les normes (la zone de tolérance exigée de TP : max 3,7%, min 3,5%).

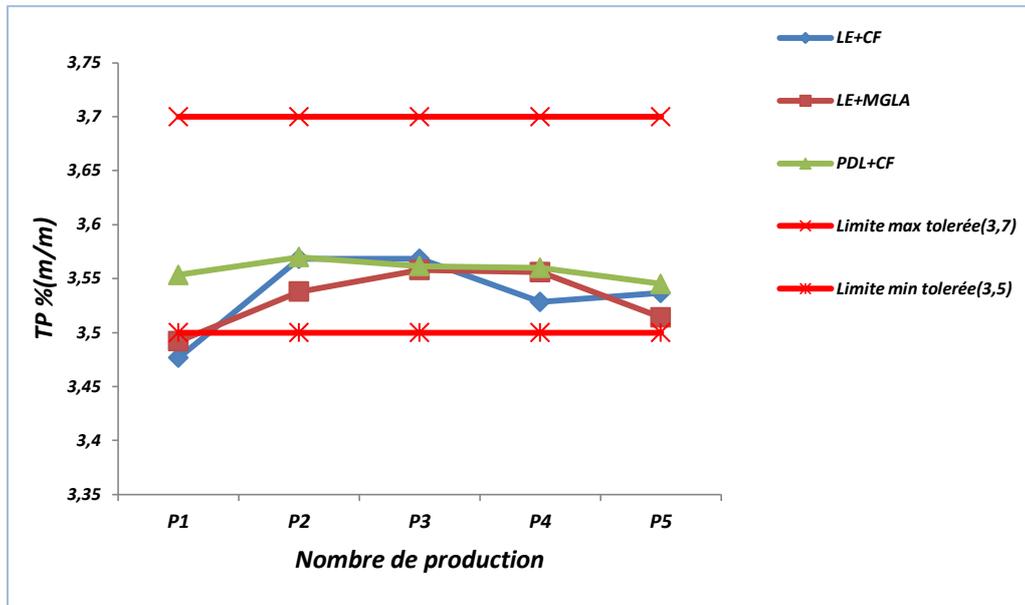


Figure 19 : Evolution du TP du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes. Le TP est exprimé en % massique (g/100 g de produit).

Selon la norme tolérée par l'entreprise Danone pour le TP indiquées ci-dessus les résultats obtenus pour les trois recettes, toutes productions confondues, sont conforme. Toutefois, la production P1 de la recette PDL+CF avec un TP de $3,47 \pm 0,01$ %, est située dans la zone de rejet du produit. Ainsi, des valeurs faible en TP ont été observées pour la production P1 ($3,5 \pm 0,03$ %) et P5 ($3,51 \pm 0,01$ %) qui se trouve à la limite inferieure de tolérance.

D'après l'écart-type calculé de TP des cinq productions (0,009), une stabilité de la recette PDL+CF a été observée. Tandis que les valeurs de TP des deux autres recettes préparées à base de lait écrémé (LE+CF et LE +MGLA), présentent une variation d'une production à l'autre (leur écarts types sont : 0,03, 0,02 respectivement). L'instabilité du TP peut être expliquée par la variabilité de la composition du LE (voir § III.2.2.).

b. Taux de matière grasse

La figure 20 montre les variations de la MG en fonction des productions et des recettes. Aussi elle illustre les normes (la zone de tolérance exigée de la MG : max 1,85%, min 1,55%).

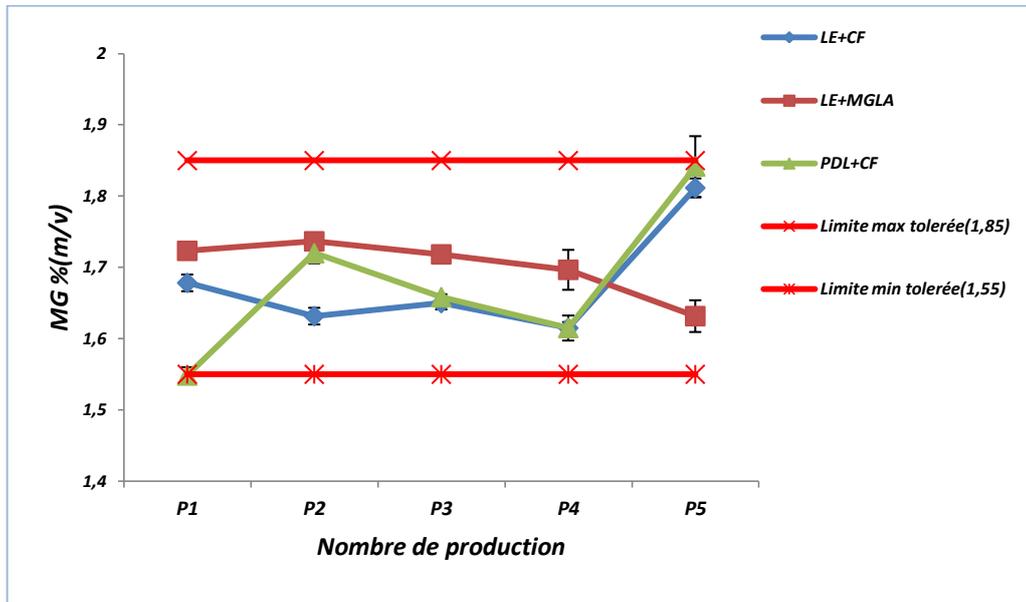


Figure 20 : Evolution de la MG du produit fini en fonction des productions et pour les trois recettes. Le Taux de MG est exprimé en % volumique (g/100 mL).

Le taux de matière grasse (figure 20) tous comme le TP varient entre les trois recettes d’une production à l’autre. Cette variation est notamment plus marquée pour le taux de MG par rapport au TP. Ces résultats corroborent avec les observations de Srairi, (2005) qui a montré que la teneur en protéines est bien plus stable que celle de la MG dans le lait.

Il est cependant constaté que la recette LE+MGLA présente une moindre variation du taux de la MG, et ce, d’une production à l’autre. Cette apparente stabilité peut être expliquée du fait du contrôle inter-production de l’ajout de la MGLA. Néanmoins les recettes préparées à base de crème fraîche (PDL+CF, LE+CF) issue de l’écémage du lait cru, présentent d’importantes fluctuations de taux de la MG. En effet, la plus faible valeur est attribuée à la production P1 de la recette PDL+CF (1,54± 0,01 %) situé à la limite minimale tolérée (1,55 %). Alors que les plus grandes valeurs ont été observées au niveau de la production P5 (1,84 ± 0,04 %) de la recette PDL+CF et au niveau de la P5 (1,81± 0,01 %) de la recette LE+CF. Bien que la variabilité de la MG soit globalement dans la zone de conformité, elle est principalement attribuée :

- Au taux de MG validée au départ (les niveaux TPS et SP) ;
- A la maîtrise de l’incorporation de la MG au cours du procès ;
- A la maîtrise de l’homogénéisation au niveau du tank de poudrage et de standardisation(TPS) ;
- A la rigueur des opérateurs lors de l’incorporation ;

- Au niveau de l'injection.

c. Taux de l'extrait sec total

La figure 21 montre les variations du taux d'EST en fonction des productions et des recettes. Aussi elle illustre les normes (la zone de tolérance exigée pour l'EST : max 23,86%, min 20,86%).

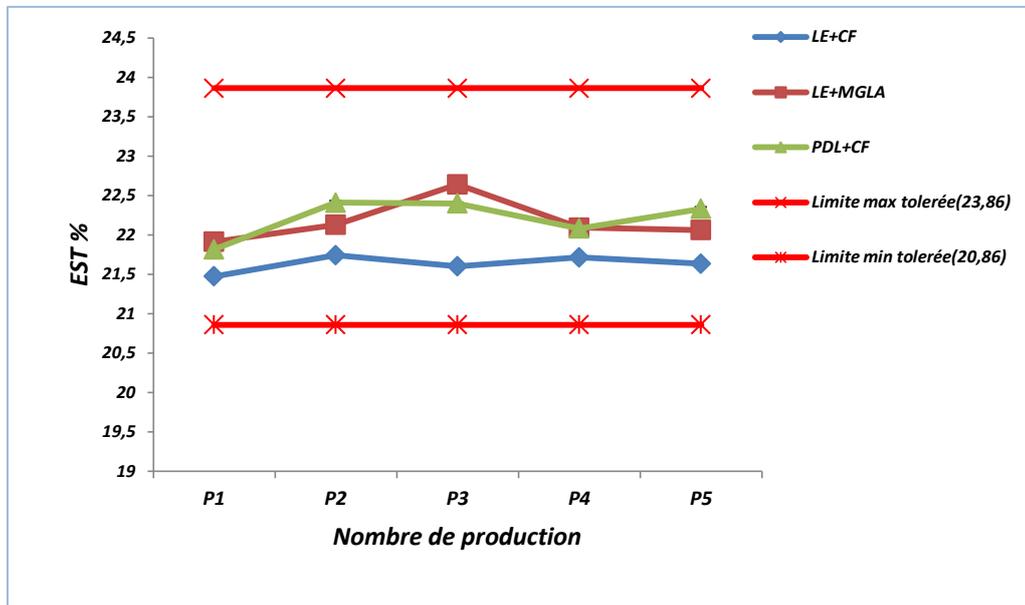


Figure 21 : Evolution de l'EST du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes. L'EST est exprimé en % massique (g/100 g de produit).

Globalement, les valeurs moyennes de l'EST des productions des trois recettes PDL+ CF, LE+CF et LE+MGLA ($22,20 \pm 0,25$, $21,63 \pm 0,10$, $22,16 \pm 0,27$) se situent dans la zone de conformité de l'entreprise. Cependant d'après les écarts types, une variation entre et intra production a été constaté. Cette variation de l'EST est conditionnée par la variation des éléments constitutifs, à savoir TP et MG représenté dans la figure 19 et 20 respectivement. Mais dépend aussi de la quantité de lactose. Selon Mahaut et *al.*, (2000), il est le constituant majeur de la matière sèche du lait, où il représente plus de la moitié de l'extrait sec total.

III. 3. 2. Variation et conformité du pH et de la viscosité

Après avoir suivi la variation ainsi que la conformité des paramètres EST, TP, MG, le suivi du pH et de la viscosité permettra sans nul doute de mettre en évidence l'impact de leurs variabilités sur la texture et l'acidité du produit final.

a. Variation et conformité du pH

La figure 22 montre les variations de la MG en fonction des productions et des recettes. Aussi elle illustre les normes (la zone de tolérance exigée du pH : max 4,7, min 4,3).

Les valeurs de pH obtenus à J+1 des yaourts issus des productions considérées, varient entre 4,46 ($\pm 0,02$) et 4,54($\pm 0,01$) (0,08 de différence) pour la recette PDL+CF, entre 4,32($\pm 0,05$) et 4,60($\pm 0,05$) (0,28 de différence) pour LE+CF, et entre 4,38($\pm 0,02$) et 4,57($\pm 0,03$) (0,19 de différence). Ces résultats montrent que les pH obtenus (toute recette confondue) sont dans la zone de tolérance de l'entreprise qui est situé entre 4,30 et 4,70.

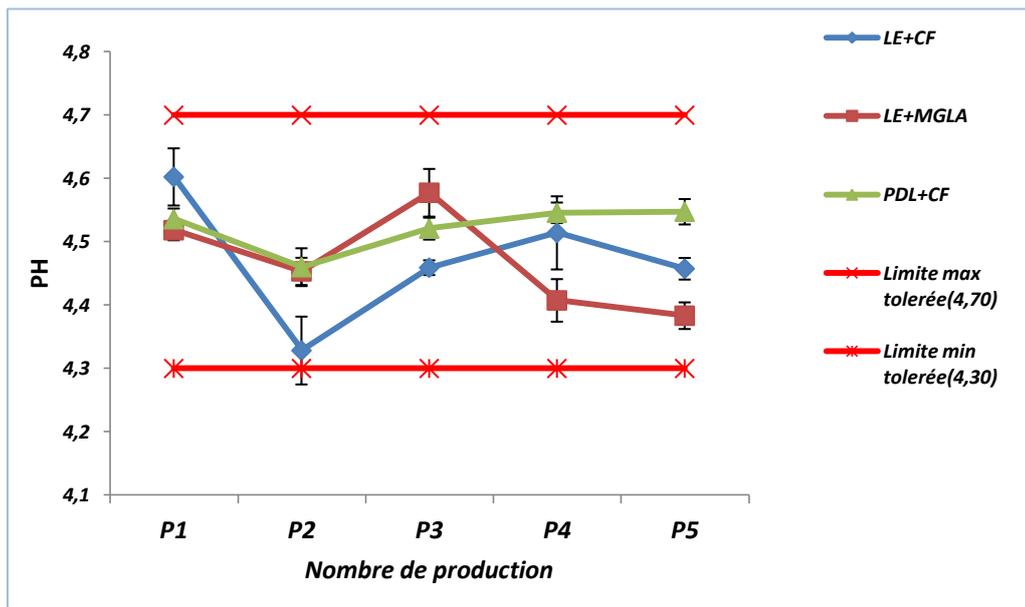


Figure 22 : Evolution du PH du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes.

De même, il a été observé que le pH obtenu pour la recette PDL+CF est le plus stable d'une production à l'autre avec un moyenne de $4,52 \pm 0,03$ par rapport au pH des deux autres recettes LE+CF et LE+MGLA avec des moyennes de $4,47 \pm 0,09$ et $4,46 \pm 0,07$ respectivement. Ceci s'explique par le fait que la recette PDL+CF présente des TP et des EST les plus stables (Figures 4, 6). De ce fait, nous pouvons déduire que l'augmentation du taux de protéines et de l'EST engendre une augmentation de l'acidité du yaourt (baisse du pH). Ces variations sont imputables au développement des bactéries lactiques qui acidifient le milieu par la production d'acide lactique. En effet, l'augmentation de l'EST et du TP améliore la disponibilité des nutriments facilement accessibles indispensable pour la croissance bactérienne (Branger, 2004 ; Pacikora, 2004 ; Ravin et Alatosava, 2003)).

b. Variation et conformité de la viscosité

La figure 23 montre les variations de la viscosité en fonction des productions et des recettes. Aussi, elle illustre les normes (la zone de tolérance exigée de la viscosité : max 225000 Cps, min 165000 Cps). Ce sont des normes requises par le fabricant (Danone).

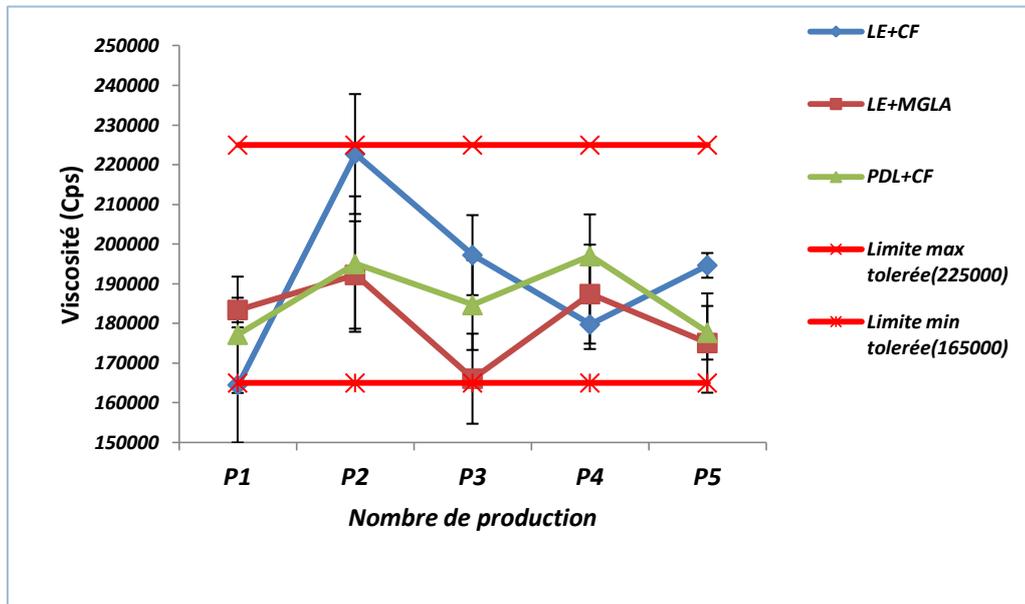


Figure 23 : Evolution de la viscosité du produit fini en fonction des productions pour les trois recettes. La viscosité est exprimée en Centipoise.

Les résultats montrent une conformité des valeurs de la viscosité du produit fini obtenus à J+1 pour les trois recettes, à l'exception de la production P1 de la recette LE+CF qui présente une viscosité (164 500 ± 14 519 Cps) légèrement inférieure à la limite minimale tolérée.

Malgré la conformité des valeurs enregistrées, des variations de la viscosité en fonction des recettes et des productions ont été observées. Différents facteurs sont à l'origine des fluctuations observées. En effet, la fermeté d'un yaourt dépend fortement de l'EST, de la qualité et de la quantité des protéines (Oliveiraa et al., 2001). Elle dépend également de la méthode d'enrichissement du lait, du traitement thermique (voir la figure 5) mais aussi des souches bactériennes utilisées (c a d le rapport : streptocoque/lactocoque) (Paci Kora, 2004).

A titre d'exemple La non-conformité de la viscosité de la production P1 de la recette LE+ CF est vraisemblablement due au faible TP (TP=4,47 %) de celle-ci qui se situe dans la zone de rejet de produit (TP<4,5 %). Selon Damin et al., (2009) ; Oliveiraa et al., (2001), l'augmentation du niveau des protéines du lait est le facteur principal influençant la texture du yaourt.

Cependant, il a été observé que même pour un même taux de TP et d'EST de deux recettes PDL+CF et LE+MGLA, des viscosités différentes peuvent être trouvées. A titre d'exemple, la viscosité de la production P3 de la recette PDL+CF ($184\,666 \pm 11\,332$ Cps) est très proche de la cible requise par l'entreprise (Voir tableau VI en annex), tandis que la viscosité de la production P3 de la recette LE+MGLA ($166\,083 \pm 11\,357$ Cps) est située dans la limite inférieure de tolérance. Selon Damin et *al.*, (2009), La nature et les proportions relatives des différentes protéines dans la matière sèche affectent de manière significative la texture du produit final. Et selon Snappe et *al.*, (2010); Amatayakul et *al.*, (2006), même à une concentration des protéines constante, lorsque la proportion de caséines croît, la fermeté du gel augmente. À l'inverse, les gels acides préparés à partir de laits enrichis graduellement en protéines sériques sont de moins en moins fermes. La présence de protéines sériques perturberait donc la bonne gélification des particules de caséines.

Il a été observé que malgré la conformité de TP, MG et de l'EST de la production P2 (Figures 19, 20 et 21 respectivement) de la recette LE+CF. Elle présente une viscosité élevée qui se situe à la limite supérieure de la conformité ($222\,750 \pm 15\,118$ Cps), ceci est peut être dû :

- Au faible pH qui se situe à la limite inférieure de tolérance (fig) (voire § III.4.d)
- Au exopolysaccharides (EPS) produits pendant la fermentation qui agissent à la fois sur la fermeté et l'onctuosité des produits fermentés (Renard et *al.*, 2006 ; Ayala-Hernandez et *al.*, 2009). Ils sont présents sous forme de filaments attachés aux micelles de caséines et à la surface des bactéries. Les interactions entre les bactéries, les EPS et les caséines contribuent à former un réseau qui emprisonne l'eau dans le gel (Tamime et Robinson, 2000) (voire figure 6). La texture et la stabilité globales des produits alimentaires dépend non seulement des propriétés des protéines et des polysaccharides, mais également de la nature et de la force des interactions de protéines/polysaccharide Hemar et *al.*,(2001) ;Grattepanche,(2005) ;
- A l'augmentation de la pression d'homogénéisation du mix (Lamontagne, 2002 ; Serra et *al.*, 2009).

Après comparaison de la viscosité des yaourts des trois recettes, la recette PDL+CF présente la viscosité la plus stable. Cette stabilité est le résultat de la stabilité des trois paramètres TP, MG, EST mais aussi la stabilité du pH.

III.4. Relation entre la viscosité et les différents paramètres

Dans le but d'étudier la relation existante entre les différents paramètres (TP, MG, EST, PH) et la viscosité d'un yaourt ferme, un suivi du profil de la viscosité avec chacun des quartes paramètres est exposé ci-dessous.

a. La relation viscosité / TP

Le suivi du profil de la viscosité par rapport au TP est illustré dans la figure 24.

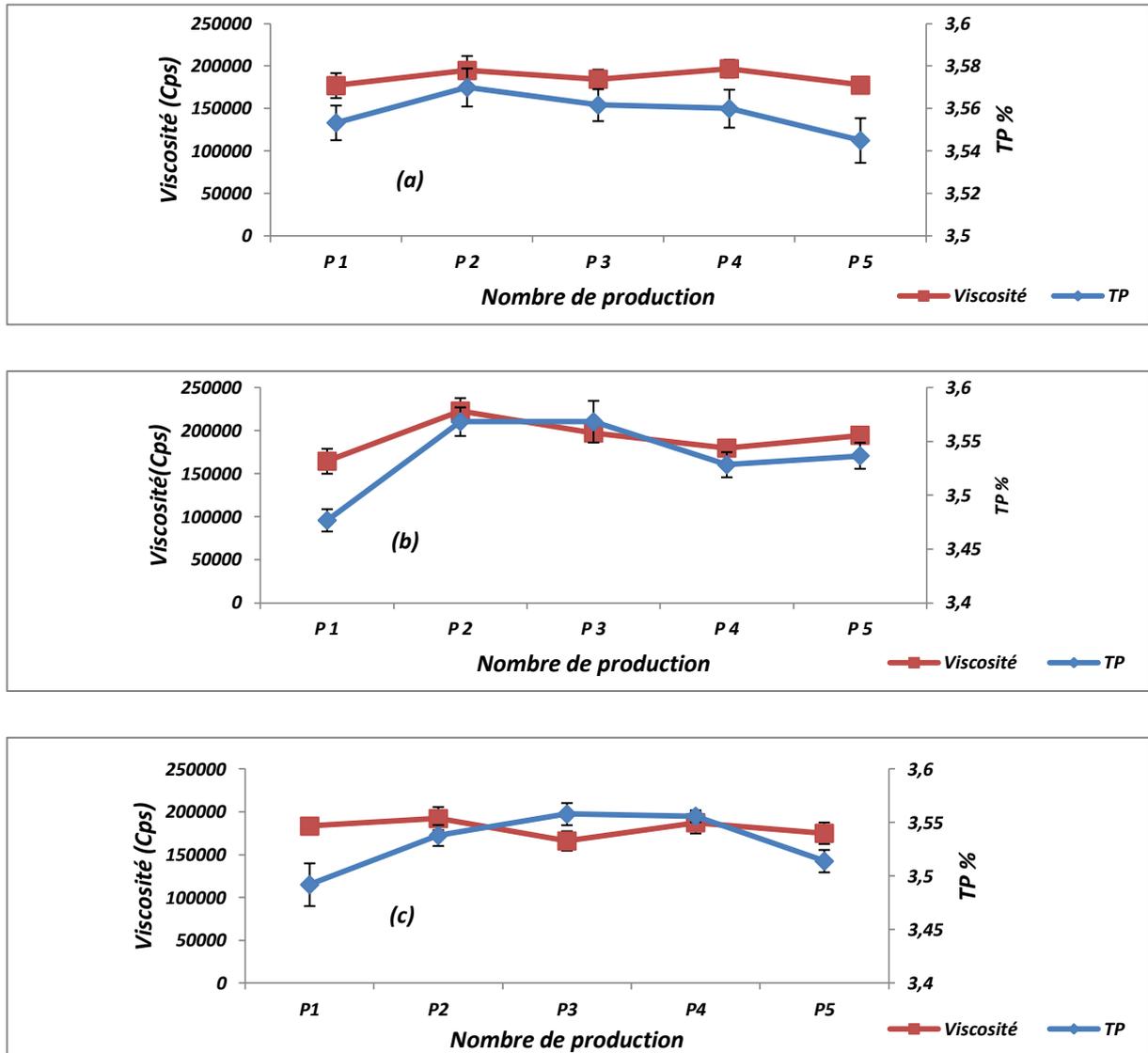


Figure 24 : Evolution de la viscosité par rapport au TP du produit fini « Yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.

Il a été observé que la viscosité suit le même profil que le TP C.à.d. une relation proportionnelle entre ces deux derniers, et ce, quelque soit le type recette. Ceci confirme le constat de l'existence d'un lien étroit entre le TP et la viscosité. En effet, la formation du

réseau se fait par association des micelles de caséines entre elle et avec les protéines sériques dénaturées (voire figure 4). Ceci implique qu'une diminution du TP conduira sans nul doute à la diminution de la fermeté du yaourt et donc de sa viscosité.

b. La relation viscosité / MG

Le suivi du profil de la viscosité par rapport à la MG est illustré dans la figure 25.

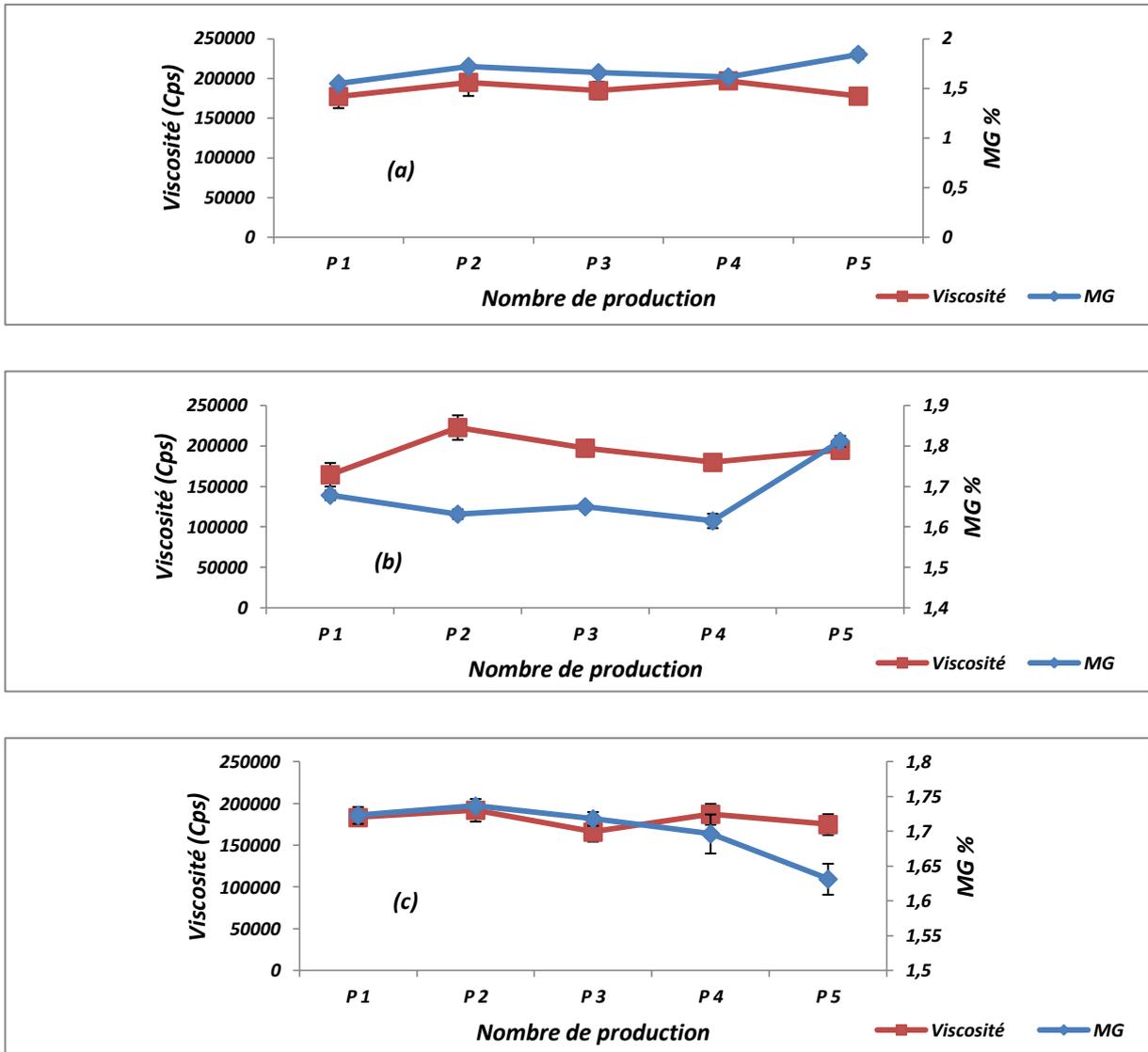


Figure 25 : Evolution de la viscosité par rapport à la MG du produit fini « Yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.

La figure 25 montre que la viscosité du yaourt est également influencée par la teneur en MG. En effet, l'augmentation de la MG implique celle de la viscosité. Une proportionnalité est donc établie entre les deux. Shaker et *al.*, (2000) ; Xu et *al.*, (2008) rapportent l'existence d'une corrélation entre la teneur en MG et la viscosité du yaourt.

c. La relation viscosité / EST

Le suivi du profil de la viscosité par rapport à l'EST est illustré dans la figure 26.

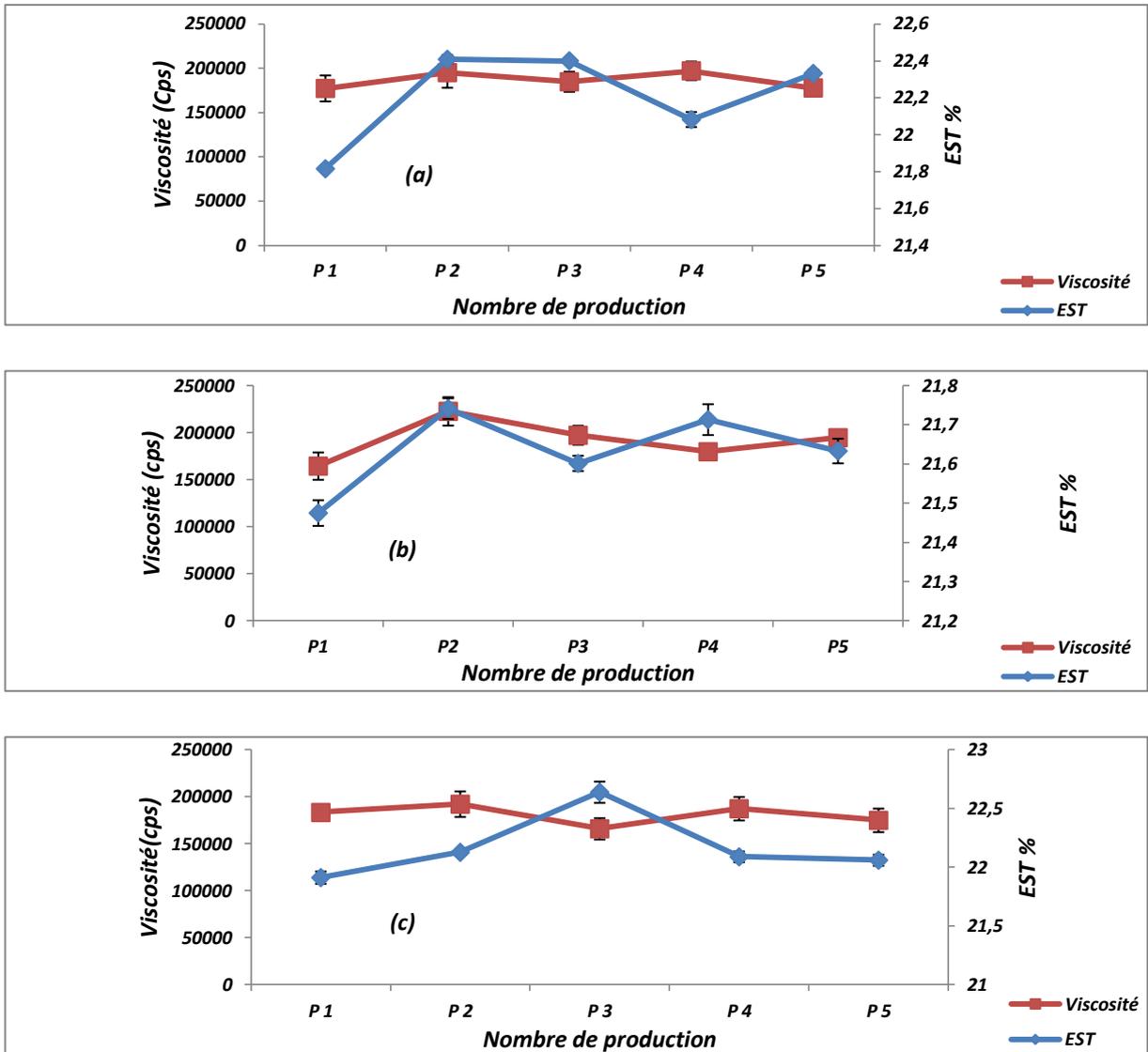


Figure 26 : Evolution de la viscosité par rapport à l'EST du produit fini « Yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.

Tout comme le TP et la MG, une vraisemblable relation a été observée entre l'EST et la viscosité du produit fini des trois recettes. Néanmoins, des cas exceptionnels ont été trouvés, le cas de la P3 (recette LE+MGLA). En effet, ce constat peut être justifié par l'influence d'autres paramètres telle que l'effet de la pression d'homogénéisation, la qualité des protéines, etc (voir § III.3.2.b).

d. La relation viscosité / pH

Le suivi du profil de la viscosité par rapport au pH est illustré dans la figure 27.

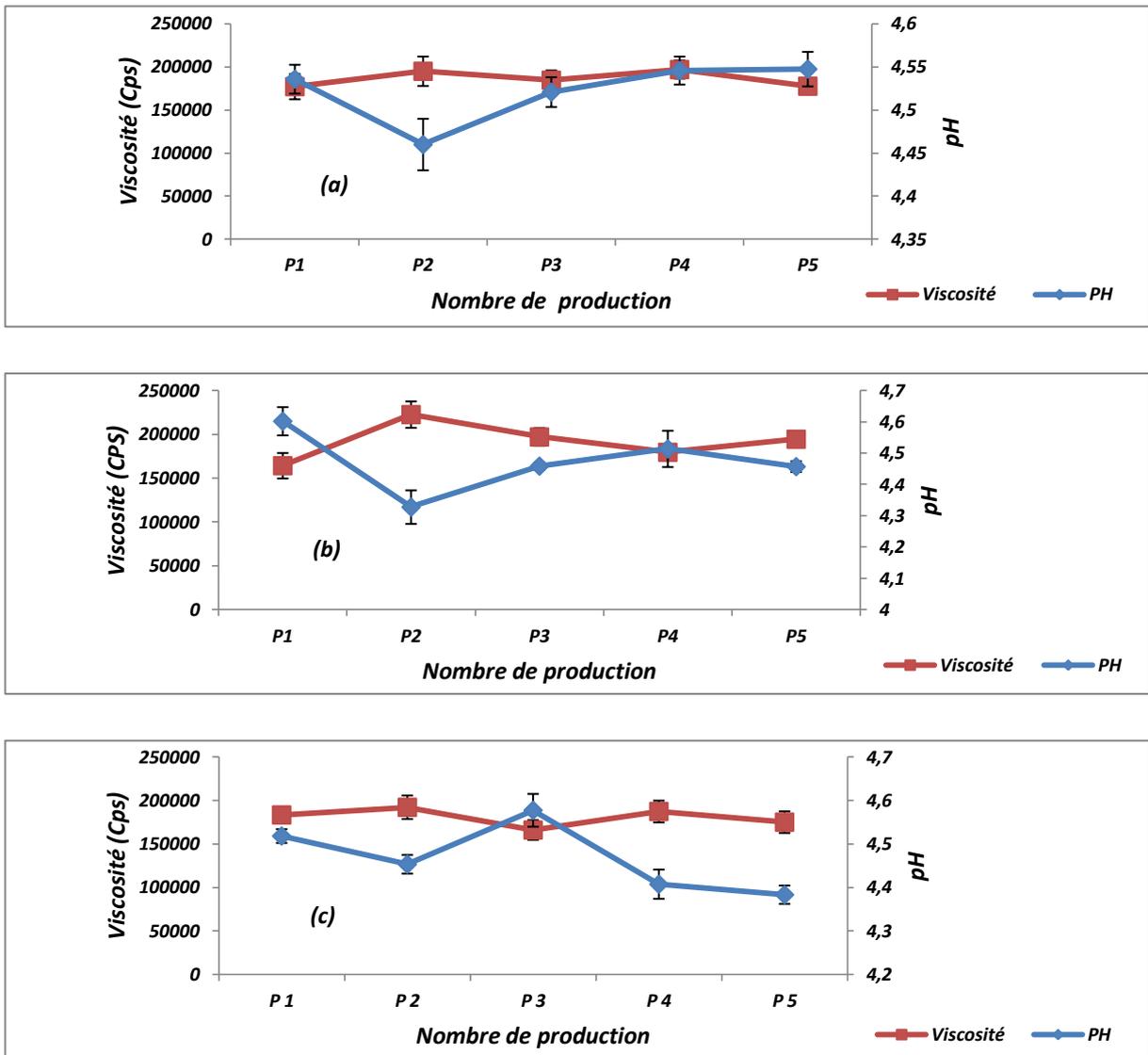


Figure 27 : Evolution de la viscosité par rapport au pH du produit fini « yaoumi » des trois recettes PDL+CF(a), LE+CF(b) et LE+MGLA(c) en fonction des productions.

A l'inverse de la relation entre la viscosité avec les paramètres TP, MG et l'EST, celle qui lie le pH et la viscosité est non proportionnelle. En effet, quelque soit le type de la recette l'augmentation du pH correspond à la diminution de la viscosité, et ce, d'une production à l'autre. Cette observation peut s'expliquer selon Debon et *al.*, (2010) ; Beal et Sodini, (2003) ; Paci kora (2004) et Renan et *al.*, (2008) du fait de l'abaissement du pH par acidification (production d'acide lactique par l'activité bactérienne spécifique du yaourt), entraînant une déminéralisation progressive des micelles de caséines. Celles-ci vont s'associer entre-elles par la formation de liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques pour former un réseau protéique retenant la phase aqueuse. A un pH

inferieur 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.

Introduction

Conclusion

Annexes



*Synthèse
bibliographique*



*Références
bibliographiques*



Conclusion

Après avoir suivi les principaux paramètres régissant la qualité du yaourt ferme :

- Composition des ingrédients des recettes (TP, MG et EST) ;
- Paramètre technologiques (chaîne de fabrication),

les principaux résultats ont révélés que la recette PDL+CF présente la viscosité la plus stable par rapport au deux autres recettes préparées à base le lait cru. Impliquant une meilleure qualité texturante. En effet cette stabilité de la poudre de lait, du point de vue « composition », est due à l'utilisation de la même poudre dans toutes les productions (constance et stabilité).

Outre l'importance de la composition des préparations, le deuxième problème rencontré, d'ordre technologique, est le « mouillage » éventuellement constaté lors de la poussée du produit (poussées initiale et/ou finale). Les analyses effectuées ont montré que l'occurrence de ce mouillage entre les deux niveaux TPS et SP de la chaîne, affecte de manière significatif le TP et EST par rapport à la MG.

Par ailleurs, les résultats montrent que la composition en EST, TP et MG, les paramètres processus de fabrication ainsi que le type de recette ont un effet significatif sur l'acidité et les propriétés texturante du yaourt ferme. Une variation de l'un de ces paramètres abouti à une variation de PH et/ou de la viscosité du produit fini. Aussi, il a été bien observé qu'une augmentation de TP, MG et/ou EST engendre une élévation significative de la viscosité alors qu'une augmentation du pH engendre sa diminution. Cependant, Il a été trouvé que même pour un TP ainsi qu'un taux d'EST équivalents, toute recette confondue, une meilleure viscosité est observé pour les yaourts préparés à base de la poudre de lait. La différence de composition entre le lait écrémé et la poudre de lait utilisée comme matière première, notamment la qualité des protéines (ration caséines /protéines sériques), explique en partie les différences de texture des yaourts et de leur stabilité.

Enfin, dans le but de minimiser la variation de la viscosité du produit fini « Yaoumi » une démarche a été proposée :

- il serait intéressant à l'avenir de se pencher sur le suivi des conditions d'élevage et de traite dans les différentes régions de collecte du lait ainsi que la réalisation d'un échantillonnage plus étoffé en fonction de la période de collecte afin de mieux appréhender les causes de ces variations et y remédier ;
- Une meilleure connaissance de la qualité du lait collecté à des fins de fabrication de yaourt permettrait d'adapter des processus technologiques les plus indiqués, limiter les défauts de fabrication et améliorer la qualité du produit fini. En effet, vu l'importance de la qualité des protéines dans la texture du produit final, il serait intéressant de doser les différents types de protéines (le ratio caséine/protéines

sériques) dans le lait de collecte en s'appuyant sur des techniques électrophorétiques appropriées ;

- Mais aussi peut agir sur la transformation du lait, en développant les techniques de séparation des constituants, permettant ainsi d'agir sur chacun des composants indépendamment les uns des autres. A titre d'exemple, 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 et même les eaux blanches issue lors de fabrication des yaourts.
- De suivre d'une manière rigoureuse la chaîne de fabrication :
 - Le bon suivi de la fermentation (pH des yaourts dans la chambre chaude) ;
 - La vérification du bon fonctionnement des appareils (calibrage et étalonnage) : pH-mètre, le dessiccateur, FT120, etc. ;
 - Bien métriser l'ouverture et fermeture des vanne lors de la pousse de produit afin d'évité le mouillage ;
 - Fixer le tonnage pour toutes les productions.

Enfin, il apparaît nécessaire de compléter ce travail par une évaluation sensorielle des yaourts issue des différentes recettes.

Références bibliographiques

A

AFNOR. (1992). Norme Internationale ISO 5492. Analyse sensorielle ; controle de la qualite des produits alimentaires.

Amatayakul T., Halmos A.L., Sherkat F. et Shah N.P. (2006). The physical characteristics of yoghourts makes with the exopolysaccharide assistance producing Starter Cultures and while varying casein with ratios of whey proteins. *International Dairy Journal*.1, 40-51.

Amiot J., Fournier S., Lebouf Y., Paquin P. et Simpson R. (2002). Composition, propriétés physico-chimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. *In «Vignola C.L».Science et technologie du lait : Transformation du lait.* Ed. Ecole polytechnique de Montréal. Pp. 1-69.

Andre Eck. (1975). Le lait et l'industrie laitière. Ed. N°33 818-Vendôme (France).Pp 5-10.

Anonyme. (2012). DANONE-DJURJURA Algérie.

Augustin M.A., Cheng L.J. et Clarke P.T. (1999). Effects of preheat treatment of milk powder on the properties of reconstituted set skim yogurts. *International Dairy Journal*. 9, 415-416.

Ayala-Hernandez I., Hassan A.N., Goff H.D. et Corredig M. (2009). Effect of protein supplementation on the reological characteristics of milk permeats fermentated with exopllysaccharide producing *Lactococcus lactis* subsp *cremoris*. *Food hydrocolloids*. 23, 1299-1304.

B

Beal C. et Sodini I. (2003). Fabrication des yaourts et des laits fermentés. *In Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F6315.*Pp. 2-16.

Beghoul S., Abdeldjalil M.C., Bensegueni A. et Messai A. (2010). Etat des lieux et perspectives. *In « la filière lait en Algérie ».* Communication aux 8emes Journées des Sciences Vétérinaires ,18 et 19 avril. Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger.

Boudier J.F. (1990). Produits frais. *In Laits et produits laitiers. Vache-brebis-chèvre.* Luquet, F.M. Ed. : Technique et Documentation, Lavoisier, Paris. p.35-66.

Boutonnier J.L. (2006). Matière grasse laitière - Composition, organisation et propriétés. *In Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F6320.*p. 2-15.

Bouzar F., Cerning J. et Desmazeaud M. (1997). Exopolysaccharide Production and Texture Promoting Abilities of Mixed-Strain Starter Cultures in Yogurt Production. *Journal of Dairy Science*. 80, 2310-2317.

Branger A. (2004). Fabrication de produits alimentaires par fermentation : les ferments. *In* Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F3500.Pp. 2-16.

C

Cheftel J. C et Cheftel H. (1986). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments V 1. Ed. Tec & Doc-Lavoisier. Paris, P. 43-48.

D

Damin M.R., Alcaintara M.R., Nunes A.P.et Oliveira M.N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acid cation kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT-Food Science and Technology*. 42, 1744-1750.

Debon J., Schwinden Prudêncio E. et Cunha Petrus J.C. (2010). Rheological and physicochemical characterization of prebiotic microfiltré fermented milk. *Journal of Food génie* 2:128-135.

Dellaglio F., De Roissart H., Torriani S., Curk M. C. et Janssens D. (1994). Caractéristiques des bactéries lactiques. *In* : « Bactéries lactique ». Ed. Loriga. Vol.1.pp. 25-60.

Donato L., Guyomarc'h.F. (2009). Formation and properties of the whey protein/ κ -casein complexes in heated skim milk -A review. *Dairy Science Technologie*. 89, 3-29.

F

Famelart M.H., Guyomarc'h F., Morand M. et Novales B. (2011). Agrégation protéique et propriétés gélifiantes et moussantes des protéines laitières. *Innovations Agronomiques*. 13, 117-132.

Fizman S.M., Liuch M.A. et Salvador A. (1999). Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International Dairy journal*. 9, 895-901.

G

Gaucheron F. (2004). Minéraux et produits laitiers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Pp. 703-735.

Goudédranche H., Camier-Caudron B., Gassi J.Y. et Schuck P. (2008). Procédés de transformation fromagère (partie 1). *In* Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire. F6305.Pp. 2-15.

Goursaud J. (1985). Composition et propriétés physico-chimique. *In* « Luquet.F.M ». Lait et produits laitiers vache-brebis-chèvre (Volume 1). Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Pp. 1-90.

Grattepanche F. (2005). Etude d'un système de préfermentation en continu du lait par une culture mixte immobilisée fonctionnelle. Thèse de doctorat. Université Laval. P 172.

Guiraud J.P. (1998). Microbiologie alimentaire. Industries Agroalimentaire. Dunod. Paris. Pp. 136-162.

H

Holt C. (2004). Biophysique des sels et de la micelle de caséines. *In* « GAUCHERON F». Minéraux et produits laitiers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier.Paris. Pp. 113- 145.

Heymman M. (2000). Effect of Lactic Acid Bacteria on Diarrheal Diseases. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 19 Suppl. 2,137-146.

Hemar Y., Tamehana M., Munro P.A. et Singh H. (2001). Viscosity, microstructure and phase behavior of aqueous mixtures of commercial milk proteins products and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*.15, 565-574.

J

Jacob M., Nöbel S., Jaros D. et Rohm H. (2010). Physical properties of acid milk gels: Acidification rate significantly interacts with cross-linking and heat treatment of milk. *Food Hydrocolloids*.xxx, 1-7.

Jean-Claude M., Pouliot M. et Richard j. (2002). Lait de consommation. *In* «Vignola C.L». Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed. Presses internationales poly technique. Pp. 277-318.

J.O.RA. Arrêté interministériel. 27/10/1999. Relatif aux spécifications du lait en poudre industriel et aux conditions et modalités de sa présentation, sa détention, sont utilisation et sa commercialisation.

L

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

Larpent J.P. et Bourgeois C.M. (1996). Microbiologie alimentaire : Aliment fermentés et fermentation alimentaire. Tom 2. 2^{ème} Ed. Ed Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Pp.309, 310.

Leveau J.Y. et bouix M. (1993). Microbiologie Industriel. Les Microorganismes d'intérêt industriel. Ed. : Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. Pp.170-331.

Loones A. (1994). Laits fermentés par les bactéries lactiques. In «De Roissart H et Luquet FM » Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologique. Vol 2. .Ed. Lorica.Uriage, Pp.135-154.

Luquet F.M. et Corrieu G. (2005). Les Bactéries lactiques et probiotiques. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. Pp. 53-57.

M

Mahaut M. Jeantet R. Brule G et Schuck P. (2005). Les produits industriels laitiers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. France. Pp. 03-10.

Mahaut M., Jeantet R., Brule G. et Schuck P. (2000). Les produits industriels laitiers. Ed.: Tec et Doc. Lavoisier. France. Pp. 1-38.

Mahieu H. (1985). Facteurs de variation de la composition du lait. In «Luquet.F.M ». Lait et produits laitiers vache-brebis-chèvre (Volume 1). Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Pp. 1-90.

Martin M. (2000). Technologies des Laits de Consommation. In « Candia : Direction et Développement Technique ». Ed Enilait. Pp 137.

Mathieu J. (1998). Initiation à la physico-chimie du lait; Guide technologique des IAA. Collection sous la direction de Malégeant J-Y. Edition: Tec et Doc- Lavoisier. Paris. Pp. 5-99.

Michaelidou A.M. (2008). Factors influencing nutritional and health profile of milk and milk products. Small Ruminant Research. 79, 42–50.

O

O'Connor C.B. (1995). Training Manual 1. ILRI (International Livestock Research Institute). Rural Dairy Technology. Addis Ababa. Ethiopia. Pp.16-28.

Oliveira M.N., Sodini I., Remeuf F. et Corrieu G. (2001). Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. International Dairy Journal. 11, 935–942.

P

Paci Kora E. (2004). Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brasse aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception et de la texture et de la saveur ?. Thèse de doctorat présentée à l'Institut National Agronomique. Paris. Grignon.

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 .Ecole vétérinaire de Toulouse.

R

Ravin V. et Alatossava T. (2003). Three new insertion sequence elements ISLdl2, ISLdl3, and ISLdl4 in *Lactobacillus delbrueckii*: isolation, molecular characterization, and potential use for strain identification. 49, 253–268.

Renard D., van de Velde F. et Visschers R.W. (2006). The gap between food gel structure, texture and perception. Food Hydrocolloids. 20, 423-431.

Renan M., Arnoult-Delest V., Paquet D., Brulé G. et Famelart M.H. (2008). Changes in the rheological properties of stirred acid milk gels as induced by the acidification procedure. Dairy Science and Technology. 88, 341–353.

Rollema H.S. (1992) .Casein association and micelle formation. Elsevier Science Publication Ltd. Pp. 63-111.

S

Sahan N., Yasar K. et Hayaloglu A.A. (2008). Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a B-glucan hydrocolloidal composite during storage. Food Hydrocolloids. 22, 1291–1297.

Saint-Eveet A., Lèvy C., Le Moigne M., Ducruet V. et Souchon I. (2008). Quality changes in yoghurt during storage in different packaging materials. Food chemistry. 110, 285-295.

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

Schuck P. (2011). Modifications des propriétés fonctionnelles des poudres de protéines laitières: Impact de la concentration et du séchage. Innovations Agronomiques. 13, 71-99.

Serra M., Trujillo A.J., Guamis B. et Ferragut V. (2009). Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. Food Hydrocolloids. 23, 82–91.

Shaker R.R., Jumah R.Y. et Abu-Jdayil B. (2000). Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*. 44,175-180.

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

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*. Pp. 155-162.

T

Tamime A.Y et Robinson R.K. (2000). *Yoghurt Science and Technology*. 2nd édition. Woodhead Publishing *In Food Science and Technologie*.

Tamime A.Y et Robinson R.K. (2007). *Tamime and Robinson's Yoghurt*. 3rd édition. Woodhead Publishing *In Food Science and Technologie*.

V

Vasbinder A.J., Alting A.C., Visschersa R.W. et De Kruif C.G. (2003). Texture of acid milk gels: formation of disulfide cross-links during acidification. *International Dairy Journal*. 13,29–38.

VEISSEYRE R. (1975). *Technologie du lait*. 3^{ème} Ed. La Maison rustique, Paris. P. 118-306.

X

Xu Z.M., Emmanouelidou D.G., Raphaelides S.N. et Antoniou K.D. (2008). Effects of heating temperature and fat content on the structure development of set yogurt. *Journal of Food Engineering*. 85, 590-597.

Y

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 8èmes Journées des Sciences Vétérinaires, 18 et 19 avril. Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger.

Tableau VII : Normes de l'entreprise pour les paramètres physicochimiques.

	<i>Cible</i>	<i>Zone de conformité</i>	<i>Zone de tolérance</i>	<i>Zone de rejet du produit</i>
<i>Taux de protéines (TP) en % massique</i>	3,60	3,55-3,65	3,50-3,70	<3,50
<i>Taux de matière grasse (MG) en % volumique</i>	1,70	1,65-1,75	1,55-1,85	<1,55 et >1,85
<i>Extrait sec total (EST) en % massique</i>	22,36	21,86-22,86	20,86-23,86	<20,86 et >23,86
<i>pH</i>	4,50	4,40-4,60	4,30-4,70	<4,30 et >4,70
<i>Viscosité en (Cps)</i>	190000	170000-210000	165000-225000	< 165000 et >225000

Résumé

Le but de ce travail est de comparer la qualité texturante des yaourts fermes préparés à partir de différents types d'ingrédients. Trois recettes de fabrication ont été testées : Poudre de lait et crème fraîche (PDL+CF), lait écrémé + crème fraîche (LE+CF), lait écrémé + Matière Grasse Laitière Anhydre (LE+MGLA). Outre la variation des ingrédients, les préparations de plusieurs productions ont fait l'objet de prélèvements à 3 niveaux de la chaîne de production (Tank de poudrage et de standardisation(TPS), sortie pasteurisation (SP) et en fin lors de conditionnement(C)). Un suivi de la variation des paramètres : Taux de protéines (TP), d'extrait sec total (EST) et de matière grasse (MG), a été réalisé. Une fois le gel du yaourt est formé, la viscosité et le pH ont été mesurés. Afin de surveiller l'homogénéité des préparations intra-production, des prélèvements en début, milieu et fin de tank ont été analysés. Les résultats montrent que la composition en EST, TP et MG, la maîtrise des paramètres du processus de fabrication ainsi que le type de recette ont un effet significatif sur l'acidité et les propriétés texturante d'un yaourt ferme. Une variation de l'un de ces paramètres implique une variation de PH et/ou de la viscosité du produit fini. Il a été observé qu'une augmentation de TP, MG et/ou EST engendre une élévation de la viscosité alors qu'une augmentation du pH engendre une diminution de la viscosité. Cependant, pour un TP ainsi qu'un taux d'EST identiques, toute recette confondue, une meilleure viscosité est observé pour les yaourts préparés à base de PDL.

Mots clés : yaourt ferme, recette, poudre de lait, lait cru, crème fraîche, matière grasse laitière anhydre, viscosité, paramètres, processus de fabrication.

Abstract

This work describes a comparative study between different kinds of yoghurt recipes manufacturing and their effects on the final product texture. Three recipes were tested: milk powder mixed with cream milk (MP+CM), skimmed milk mixed with cream Milk (SM+CM), and skimmed milk mixed with Anhydrous Milk Fat (SM+AMF). Besides the change in ingredients composition, the preparations of productions were sampled at three levels of the production line: Dusting and standardization Tank (DST), exit pasteurization (EP) and at packaging time (P). Monitoring of parameters variation (rate of protein (RP), fat (F) and total solids (TS)) has been performed. Once the yogurt gel is formed, the viscosity and pH were measured. To check out the homogeneity of the production, samples at the beginning, middle and, the end of the tank were analyzed. The results show that the compositions (RP, F and TS), recipes kind and the manufacturing process control have a significant effect on the acidity and the textural properties of yoghurt. Indeed a variation of one of these parameters involves a variation in pH and / or the viscosity of the final product. It was also observed that an increase in RP, F and / or TS generates viscosity increase while an increase in pH causes a decrease in viscosity. However, for a same level of RP and TS, whatever production, a better viscosity is observed for yoghurt prepared from MP.

Keywords: yoghurt, recipe, milk powder, raw milk, cream, anhydrous milk fat, viscosity, the manufacturing process.

