

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLLIDA
Faculté des sciences Agro-vétérinaires et Biologiques
Département de l'Agronomie
Mémoire de Master
Option : Sciences Alimentaire

Thème

Elaboration d'un yaourt à boire économique
par l'incorporation de la poudre de
lactosérum doux

Présenté par :

FOUIAL Nesrine

Devant le jury

M^r EI HADI D.

M^r BOUSBIA N.

M^{me} ACHEHAB H.

M^{me} HADJ ZIANE A.

MCA USDB

MCB USDB

MAB USDB

MCA USDB

Président

Examineur

Examinatrice

Promotrice

Promotion 2011-2012

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de m'avoir donné courage et santé pour achever ce travail

Je tiens à remercier sincèrement Mme Hadj ziane A. qui en tant que promotrice de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer

Merci à mes professeurs de nous avoir appris beaucoup de matières

Mes remerciements s'adressent également à Mr. BRIKI W. Pour sa générosité de m'avoir autorisé à suivre mon travail au sein de l'unité de Trèfle. Ainsi que tout les laboratins et les laboratines de l'unité.

Je n'oublie pas ma famille pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, mon père, ma tante Fatiha, mes deux frères Abdeldjalil et Mohamed, et ma sœur Khadidja

Je le dédie particulièrement à mon fiancé Mohamed et toute ma belle famille

A ma tante Farida et toute sa famille

Je ne saurai terminer sans citer mes amies Imen, Sarah et Soumia.

Enfin je le dédie à toute la promotion S.A 2011-2012

Résumé

Notre présente étude est une contribution à la formulation d'une recette basée sur l'incorporation de la poudre du lactosérum doux dans la préparation d'un yaourt brassé aromatisé. Le contrôle des propriétés physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques et le suivi de la rhéologie du produit fini au cours de stockage ont fait la partie cruciale du travail.

Les résultats obtenus ont révélé que :

- L'intégration de la poudre de lactosérum doux dans le yaourt semble être satisfaisante de point de vue organoleptique et nutritionnelle et surtout économique ;
- La valorisation du lactosérum à l'échelle industrielle en maîtrisant les procédés de sa transformation pour minimiser le pouvoir polluant et les couts de son importation.
- Le suivi rhéologique est une étape primordiale dans l'évaluation de la texture de produit fini pendant le stockage

Mots clés : Lactosérum – Yaourt – Rhéologie – Analyses sensorielles – viscosité

ملخص

دراستنا المقدمة هي مساهمة في صياغة وصفة تتركز على دمج مسحوق مصّل الحليب غير الحامضي في تحضير ياغورت جامد معطر، مراقبة الخواص الفيزيوكيميائية، الميكروبيولوجية و الذوقية، و متابعة الريولوجية للمنتج النهائي أثناء التخزين، هما الجزء الجوهرى في العمل.

النتائج المتحصل عليها تظهر ما يلي :

- يبدو دمج مسحوق مصّل الحليب غير الحامضي في الياغورت انه مرضى من الناحية الذوقية و الغذائية و كذلك الاقتصادية.

- تثمين مصّل الحليب على النطاق الصناعى باستعمال تقنيات التحويل لأجل التقليل من التلوث و كلفة الاستيراد

- متابعة الريولوجية هي خطوة أساسية في تقييم قوام المنتج النهائي خلال التخزين.

الكلمات المفتاحية : مصّل الحليب، ياغورت، الريولوجية، التحاليل الحسية، لزوجة .

Summery

Our present study is a contribution to the formulation of a receipt based on the incorporation of the powder of the soft whey in the preparation of an aromatized braised yoghurt. The control of the physicochemical, microbiological and organoleptic properties and the follow-up of rheology of the product finished during storage made the crucial part of work.

The results obtained revealed that:

-the integration of the soft whey powder in yoghurt seems to be satisfactory from organoleptic and nutritional point of view like economic.

-The valuation of whey on an industrial scale by mastering the processes of its transformation to minimize the polluting power and the cost of importation.

-The rheological follow-up is a paramount stage in the evaluation of the texture of product finished during storage.

Key words: yoghurt, whey, rheology, analysis's sensory, viscosity,

Sommaire

- Remercîments	
- Dédicaces	
- Résumé	
-Sommaire liste des tableaux	
-Listes des figures	
-Listes des abréviations	
-Introduction générale.....	1

La partie bibliographique

Chapitre I : généralités sur le yaourt.

I-1 Historique	4
I-2 Définition.....	4
I-3 Les différents types du yaourt.....	5
I-4 Qualités et valeurs alimentaire des yaourts.....	5
I-5 Intérêt nutritionnel et thérapeutique du yaourt.....	6
I-6 Composition du yaourt.....	8
a- valeur nutritionnelle	8
b- compositions	10
I-7- Agents biologiques actifs du yaourt	11
a- distinctions entre les deux souches	11
b- interactions métaboliques de <i>Sc. Thermophilus</i> et <i>Lb.bulgaricus</i>	12
I-8- propriétés biochimiques des bactéries lactiques du yaourt.....	14
I-9- Fabrication du yaourt	14
1- prétraitements du lait.....	14
2- la fermentation du lait.....	16
3- conditionnement et stockage.....	17

Chapitre II : lactosérum

II-1 Introduction	21
-------------------------	----

II-2 Définition du lactosérum.....	21
II-3 Différents types du lactosérum.....	22
a-lactosérum acide.....	22
b-lactosérum doux.....	22
c-voies technologiques de récupération des principaux types de lactosérum.....	22
II-4 Composition du lactosérum.....	24
II-5 Intérêt de la valorisation du lactosérum.....	26
1- Valeur nutritionnel.....	27
2- Pouvoir polluant	27
II-6 Technologie de valorisation de lactosérum	27
1- Concentration et séchage	27
2- Séparation par membrane.....	28
3- Fermentation et production de cellules.....	29
II-7 Domaine d'utilisation du lactosérum	31
1- En alimentation humaine.....	32
2- En alimentation animale.....	33
3- En production végétale.....	34
4- Comme milieu de culture.....	34
II-8 qualité nutritionnelle des sérums déshydratés.....	34

Chapitre III : généralités sur la rhéologie

III Généralités sur la rhéologie

III-1 Introduction.....	38
III-2 Historique et définition de la rhéologie	38
III-3 Objectifs de la rhéologie	39
III-4 Les grandeurs utilisées en rhéologie	39
III-5 Comportement rhéologique des fluides alimentaires	41
1- Fluides indépendants du temps	41
2- Fluides dépendant du temps	45
III-7 La rhéologie du yaourt	46
III-8 Appareil de mesure	47

La partie expérimentale

Chapitre IV: Matériels et méthodes

IV-1-Les différents essais de formulation du yaourt	49
a- Les matières premières utilisées	49
b-Mise au point du processus de fabrication	50
b-1-La préparation du yaourt	51
b-2- Diagramme de fabrication du yaourt	52
IV-2-Matériel	53
IV-3-Méthodes d'analyses microbiologiques	53
a-Echantillonnage	53
b-Techniques d'analyses	54
b-1- Préparation des dilutions	54
b-2-Recherche et dénombrement dans les produits solides	54
b-2-1- Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale	54
b-2-2- Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo tolérants (fécaux)	56
b-2-3- Recherche des salmonelles	58
b-2-4-Recherche et dénombrement des levures et moisissures	59
b-2-5- Recherche et dénombrement de Staphylococcus aureus	60
b-3-Recherche et dénombrement dans l'eau	62
b-3-1-Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux dans l'eau	62
b-3-2- Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo tolérants (fécaux)	62
IV-4- Méthodes d'analyses physicochimiques	64
a-Analyse physico-chimique de lactosérum, poudre du lait et produit fini	64
a-1-Détermination de l'extrait sec total	64
a -2-Détermination de la matière grasse	64
a-3- Détermination du pH	65

a-4-Détermination de l'acidité titrable	66
a-5-Détermination de la teneur en protéines.....	67
b-Analyses physico chimique de l'eau	68
b-1-Valeur de titre alcalimétrique simple(TA).....	68
b-2-Valeur de titre alcalimétrique complet TAC	69
b-3-Valeur de titre hydrométrique (TH)	69
b-4-Valeur de chlorure dans l'eau	70
b-5-Valeur de chlore libre CL ₂ (l'eau de Javel)	71
c-Analyses physico-chimique du sucre :.....	71
c-1-Détermination du taux d'humidité	71
c-2-Détermination de l'indice de Brix	71
IV-5-L'analyse sensorielle	72
IV-6-Méthodes d'analyses rhéologiques	72
IV-7-L'étude technico économique	73

Chapitre V : Résultats et discussions

V-1- Analyses physico-chimiques et microbiologiques.....	75
V-1-1-Résultats et interprétation des analyses microbiologiques	75
1- Résultats et interprétation des analyses microbiologiques des matières premières	75
a. Analyses microbiologiques du lactosérum en poudre	75
b. Analyses microbiologiques de la poudre de lait (0% MG)	76
c. Analyses microbiologiques du sucre	76
d. Analyses microbiologiques de l'eau de processus	77
2- Résultats et interprétation des analyses microbiologiques des produits finis yaourt	78
V-1-2 Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques.....	79
1- Analyses physico-chimiques des matières premières	79
a. Analyses physico-chimiques du lactosérum	79
b. Analyses physico-chimique de la poudre du lait (0% MG)	79
c. Analyses physico-chimiques de la poudre de lait (26% MG)	80
d. Analyse physico-chimique du sucre	80
e. Analyses physico-chimique de l'eau de processus	81
2-Analyses physico-chimiques du produit finis yaourt.....	82
V-2 Résultats et interprétations des essais de formulation des yaourts	82

V-2-1 Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques dans les recettes préliminaires	82
V-3 Résultats et interprétation des évaluations des analyses sensorielles	84
V-4 Résultats et interprétations de suivi de la rhéologie du yaourt.....	91
V-4-1 Contrainte seuil d'écoulement	91
V-4-2 Courbe de dépendance au temps	92
V-4-3 Courbe d'écoulement	94
V-5 Résultat et interprétations de l'étude technico-économique des yaourts choisis	95
-Conclusion	97
-Références bibliographiques	
-Annexes	

Listes des figures

Chapitre I : généralités sur le yaourt

- Figure I.1** : la symbiose des bactéries du yaourt.
- Figure I.2** : Schéma des interactions métaboliques de *Sc. Thermophilus* et *Lb. Delbrueckii Bulgaricus* en culture mixte dans le lait
- Figure I.3** : Etapes de fabrication du yaourt ferme et yaourt brassé

Chapitre II : lactosérum

- Figure II.1** : Voies technologiques permettant la récupération des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait
- Figure II.2** : Différents procédés de la séparation par membrane
- Figure II.3** : Fractions du lactosérum obtenues par application de diverses voies technologiques

Chapitre III : généralités sur la rhéologie

- Figure III.1** : Courbes d'écoulement et de viscosité d'un liquide Newtonien
- Figure III.2** : Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide Rhépaississant
- Figure III.3** : Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide plastique

Chapitre IV : matériels et méthodes

- Figure IV.1** : Diagramme de fabrication du yaourt préparé

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Figure V.1** : Secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'arome des différents essais
- Figure V.2** : Secteur du pourcentage de la note « très bon » pour le gout des différents essais
- Figure V.3** : Secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'aspect en bouche des différents essais
- Figure V.4** : Secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'aspect des différents essais

Figure V.5 : Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt. (Ksseler, 1998)

Liste des tableaux

Chapitre I : généralités sur le yaourt

Tableau I.1 : Composition comparée en vitamines du lait entier et d'un yaourt au lait entier (teneurs exprimées en g pour 100g de produit)

Chapitre II : lactosérum

Tableau II.1 : Composition générale du lactosérum (g/l)

Tableau II.2 : Teneur moyenne en protéines, glucides et en principaux sels minéraux.

Tableau II.3 : Comparaison entre la composition en vitamines du sérum déshydraté le lait écrémé déshydraté

Tableau II.4 : Comparaison entre la composition des minéraux du sérum déshydraté et le lait écrémé déshydraté

Chapitre IV : matériels et méthodes

Tableau IV.1 : Composition des différents essais de formulation

Chapitre V : résultats et discussion

Tableau V.1 : Résultats des analyses microbiologiques du lactosérum en poudre.

Tableau V.2 : Résultats des analyses microbiologiques de la poudre de lait (0% MG)

Tableau V.3 : Résultats des analyses microbiologiques du sucre

Tableau V.4 : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de processus.

Tableau V.5 : Résultats des analyses microbiologiques des produits finis (yaourt).

Tableau V.6 : Analyses physico-chimiques du lactosérum en poudre

Tableau V.7 : Analyses physico-chimiques de la poudre de lait (0% MG).

Tableau V.8 : Analyses physico-chimiques de la poudre de lait (26% MG)

Tableau V.9 : Analyses physico-chimiques du sucre.

Tableau V.10 : Analyse physico-chimique de l'eau de processus

Tableau V.11 : Analyse physico-chimique du produit fini yaourt

Tableau V.12 : Résultats des différents paramètres physico-chimiques des échantillons de yaourt formulé

Tableau V.13 : Prix de revient d'un pot de yaourt (1L) de la 1^{ère} recette

Tableau V.14 : Prix de revient d'un pot de yaourt (1L) de la 3^{ème} recette

Liste des abréviations

AFNOR	: Association Française de Normalisation
NF	: Norme Française
FAO	: Food and Agriculture Organisation
K J	: Kilo Joule
MG	: Matière grasse
pH	: potentiel de pH
°C	: Degré Celsius
°F	: Degré Français
EST	: Extrait Sec Total
ESD	: Extrait Sec Dégraissé
Ig	: Immunoglobuline
LG	: Lactoglobuline
LA	: Lactalbumine
LF	: Lactoferrine
LP	: Lactoperoxydase
DBO	: Demande Biologique en Oxygène
TSE	: Tryptone Sel Eau
DM	: Dilution mère
SM	: Dilution simple
ECH	: Echantillon
H	: Humidité
ND	: Non déterminé
DPD	: Diethyl-P-Phényle Diamine
Abs	: Absence
TA	: Titre Alcalométrique simple
TAC	: Titre Alcalimétrique Complet
TH	: Titre Hydrométrique
S/C	: Simple Concentration
D/C	: Double Concentration
NPP	: Nombre le Plus probable
Ac	: Acidité

Introduction

générale



INTRODUCTION GENERALE

La recherche de nouvelles sources alimentaires est l'une des principales préoccupations de notre siècle surtout dans les pays en voie de développement. Nombreux sont les pays dont la situation de pénurie alimentaire deviendra certainement de plus en plus alarmante dans le proche avenir vue la croissance démographique galopante qui les caractérise.

Parmi les produits alimentaires à grande consommation en Algérie et dans d'autres pays ; les produits laitiers frais fermentés, comme le yaourt (**Paci kora, 2004**).

La tendance actuelle du marché des denrées alimentaires oblige les industriels à formuler constamment de nouveaux produits. Certains de ces nouvelles technologies sont axés sur la modification de la texture du yaourt et d'améliorer ses propriétés physico-chimiques et organoleptiques (**Lucey, 2001**).

Parallèlement, l'industrie laitière génère des grandes quantités de coproduit issu de la fabrication fromagère, c'est le lactosérum qui est cependant, un produit très intéressant par ses teneurs en protéines riches en acides aminés indispensables, en lactose, et par la présence de nombreuses vitamines du groupe B (**Schuck et al., 2004**) ; cependant ce produit constitue une matière très polluante lorsqu'il est déversé dans l'environnement sans traitement préalable. Pour cela, des entreprises souvent valorisent ce produit et choisissent de le réincorporer dans leurs produits alimentaires soit à l'état natif ou après modifications.

Dans ce contexte, la thématique de cette présente s'articule autour des points essentiels suivants :

- Enrichir la valeur nutritionnelle et d'améliorer la texture du yaourt
- Réduire le coût le plus possible de ce type de produits laitiers

- Réduire la pollution causée par les rejets de lactosérum par valorisation de ce dernier comme additif dans la formulation du yaourt brassé.
- Stimuler l'activité des fromageries.

Est-il possible d'élaborer un yaourt diététique, hyperprotéiné et économique à base de lactosérum sans en modifier les caractéristiques organoleptiques ? La réponse à cette question constitue l'objectif principal de cette présente étude

Nous avons structuré notre mémoire deux parties :

La première partie est une synthèse bibliographique permettant de replacer les connaissances de bases et le contexte de l'étude. Elle est subdivisée en trois chapitres consacrés aux généralités sur le yaourt, le lactosérum et généralités sur la rhéologie.

Seront présentés dans la deuxième partie du mémoire les principaux matériels et méthodes utilisés pour concrétiser l'expérimentation, suivies par les résultats obtenus ainsi que les interprétations et discussions qu'ils peuvent susciter.

Enfin, en guise de conclusion générale, nous proposerons une synthèse des résultats acquis, et dégagerons les perspectives de la poursuite de ce présent travail.

Chapitre I

Généralités sur le yaourt



Chapitre I : généralités sur le yaourt

I- Généralités sur le yaourt :

I-1 Historique :

Le yaourt est un produit laitier connu depuis l'antiquité ou ces premières traces remontent au 3^{ème} siècle avant JC. Le mot « yogourt » (« yogurt » ou « yaourt ») vient de *yoghurmark*, mot turc qui signifie « épaissir ».

Le yogourt serait originaire de Bulgarie. Dans ce pays, ou les gens consomment du yogourt régulièrement. Depuis des siècles, il est couramment consommé dans les Balkans, en Turquie et en Asie, mais les premières productions industrielles datent seulement de 1919. (Anonyme, 2007 et Paci Kora, 2004).

I-2 Définition:

Selon la définition de la FAO/OMS de 1977, le yaourt est un lait fermenté avec des ferments spécifiquesensemencés simultanément *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus Bulgaricus*.

Les bactéries doivent se retrouver vivantes à la concentration de 10^7 par gramme et la teneur en acide lactique doit être au moins de 0.7 % à la vente du yaourt (Elisabeth, 2008).

De plus, elles vivent en symbiose : *lactobacillus Bulgaricus* libère ainsi des acides aminés à partir de la caséine qui seront alors utilisés par *Streptococcus thermophilus* qui libérera à son tour des acides aminés nécessaires à la croissance des *Lactobacillus Bulgaricus* (Emilie fredot, 2005). Le schéma suivant illustre la symbiose des bactéries

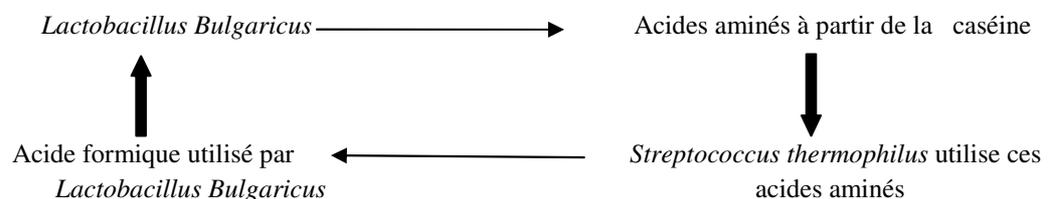


Figure I.1 : la symbiose des bactéries du yaourt.

I-3 Les différents types du yaourt

Selon la technologie de fabrication, on distingue trois types de yaourt :

- § **Yaourt ferme (étuvé ou traditionnel)** : la fermentation et le refroidissement du yaourt ferme a lieu en pot, il a l'aspect d'une gelée compacte, généralement nature ou aromatisée, avec des produits naturels ou artificiels déposés au fond du pot (**Luquet, 1990 et Anonyme, 1995**).
- § **Yaourt brassé** : un laitensemencé est mis en cuve et une maturation se déroule pendant six à huit heures, il est ensuite brassé dans la cuve après fermentation ce qui le rend fluide et onctueux (**Apfelbaum et al, 2009**).
- § **Yaourt à boire** : il s'agit d'un yaourt qui se différencie du brassé par son état liquide qui l'assimile à une boisson. Sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage se fait par passage à l'homogénéisateur sous pression inférieur à 50 atmosphère et donne une viscosité inférieure d'environ 50% à celle obtenue par brassage mécanique, il peut être nature ou aromatisé (**FAO ,1995**)

Selon la teneur en matière grasse :

- § **Yaourt entier** : minimum 3% (en poids) de matière grasse ; en pratique de 3 à 4,5%.
- § **Yaourt partiellement écrémé** : moins de 3% (en poids) de matière grasse, en pratique de 1 à 2%.
- § **Yaourt écrémé** : au maximum 0,5 % (en poids) de matière grasse ; en pratique de 0,05 à 0,1 % (**anonyme, 1995**).

I-4 Qualité et valeur alimentaire des yaourts :

La teneur en bactéries est réglementée ($10 \cdot 10^6$) bactéries vivantes par gramme de yaourt. Le yaourt doit contenir plus de 0,8 g d'acide lactique pour 100g de produit (**Hélène et Lefrancq, 2005**).

Cette acidité inhibe le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur (**Emilie fredot, 2005**) et favorise l'absorption intestinale du calcium et du fer. Les bactéries lactiques améliorent la flore intestinale, la fermentation lactique développe les effets vitaminiques et antibiotiques du lait (**Hélène et Lefancq, 2005**).

Streptococcus thermophilus semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telles que les salmonelles et les colibacilles.

Les bactéries du genre *lactobacillus* sécrètent du peroxyde d'hydrogène antiseptique.

Le yaourt est donc un aliment « vivant » qui, d'une façon générale, diminue les symptômes de dérangement intestinal (**Emilie fredot, 2005**).

I-5 Intérêt nutritionnel et thérapeutique du yaourt :

a- Intérêt nutritionnel :

Les yaourts, au même titre que le lait, sont des aliments intéressants d'un point de vue nutritionnel (richesse en calcium et en vitamines, équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques). En outre, ils présentent un certain nombre d'avantages par rapport au lait non transformé. (**Béal et Sodini, 2003**). La valeur énergétique du yaourt dépend de la teneur en lipides du lait utilisé, ainsi que du taux de sucre et des autres constituants ajoutés (**Sablonnière, 2001**).

- **Amélioration de la digestibilité du lactose :**

La présence des bactéries lactiques vivantes permet une meilleure assimilation du lactose chez les sujets déficients en lactase bactérienne, cette dernière est en effet toujours active lors du passage des bactéries dans le tractus intestinal (**Béal et Sodini, 2003**).

- **Amélioration de la digestibilité des protéines :**

L'assimilation des protéines du lait est meilleure s'il est consommé sous forme de yaourt ou de lait fermenté. En effet, du fait de l'activité protéolytique des bactéries lactiques, les produits fermentés contiennent plus d'acides aminés libres que le lait avant la fermentation (**Béal et Sodini, 2003**).

- **Teneur en vitamines et sels minéraux :**

Le calcium contenu dans les yaourts et les laits fermentés présentent une meilleure biodisponibilité que celui du lait (**Béal et Sodini, 2003**). Certaines vitamines sont consommées par les bactéries lactiques (vitamines B12), d'autre sont produits (acide folique) (**Loones, 1994**).

- **Digestibilité de la matière grasse :**

Bien que l'activité lipolytique soit peu élevée, on constate une augmentation significative de la teneur en acide gras libres dans un yoghourt (**Loones, 1994**).

b- Intérêt thérapeutique :

- **Activité antimicrobienne :**

L'acide lactique qui se produit durant la fermentation cause une acidification et peut y avoir des effets antimicrobiens au sein des produits fermentés dans lesquels il s'accumule (**Pétry, 2001 ; et Bergamaier, 2002**).

- **Stimulation du système immunitaire :**

L'effet immunorégulateur du yaourt a été démontré, son rôle d'augmenter la production d'interférons et d'immunoglobulines et d'activer des lymphocytes B est attribué à *Lb Bulgaricus* (**Mahaut et al., 2000**), (**Schiffrin et al., 1995**) *in sindifrais (1997)* ont rapporté une augmentation de l'activité phagocytaire du sang en cas de consommation régulière du yaourt.

- **Action préventive contre les cancers de la sphère digestive :**

Selon **Terre (1986)**, le yaourt présente une activité anti-tumorale grâce à un composé hydrosoluble qui inhibe la prolifération des cellules tumorales, il s'agit d'un polysaccharide de poids moléculaire inférieur à 14000.

- **Action anticholestérolémiante :**

La consommation du yaourt permet de prévenir les maladies coronariennes. Il serait plus efficace que le lait pour maintenir une cholestérolémie basse (**Mahaut et al., 2000**). La consommation journalière d'une quantité adéquate de lait fermenté dans l'assimilation a pour effet de réduire le cholestérol dans le sérum (**Bottazi et Mercenier, 1994**).

- **Prévention des maladies cardio-vasculaire :**

L'hypothèse que les yaourts vivants assuraient un rôle protecteur contre les maladies cardio-vasculaire en réduisant le taux de cholestérol sanguin est encore spéculative (**Guyot, 1992**).

I-6 Composition du yaourt:

a- Valeur nutritionnelle:

Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications, certains de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait, en effet, le yaourt est plus calorique que le lait, plus riche en vitamine A et moins riche en glucides (**Mahaut et al., 2000**).

Les tableaux I.1 et I.2 montrent bien sa valeur nutritionnelle en vitamines, protéines, glucides et en principaux sels minéraux.

Tableau I.1 : Composition comparée en vitamines du lait entier et d'un yaourt au lait entier (teneurs exprimées en mg pour 100g de produit)

Vitamines	Lait	Yaourt
Rétinol	52	28
Carotène	21	21
Thiamine (B1)	30	60
Riboflavine (B2)	170	270
Pyridoxine(B6)	60	100
Cyanocobalamine (B12)	0.4	0.2
Vitamine C	1000	1000
Vitamine D	0.03	0.04
Vitamine E	90	50
Acide folique	6	18
Acide nicotinique	100	200
Acide pantothénique	350	500
Biotine	1.9	2.6
Choline	12100	-

(Mahaut et al., 2000)

Tableau I.2 : Teneur moyenne en protéines, glucides et en principaux sels minéraux.

Type de yaourt	Teneur moyenne pour 100 grammes de produit							Valeur énergétique
	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Ca (mg)	Na (mg)	K (mg)	P (mg)	KJ
Nature	4.15	1.2	5.2	174	57	210	114	201
Au lait entier	3.8	3.5	5.3	171	56	206	112	284
Nature0%	4.2	trace	5.4	164	55	180	100	163
Nature sucrée	3.8	1.1	14.5	160	52	195	105	347
Aromatisé au lait entier	3.2	3.2	12	140	50	190	106	372
Brassé nature	4.3	1.8	5.2	165	40	205	115	230
Brassé aux fruits	3.75	1.65	14.5	140	50	190	110	368
Au lait entier aux fruits	3.1	2.7	16.5	140	45	180	100	431
Maigre aux fruits	3.6	Trace	17.2	140	45	180	100	351

(Mahaut et al., 2000)

b- Composition:

- **La poudre de lait ou le lait de vache :**

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait dont, pour l'essentiel, le lait de vache. Il est constitué d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche (**Paci kora, 2004**). Le lait de vache peut être remplacé par la poudre de lait dont c'est un lait qui a perdu la quasi-totalité de son eau (environ 96 %) pour ne conserve que son extrait sec (**Laurant, 1974**).

On répartit les poudres de lait en trois groupes, poudre de lait entier (26% MG), Partiellement écrémé (entre 1.3 et 2.59% MG) et poudre de lait écrémé ($\leq 1.2\%$ MG) (**Vignola, 2002**).

- **Eau de reconstitution :**

C'est une eau qui doit répondre aux critères de potabilité au sens bactériologique et physico-chimique et doit subir un traitement de déminéralisation partielle pour être apte à la recombinaison du lait. (**Luquet, 1986**).

- **Ferment lactiques thermophiles :**

Les critères de choix des souches reposent principalement sur les considérations technologiques, recherchées par le fabricant (vitesse d'acidification, résistance aux bactériophages) et organoleptiques (production d'exopolysaccharides et de composés d'aromes, post acidification) selon la clientèle visée (**Béal et Sodini, 2003**).

- **Adjonctions facultatives :**

1-Arome : L'addition d'arome dans le yaourt est autorisée en :

- Substances aromatiques naturelles
- Matières aromatisants renforcées artificiellement (**Luquet, 1990**).

2-Sucre et édulcorant :

Il est possible d'ajouter du saccharose (disaccharide) ou un monosaccharide tel que du glucose. Pour satisfaire les personnes en régime, parmi lesquels les diabétiques représentent une catégorie importante, il faudrait utiliser les édulcorants (**Vignola, 2000**).

3-Fruits :

Les fruits dans le yaourt sont apportés sous forme de préparations de fruits avec ou sans sucre ajouté, les fruits les plus consommés sont les fruits rouges et les fruits exotiques (Paci Kora, 2004).

4-Stabilisants :

Les stabilisants agissent comme agents gélifiants, sont des hypocyloïdes d'origine animale ou végétale. On les utilise selon la réglementation en vigueur dans la fabrication de yaourt pour éviter la séparation du lactosérum, et ainsi, conférer au produit la consistance et la viscosité souhaitées (Vignola et al., 2002) .

I-7 Agents biologiques actifs du yaourt :

Le groupe des bactéries lactiques se caractérise par la capacité de ces microorganismes à produire de grandes quantités d'acide lactique à partir de sucres fermentescibles, essentiellement le lactose dans le cas du lait. Ce sont des bactéries gram positives, qui se caractérisent par une composition en guanine+ cytosine (G+C) comprise entre 33% et 54%, et se présentent sous forme de cocci ou bacilles. Elles peuvent se développer à 25-30°C (bactéries mésophiles) ou 37-45 °C (bactéries thermophiles) (Béal et Sodini, 2003). Lorsque l'acide lactique est le principal produit de la fermentation, le métabolisme est homofermentaire tandis que, si sa production est associée à du dioxyde de carbone, de l'acide acétique et de l'éthanol, le métabolisme est hétérofermentaire. A la fin de la fermentation, 20 à 30 % du lactose sera transformé en acide lactique (Hermier et al., 1992)

a- Distinction entre les deux souches :

Streptococcus thermophilus est une cocci Gram positif anaérobie facultative, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages. C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleuthylène (0.1%) et aux antibiotiques. Elle est aussi résistante au chauffage à 60°C pendant 30 minutes. Elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C.

Son métabolisme est du homofermentaire (Boubchir, 2011).

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

Lactobacillus Bulgaricus est un bacille Gram positif, non sporulé. Il appartient au sous-genre thermobactérium du genre *lactobacillus*, se sont des cellules immobiles, en forme de bâtonnets à bords arrondis, seules ou en longues chaînes. Sa taille en moyenne de 4 à 6 µm de diamètre.

C'est un lactobacille très polymorphe. Sa morphologie varie suivant le milieu utilisé, l'âge de la culture, la température et la souche considérée. Dans les cultures jeunes, les cellules sont des bâtonnets courts ; dans les cultures âgées, elles sont en filament et présentent des renflements ou des ramifications.

C'est une bactérie typique du lait ; elle cultive mal dans d'autres milieux. Son métabolisme est anaérobie facultatif, homofermentaire. Il est thermophile, cultive à 45°C et même (50- 52°C). (**Maurice, 1985**).

b- Interactions métaboliques de *Sc. Thermophilus* et *Lb. Bulgaricus* :

Les bactéries ont besoin d'acides aminés et des peptides directement utilisables pour se développer, or le lait n'en contient que de faibles quantités permettent seulement leur croissance. Ensuite le lactobacille par son activité protéolytique, attaque la caséine qui libère les peptides permettent au streptocoque de poursuivre sa croissance (**FAO, 1995**). Cette interrelation favorable aux deux espèces mais non obligatoire n'est pas une vraie symbiose ; elle est appelée : protocoopération (**Leveau et Bouix, 1993**). Ce type de relation profite aux deux protagonistes, l'un produisant des facteurs de croissances ou des conditions favorables à l'autre et inversement (**Branger, 2003**). Il se traduit d'abord par une augmentation des vitesses d'acidification par rapport aux vitesses observées en cultures pures. Un accroissement des concentrations bactériennes est observé en parallèle. Elle induit également une amélioration de la production des

composés d'arômes (acétaldéhyde notamment) et de la stabilité physique du produit (réduction des problèmes de synérèse) (Béal et Sodini, 2003).

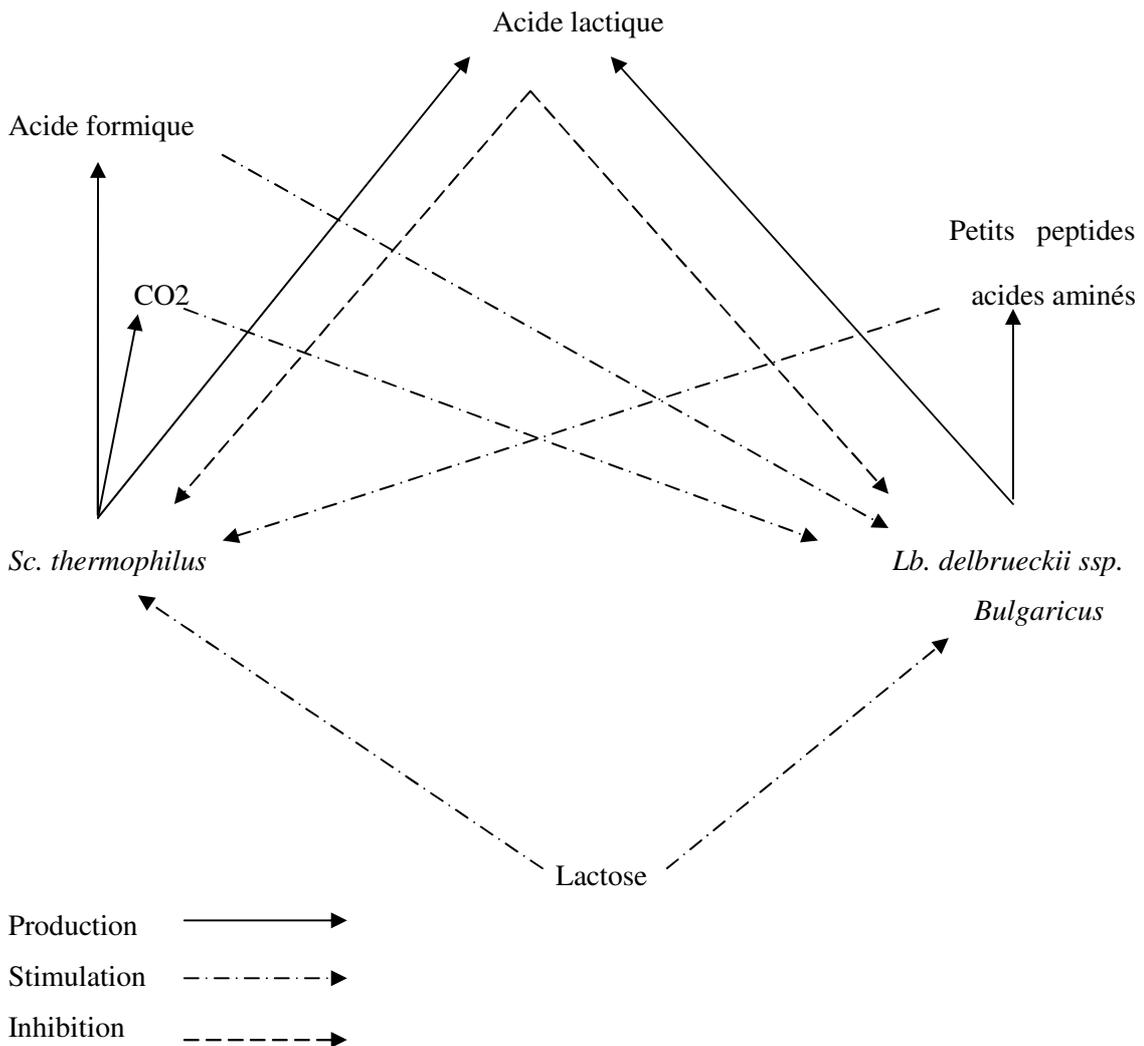


Figure I.2 : Schéma des interactions métaboliques de *Sc. Thermophilus* et *Lb. Delbrueckii Bulgaricus* en culture mixte dans le lait (Driessen, 1981 ; Béal, 1991) in (Mahaut et al., 2000).

La protocoopération recherchée, entraîne une stimulation mutuelle qui, se traduit par:

- Un accroissement de la vitesse d'acidification ;
- Un accroissement des niveaux de populations bactériennes finales ;
- Une diminution du pH final du produit (valeur de post-acidification) ;

- Une stimulation de la production de composés aromatiques notamment de l'acétaldéhyde ;
- Une meilleure stabilité du produit fini ;
- Une production plus importante de certains composés comme des polysaccharides extracellulaires (EPS).

I-8 Propriétés biochimiques des bactéries lactiques du yaourt :

A. La production d'acide lactique :

La fermentation lactique est une partie essentielle de la fabrication du yaourt. L'acide lactique et les autres composés qui en résultent jouent un rôle important sur les propriétés organoleptiques du produit. *S.thermophilus* et *Lb.bulgaricus* fermentent le lactose selon la voie homofermentaire de la glycolyse (**Maurice, 1985**).

B. Pouvoir aromatique :

Les bactéries lactiques synthétisent certains nombre d'aromes, le diacétaldéhyde étant considérées comme les plus importants, la production de diacétyl généralement associée à la fermentation de citrate. Cette fermentation dépend du pH du milieu, de la présence d'oxygène, de l'agitation du milieu, de la teneur en citrate, et certains facteurs de croissance (**Vignola carole, 2002**).

C. Synergie des bactéries :

Il est bien connu que *Lb.bulgaricus* exerce un effet stimulant marqué sur le développement de *S.thermophilus*. Cette stimulation se fait surtout par l'intermédiaire de certains acides aminés (valine, histidine, méthionine, acide glutamique et leucine). Elle exerce en retour un effet stimulant notable sur *Lb.bulgaricus*, lié à la production d'acide formique. Ces effets symbiotiques se traduisent par une croissance meilleure des deux espèces réunies ; la production d'acide et celle d'acétaldéhyde sont supérieures à celles des cultures pures (**Maurice, 1985**).

I-9 Fabrication du yaourt :

1-Prétraitement du lait :

a)Standardisation du lait :

Pour bien comprendre l'importance de la standardisation sur la qualité finale du yaourt, il convient de rappeler le rôle de chaque composant du lait :

- § Le gras à un effet sur l'onctuosité et la sensation de douceur on bouche ;

- § Le lactose est la matière première utilisée pour l'acidification et il a un faible pouvoir sucrant, soit quatre fois plus faible que celui du sucre de table ;
- § Les protéines, de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau, agissent sur la texture, particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermeté ;
- § les minéraux, comme des boulons travaillent à la stabilisation du gel (**Vignola et al., 2002**) .

Après avoir concentré le lait pour augmenter l'extrait sec par l'ajout de la poudre de lait ou directement par évaporation (**Bourgeois et Laprent, 1996**), d'où la matière sèche laitière se situe entre 14 et 16 % (**Anonyme, 1995**), il doit être standardisé en matière grasses, enrichies en protéines, et éventuellement sucrées, pour répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptique des produits. (**Béal et Sodini, 2003**).

- **Standardisation en matière grasse de produit :**

Les teneurs en matières grasses des yaourts du commerce sont comprises entre moins de 1% pour les yaourts maigres, à 3.5% pour les yaourts en lait entier. Il est donc nécessaire de standardiser le lait de fabrication à la teneur en matières grasses souhaitées pour le produit fini. Pour cela, le lait est tout d'abord écrémé, puis mélangé avec la crème dans les proportions souhaitées (**Béal et Sodini, 2003**).

- **Enrichissement en protéines :**

Le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines laitières pour former un yaourt consistant et exempt de synérèse. L'addition de protéines peut se faire de façon plus directe par l'addition de caseinâtes, de poudre de lactosérum, de substances laitières modifiées ou de protéines hydrolysées.

Les quantités de protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée (yaourt à boire, yaourt ferme, yaourt brassé, yaourt a sucre). Les taux protéiques finaux sont entre 3.2 et 5% (**Béal et Sodini, 2003 Vignola et al., 2002**).

- **Addition du sucre :**

Le lait peut être additionné de sucre avant la fermentation) hauteur de 5 à10%, cette addition conditionne le choix des ferments, car certaines souches sont sensibles à la diminution de l'activité de l'eau qui résulte de cette opération.

Le sucre est généralement constitué de saccharose, cristallisé, allégé, le sucrage est effectué par addition d'édulcorant (aspartame ou polyols). Comme ces produits sont sensibles au chauffage ils sont toujours ajoutés après le traitement thermique (**Béal et Sodini, 2003**), mais dans le cas de sucre il est préférable de l'ajouter avant la pasteurisation du lait, car le traitement thermique du lait sucré détruit les levures et les moisissures osmophiles présentes dans le sucre, par ailleurs, la consistance du yaourt s'en trouve améliorée (**Vignola et al., 2002**).

b) Homogénéisation :

Le yogourt est une émulsion de type huile dans eau. Sans l'étape d'homogénéisation, la matière grasse aurait tendance à remonter à la surface (Particulièrement lors de la fermentation, durant la période d'incubation).

L'homogénéisation augmente la viscosité du lait en réduisant la taille des globules gras, en augmentant l'adsorption sur les micelles des caséines, ce qui augmente la fraction volumique des substances en suspension. La blancheur du lait est accrue par l'augmentation du nombre de globules de gras qui affecte la diffusion de la lumière. (**Chantal, 2000**).

c) Traitement thermique :

Le lait subit un traitement thermique à 90-95°C avec un chambrage de 3 à 5 minutes, ce traitement a pour but selon (**Luquet, 1990**) :

La destruction des germes pathogènes et une grande partie de la flore banale originelle ou simplement indésirable pour la conservation du produit :

Il permet aussi, la destruction éventuelle des certaines substances inhibitrices de la croissance de la flore lactique spécifique.

La dénaturation d'environ 70-80 % des protéines solubles du lait notamment B-lactoglobuline qui est la principale protéine du lactosérum qui interagit avec la K-caséine, ce qui entrainera une meilleure rétention d'eau et une amélioration de la consistance.

2- La fermentation du lait :

a) L'ensemencement et incubation :

Le lait est ensuite refroidi entre 42 et 44°C pour permettre l'ensemencement de la culture de yaourt (généralement *Lactobacillus Bulgaricus* et *Streptococcus*

thermophilus) (**Chantal, 2000**). La préparation concentrée, sous forme lyophilisée ou sous forme congelée, permet d'envisager l'ensemencement direct des cuves de fermentation, ce qui a l'avantage de supprimer la préparation des levains dans l'usine (**Bourgeois et Larpent, 1996**).

Deux méthodes d'incubation sont utilisées dans la fabrication du yaourt ; la méthode à haute température comporte une incubation pour 3h à 42°C, cependant la méthode de basse température comporte l'incubation pour 7-8h à 30-37°C. Le temps d'incubation ne devrait pas être fixé au dessus de 3h pour permettre la production des substances d'arome et pour éviter l'au-dessus-acidification (**Zeynep et al., 2005**).

b) Arrêt de fermentation :

Lorsque l'acidité atteint un certain seuil entre (70 et 90°C) dans le cas de yaourt étuvé, et entre (100 et 120°D) dans le cas du yaourt brassé, on procède à un refroidissement rapide pour bloquer la fermentation.

Dans le cas des pots étuvés, ce refroidissement est effectué soit dans des chambres froides fortement ventilées (le plus souvent) soit dans un tunnel.

Dans le cas des yaourts brassés, un brassage est réalisé au préalable par différentes techniques (lamellation du caillé par brassage aux travers d'un filtre ou d'un tamis ; agitation mécanique ; homogénéisation à basse pression pour les yaourts à boire) permettant d'améliorer l'onctuosité du produit et de réduire la synérèse. Le refroidissement de 2 à 5°C est réalisé au moyen d'un échangeur à plaques tubulaires ou à surface raclée (**Mahaut et al., 2000**).

3- Conditionnements et stockage :

C'est la phase ultime de fabrication. Le conditionnement est réalisé soit dans des emballages préfabriqués dans des usines spécialisées (pots en verre, coupes ou bouteilles en plastique rigide obtenues par moulage) soit dans des emballages formés directement sur la machine de conditionnement (pots en plastique semi-rigide) (**Béal et Sodini, 2003**).

Pendant le stockage, les bactéries lactiques maintiennent une activité réduite. Cette évolution, appelée post-acidification, se traduit par une légère baisse du pH, surtout pendant les deux premiers jours de stockage. Donc la durée limite de la consommation du yaourt est de 28 jours (**Paci Kora, 2004**). Les enzymes protéolytiques

continuent à hydrolyser les protéines et peuvent ainsi entraîner une diminution de la viscosité ou de la rigidité du gel et, surtout, faire apparaître des peptides à saveur amère (**Bourgeois et Larpent, 1996**).

La figure I.3 résume les différentes étapes de la fabrication du yaourt ferme et yaourt brassé.

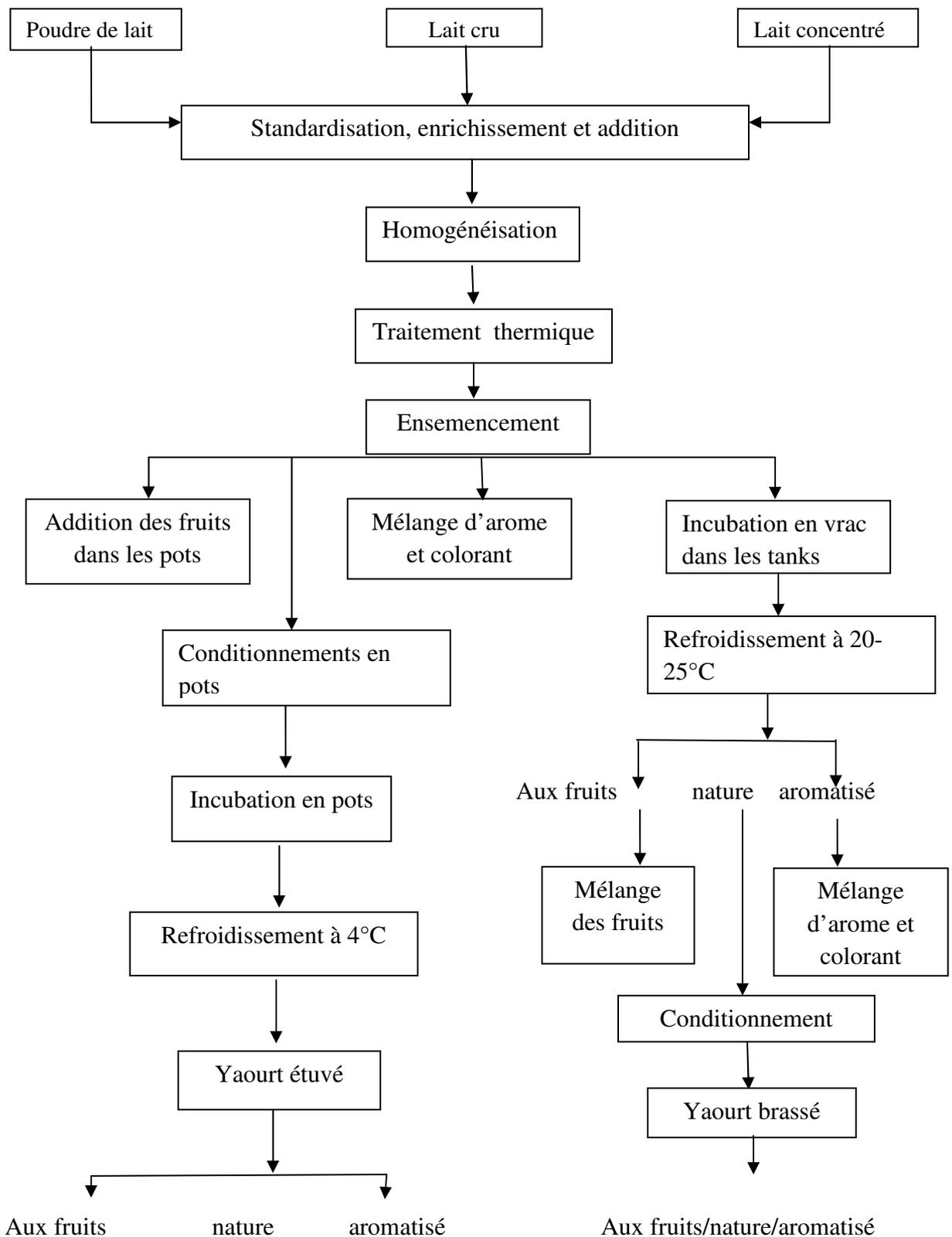


Figure I.3: Etapes de fabrication du yaourt ferme et yaourt brassé (Accolas et al., 1980)

Chapitre II

Lactosérum



Chapitre II: Lactosérum

II-1-Introduction :

Le lactosérum est un produit découvert il y a plus de 3000 avant Jésus-Christ, par des Bédouins lors du transport de lait : l'acidification et la coagulation par la chaleur provoquaient la formation d'une phase liquide au-dessus d'un caillé de lait (**De Witt, 2001**).

Pendant de nombreuses années, le lactosérum ou petit lait a été considéré comme un déchet encombrant, un sous produit des fromageries et caséineries dont l'utilisation, lorsqu'elle en était faite, se limitait à l'alimentation animale et à la fertilisation des champs. Mais, les contraintes sur les rejets devenue impérative depuis les années 1970.

La production de lactosérum correspond à 9 fois le tonnage de fromages fabriqués (**Schuck et al., 2004 ; Jacquet Violleau, 1999**).

En conséquence, des industries de traitement du lactosérum sont donc considérablement développées ces dernières décennies. Ce développement s'est fait pour des raisons économiques d'une part et pour des raisons écologiques d'autre part (**Chaput, 1981**).

II-2-Définition du lactosérum:

Le **lactosérum** ou simplement **sérum**, est le liquide jaune verdâtre, qui se sépare de la caille lors de la fabrication des fromages ou de la caséine (**Luquet ,1985 et Chagnon, 1997**), il contient un fort taux d'éléments nutritionnels (lactose, protéines, sels minéraux), il est donc rentable de le réutiliser au même titre qu'une matière première (**Proot, 2001**).

La moyenne du volume de sérum séparé avoisine les 9/10 de la quantité de lait travaillé et qualitativement, le lactosérum renferme près de la moitié de la teneur en matière sèche originale du lait, il est donc appelé aussi « petit lait » (**Schuck et al., 2004**).

II-3-Différents types de lactosérum :

a- lactosérum acide :

Un lactosérum “acide” est obtenu après coagulation du lait par précipitation des caséines. L’acidification peut être obtenue, par exemple, par ajout d’acide (acide chlorhydrique, sulfurique ou lactique) ou par passage sur résines échangeuses d’ions (**Jacquet Violleau, 1999**), il est riche en sels minéraux, en particulier phosphore, calcium et acide lactique (**Boudier et Luquet, 1981**). Le sérum acide est obtenu lors de la fabrication des pâtes fraîches et molles ou lors de la production des caséines dont l’acidité atteint 120°D, soit un pH proche de 4,5 (**Schuck et al., 2004**).

b- Lactosérum doux :

Si la coagulation du lait provient de la déstabilisation des micelles de caséines sous l’action de la présure, le lactosérum obtenu est doux (**Jacquet Violleau, 1999**).

Le lactosérum doux est pauvre en calcium et en phosphore et ne contient que les minéraux solubles du lait, avec prépondérance de chlorure de sodium et de potassium, mais plus chargé en lactose et extrait sec (**Boudier et Luquet, 1981**). Il est faiblement acide dont l’acidité varie entre 15 et 22°D et son pH 6.5, issu de la production de fromages à pâtes pressées et/ou cuites (**Schuck et al., 2004**).

c- Voies technologiques de récupération des principaux types de lactosérums :

Les principales voies technologiques pour l’obtention de différents types de lactosérum sont représentées sur la figure I.1

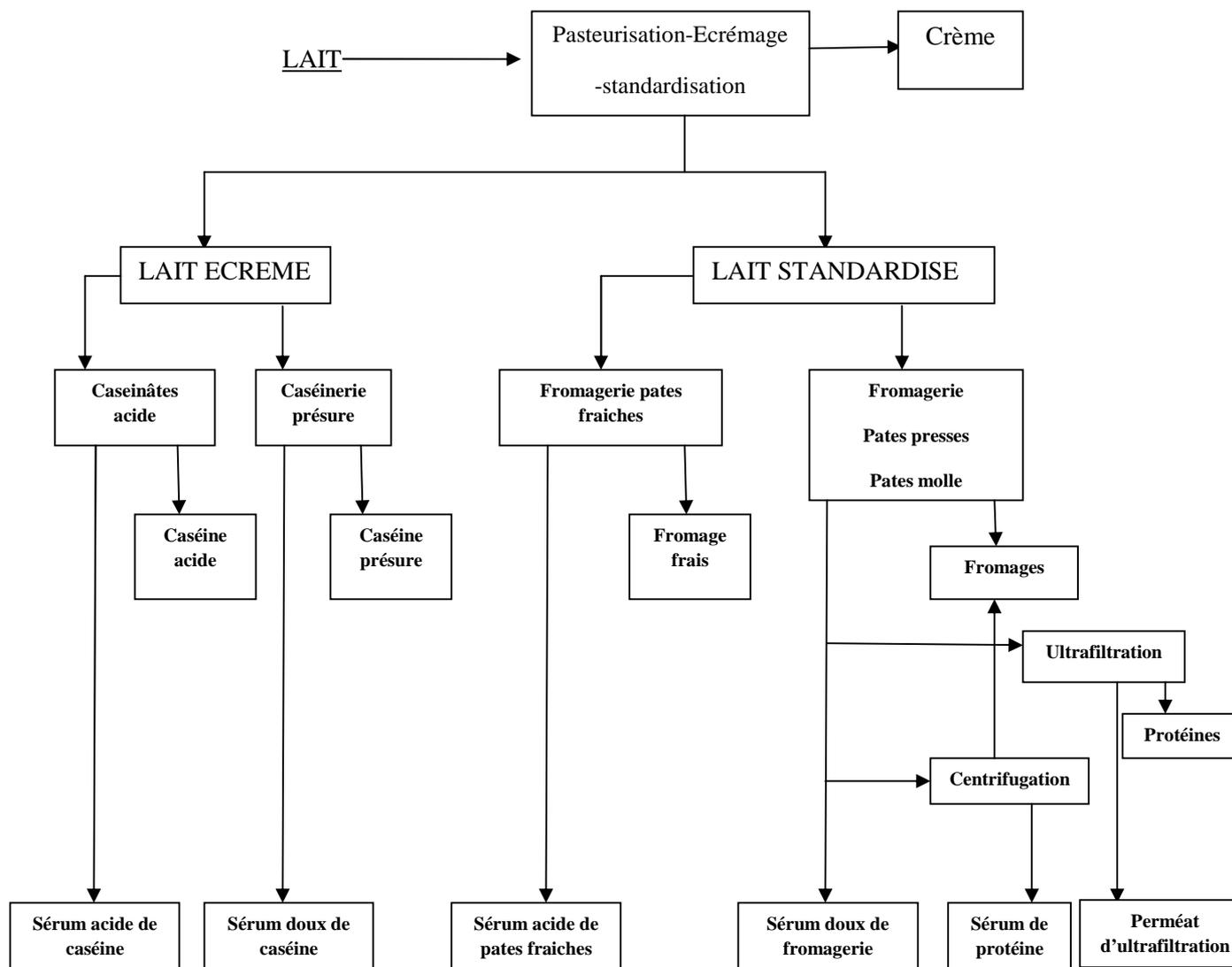


Figure II.1 : Voies technologiques permettant la récupération des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (Schuck et al., 2004).

Le lactosérum de caséinerie est obtenu par la précipitation de la caséine par l'acide chlorhydrique ou sulfurique alors que le lactosérum acide est généré par une fermentation lactique d'un lait écrémé. Un lactosérum doux présente une teneur en protéines supérieure à celle d'un lactosérum acide en raison de la précipitation acide de certaines protéines. La différence majeure entre ces deux catégories de lactosérums se situe au niveau des teneurs en lactose et en acide lactique.

Les lactosérums doux sont plus facilement valorisables industriellement que les lactosérums acides qui posent plus de difficultés lors du séchage. Ces problèmes sont

Chapitre II: Lactosérum

due en partie à la forte minéralisation, à la faible teneur en lactose et à la variabilité de la composition des sérums acides (Allais, 1984 et Saulnier, 1996).

D'autres études ont montré que la composition chimique et l'acidité des lactosérums acides varient au cours de l'étape d'égouttage des fromages. Ces observations permettent de conclure qu'à chaque étape de fabrication lui est associée un lactosérum. De plus l'émergence des nouvelles technologies de fractionnement et de concentration comme l'ultrafiltration a permis l'apparition de nouveaux dérivés comme les perméats. Leur composition est fonction de nombreux paramètres comme la matière première ultrafiltrée, le type de membrane et le taux de concentration (Schuck et al., 2004).

II-4-Composition du lactosérum :

Le lactosérum est donc un milieu dilué complexe contenant essentiellement du lactose, des teneurs en protéines solubles riches en acides aminés indispensables (lysine et tryptophane), une fraction azotée non protéique, de la matière grasse et des minéraux ainsi que la présence de nombreuses vitamines de groupe B (la thiamine et la riboflavine) (Schuck et al., 2004 et Jacquet Violleau, 1999).

La composition du lactosérum dépend du lait d'origine et du procédé de coagulation des caséines, en général sa composition (g/l) est mentionnée sur le tableau suivant : (Allais, 1975).

Tableau II.1: Composition générale du lactosérum (g/l)

Matière sèche totale	50- 75	Sels minéraux	3 - 6
Lactose	39 -48	Matières azotées	6 -8
Acide lactique	1 -8	Matière grasse	0.5 -3

1- Le lactose:

Le lait contient entre 48 et 50 g.l⁻¹ de lactose, ce qui représente 97% des glucides totaux du lait, c'est le lactosérum qui contient la quasi-totalité du lactose contenu dans le lait mis en œuvre (Mahaut et al., 2000).

Il s'agit d'un disaccharide composé des monosaccharides *D-glucose* et *D-galactose* qui sont reliés entre eux par une liaison osidique $\beta(1-4)$ (β -D galactopyranosyl (1-4) D-glucopyranose), (α ou β) selon la position du groupement « OH » du carbone anomérique du glucose (**Thomet et al., 2005**).

De formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$, parfois appelé *sucre de lait*, il est synthétisé par la glande mammaire, à partir du glucose sanguin (**Boudier et Luquet, 1981**). L'extraction du lactose se fait soit à partir du lactosérum lui-même ou plus efficacement du perméat, par un procédé de cristallisation (**Morisset et al., 2007**).

Le lactose peut après cristallisation éventuelle être utilisé en industrie alimentaire ou comme excipient pharmaceutique (**Jacquet Violleau, 1999**).

2- Les matières azotées :

Sur les 10 à 14 g de matières azotées présentes dans les 100g de matières sèches du sérum, 35% sont formés d'azote non protéique : azote urique, ammoniacal, acides aminés libres (acide glutamique, lysine...), nucléotides... et 65% par les protéines de sérum qui se composent de :

La β -lactoglobuline 55% (β -LG), l' α -lactalbumine 20% (α -LA), la sérum albumine bovine 5% (SAB), immunoglobulines (Ig), la lactoferrine (LF) et la lactoperoxydase (LP) ainsi qu'une fraction de protéose-peptones 10% (**Boudier et Luquet, 1989 ; Jacquet Violleau, 1999**).

Les caractéristiques physico-chimiques et structurales des protéines du lactosérum leur permettent de posséder d'excellentes aptitudes à l'hydratation, à la formation de réseaux protéiques et à l'adsorption aux interfaces. Ces propriétés sont exploitées pour de nombreuses applications, dont les principales sont résumées dans le tableau (annexe 8) (**Morgan, 2001**).

Si les propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum sont classées en fonction de la nature des liaisons entretenues, trois catégories peuvent obtenir comme suit :

- Propriétés d'hydratation : solubilité, rétention d'eau ;
- Interactions protéine/protéine : gélification, texturation ;

- Propriétés interfaciales (interactions avec une phase grasse ou gazeuse) : formation et stabilisation de mousses et d'émulsions (**Morgan ,2001**) ;
- Propriétés antimicrobiennes : activité enzymatique ; désorganisation des membranes biologiques des bactéries (**Spinnler ,1998**).

3-Les matières minérales :

Les concentrés minéraux sont obtenus quand à eux par des procédés de précipitation et sont généralement utilisés comme source de calcium pour enrichir les aliments (**Morisset et al., 2007**).

La teneur en minéraux influence le processus de cristallisation du lactose. son effet réside dans la capacité à se complexer au lactose réduisant ainsi sa solubilité et par voie de conséquence sa cristallisation (**Schuck et al., 1996**).

A titre d'exemple ; la composition minérale détaillés ; anions et cations ; déterminée par électrophorèse capillaire dans le cas de deux lactosérums est donnée dans le tableau (annexe 8) (**Saulnier et al., 1989**).

4-Les vitamines :

Les vitamines de sérum sont en majorité des vitamines hydrosolubles puisque la matière grasse a été éliminée presque totalement, entraînant avec elle les vitamines liposolubles, parmi, on note des quantités importantes de riboflavine (B2), d'acide pantothénique, de thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et de vitamine C (**Boudier et Luquet ,1989**).

5- La matière grasse:

La teneur des lipides dans le sérum est très faible, du fait que presque toutes les matières grasse sont utilisées dans les fromages .Par conséquent dans certains traitements industriels, le lactosérum est écrémé et les lipides récupérés sont utilisés dans la fabrication des beurres de deuxième choix (**Allais, 1981**).

II-5-Intérêt de valorisation du lactosérum :

Pendant de très nombreuses années, le lactosérum a été considéré comme un sous-produit rejeté dans les réseaux urbains. Aujourd'hui, les fromageries ne peuvent plus rejeter le lactosérum pour des raisons d'ordre économique et environnemental (**Mahaut et al. 2000**).

1- Valeur nutritionnelle :

Le lactosérum est avant tout une matière précieuse dont il y a encore beaucoup à tirer en qualité et en quantité aux produits laitiers. A titre d'exemple, 4.2 milliards de litres de sérum représentent 290 000 tonnes de matières sèches dont environ 38 000 tonnes de protéines et 218 000 tonnes de lactoses. Il convient d'ajouter à ces tonnages les vitamines et certains sels minéraux qui sont utiles en alimentation (**Boudier et Luquet, 1989**).

2-Pouvoir polluant :

Le lactosérum de par sa nature possède une charge polluante très élevée, de l'ordre de 35 000 à 70 000 mg de DBO₅/L et ne peut donc pas être rejeté dans l'environnement. La production d'une seule petite fromagerie (~7 millions de litres par années) équivaut à la charge polluante annuelle d'une ville de 13 000 habitants.

L'industrie laitière rejette de grandes quantités de sous- produits issus de la fabrication des fromages et du beurre : le babeurre et le lactosérum. Leur charge organique est très élevés et les composés qu'ils renferment sont depuis longtemps réutilisées et valorisés (annexe 8).

II-6-Technologies de valorisation de lactosérum :

1-concentration et séchage :

Plusieurs procédés permettent la valorisation et la concentration des protéines ; parmi la technique à membrane est la plus répandue. Les protéines ainsi obtenues sont des concentrés de protéines sériques, ils contiennent en général entre 35 et 85% de protéines. Des techniques plus complexes telles que la chromatographie permettent de concentrer les protéines à 90%. Ces produits ont des qualités technologiques et une valeur commerciale très élevées. (**Morisset et al., 2007**).

Le séchage du lactosérum a pour but essentiel de stabiliser les produits par extraction de l'eau. L'amélioration des technologies, les changements des habitudes alimentaires, la baisse des coûts, et une meilleure stabilité des poudres sont les principales raisons qui ont contribué à l'accroissement de l'utilisation des produits sous forme déshydratée. La diversification des produits au niveau des compositions a cependant rendu l'opération de séchage plus délicate, moins routinière et les paramètres technologiques sont plus difficilement extrapolables d'un produit à un autre (**Schuck et al., 2004**).

Pour le séchage de lactosérum, il existe deux grands types de procédés :

- **Le séchoir à cylindres** : cette première méthode est la moins coûteuse, elle peut causer, en raison de l'effet thermique, des dommages indésirables dans la plupart des applications fonctionnelles des produits de lactosérum. Elle n'est donc pratiquement plus utilisée sauf pour les applications particulières nécessitant un traitement thermique intensif comme la production de poudre de lait à forte teneur en matière grasse libre ou à forte réaction de Maillard pour l'industrie chocolatière.
- **Le séchage par atomisation** : le séchage de concentré de lactosérum par atomisation est devenu la méthode d'obtention des poudres la plus utilisée (**Schuck et al., 2004**).

La transformation des lactosérums liquides en poudre implique la combinaison de plusieurs étapes unitaires : prétraitement (déméralisation, pasteurisation et ultrafiltration), concentration par évaporation sous vide (ESV), précristallisation, séchage par atomisation, post-cristallisation, et séchage en lit fluidisé.

2-Séparation par membrane :

Les procédés de purification des lactoprotéines utilisés sont les séparations sur membrane et la précipitation par la chaleur avec leur dénaturation (procédé Centriwey et Thermo). La figure II.2 illustre les deux procédés de séparation par filtration : ultrafiltration et osmose inverse.

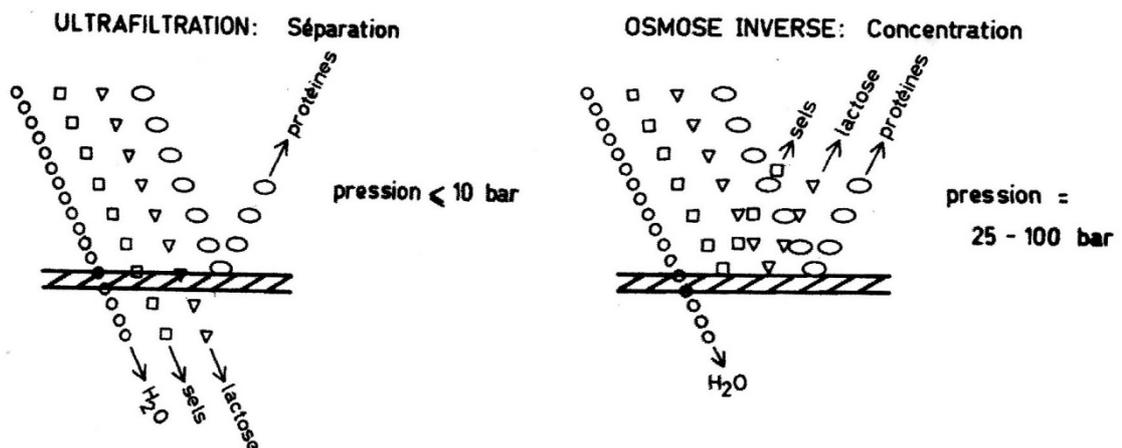


Figure II.2 : Différents procédés de la séparation par membrane (Fauconneau, 1989).

Les applications de l'ultrafiltration dans le domaine agroalimentaire sont très nombreuses, mais la plus importante concerne encore l'industrie laitière. Elle est utilisée dans le traitement du lactosérum, en permettant la récupération de protéines (Spinnler, 1989).

La phase aval qui traverse la membrane appelée *perméat* ou *ultrafiltrat*, contient toutes les petites molécules : lactose (0,8 nm.), sels minéraux solubles, l'azote non protéique ; le perméat est un lactosérum sans protéines.

L'autre phase amont est retenue par la membrane appelée *retentat* qui a la composition de préfromage liquide. Les teneurs en protéines (et en matières grasses) s'élèvent proportionnellement à la quantité de perméat recueillie à partir du volume de la traite (Fauconneau, 1989).

3-fermentation et production de cellules :

Le lactosérum peut être utilisé comme matière première dans le procédé de fermentation. Des levures (*kluveromyces fragilis*) transforment le lactosérum en éthanol qui peut être utilisé dans la chimie de synthèse et aussi comme solvant ou source d'énergie.

Chapitre II: Lactosérum

Des levures peuvent être utilisées pour convertir le lactosérum en biomasse qui peut être utilisée en alimentation animale.

D'autres produits valables comme des antibiotiques, des vitamines, des enzymes et des acides organiques peuvent être obtenus à partir des sous produits par voie microbiologique (**Proot, 2001**).

Nous proposons dans la figure II.3 un schéma global sur les fractions du lactosérum obtenu par diverses applications technologiques.

Chapitre II: Lactosérum

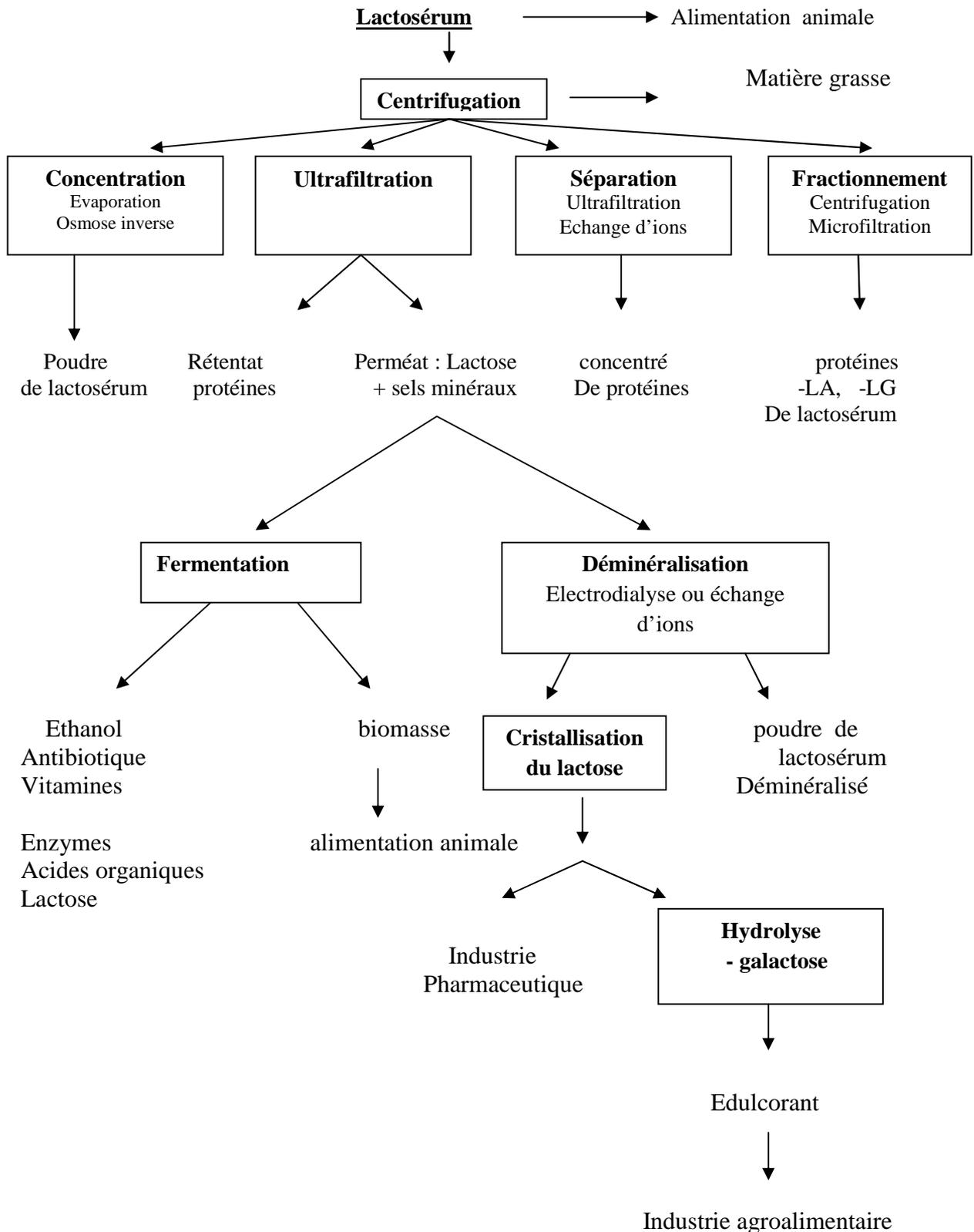


Figure II.3 : Fractions du lactosérum obtenues par application de diverses voies technologiques (Jacquet Violleau, 1999 et Proot, 2001).

II-7-Domaine d'utilisation du lactosérum :

1-En alimentation humaine :

❖ Utilisation dans les produits de cuisson :

Dans la biscuiterie la poudre de lactosérum a un effet bénéfique en empêchant la rétraction à la coupe, ainsi le sérum masque un peu le goût de l'œuf dans la préparation des gâteaux de type génoise comme il est aussi un agent de dorure **(Boudier et Luquet, 1989)**.

De plus des caractères organoleptiques, le lactosérum augmente la valeur nutritionnelle qui est due à l'apport d'acides aminés indispensables (Méthionine tryptophane et lysine) qui sont en quantité limitées dans la farine de blé **(Apria, 1980)**.

❖ Utilisation dans les glaces et les crèmes glacées :

Il est possible de remplacer jusqu'à 25% de la quantité de lait par du sérum déshydraté, un sérum doux doit être utilisé. Les avantages sont essentiellement d'ordre économique et sensoriel **(Boudier et Luquet, 1989)**.

❖ Utilisation en boisson et en alimentation des nourrissons :

Il se présente généralement sous la forme d'une poudre soluble que le consommateur mélange au liquide de son choix pour constituer une boisson riche en protéines. On trouve aussi des tablettes nutritives protéinées et des préparations pour nourrissons qui contiennent du lactosérum **(Lefrancois et al., 2007)**.

Le mélange de lactosérum acide avec des jus de fruits surgelés concentrés, frais ou déshydraté donne des breuvages de qualité acceptable **(Boudier et Luquet, 1989)**.

❖ Utilisation en remplacement du lait :

Le lactosérum est très utilisé pour fabriquer des laits maternisés en poudre grâce en particulier à sa composition minérale. Il est utilisé aussi comme un lactoreplaceur dans certaines recettes de potages dans des produits de charcuterie et dans des plats cuisinés **(Boudier et Luquet, 1989)**.

❖ Produits de substitution de l'œuf :

A la suite de recherches sur les propriétés émulsifiantes du lactosérum, des scientifiques russes ont développé de nouveaux produits à base de sérum remplaçant partiellement ou totalement la poudre d'œuf et la poudre de lait écrémé dans la mayonnaise (Louache, 1982).

❖ Produits de substitution de viande:

Le lactosérum et ses dérivés trouvent également leurs applications croissantes dans les substituts de viande. Ce est fabriqué à partir d'un concentré protéique de sérum à basse teneur en lactose, contenant 30 à 60% d'eau, ainsi que d'alcool ou de glycérol (Manne, 1982).

❖ Aliments infantiles et diététiques

Le lactosérum est également incorporé dans l'alimentation infantile. Ainsi en URSS, un substitut de lait maternel est préparé à partir du sérum de protéines du lait, d'huiles végétales, de vitamines, de lactose et d'amidon (Manne, 1982).

❖ Utilisation du sérum dans le yaourt :

La bonne qualité du sérum en fait un produit d'addition approprié pour enrichir les aliments tel que « le yaourt ». Le sérum peut être utilisé dans le yaourt comme suit :

- **Yaourt à base du lactosérum brut** : le sérum en poudre à l'état natif peut remplacer la matière première notamment l'eau lors de la fabrication du yaourt (Renner, 1983).
- **Yaourt enrichi par la poudre de sérum** : les sérums en poudre ont des applications dans le yaourt ou ils sont à la fois comme renforçateur de poudre du lait et améliorateur du goût et de couleur moins coûteux que la poudre de lait (Apria, 1980).
- **Utilisation des protéines sériques dans le yaourt** : Les protéines du sérum sont des bons agents moussants et gélifiants ainsi elles forment des polymères solubles améliorant la texture et la solubilité du yaourt à l'entreposage (Boutin, 2002).

2- En alimentation animale:

Les sérums déshydratés sont utilisés dans les rations alimentaires des ruminants (surtout les vaux) et des porcs ou ils sont utilisés pour l'élevage d'autres espèces animales, il s'agit par exemple de poussins, d'agneaux, faisans, cailles, truitelles etc..... (**Boudier et Luquet, 1989**).

3- En production végétale:

❖ Effets sur les propriétés du sol:

Le lactosérum a un effet sur la disponibilité des éléments, en sol sableux. **Zabbek (1968)** a observé une augmentation de la disponibilité du phosphore, potassium et manganèse avec l'apport de petit lait mais une diminution de la disponibilité en Ca.

Un effet biologique du petit lait sur le sol est remarqué d'où une application des résidus laitiers dans un sol humide de texture fine accroît les populations d'*Azotobacter* fixateurs d'azote (**Duval, 1991**).

❖ Effet sur les végétaux :

Des recherches ont observés sur sol sableux une augmentation de plus du double de la valeur protéique des fourrages avec l'application de petit lait (**Duval, 1991**). C'est ainsi que dans la culture du maïs, **Sharratt et al., (1962)** ont observé une stimulation de la croissance racinaire après l'application de petit lait, ce dernier augmente le contenu en potassium, manganèse, nitrates et phosphore du maïs mais diminue le contenu en calcium et magnésium.

4- Comme milieu de culture :

Le lactosérum est utilisé aussi comme un milieu de culture pour transformer le grain égrugé du colza selon un procédé microbiologique. L'addition de lactosérum avait pour but non seulement de compléter le milieu en composants énergétiques pour des procédés de fermentation, mais aussi d'utiliser le lactosérum qui constituerait un élément complémentaire d'affouragement, enrichi de la biomasse des microorganismes utilisés, accumulés par leur culture (**Poznanski S et al., 1973**).

II-8- qualités nutritionnelles des sérums déshydratés:

Chapitre II: Lactosérum

Le produit traditionnel obtenu à partir du lactosérum est la poudre de lactosérum, obtenu par séchage du lactosérum, elle contient en moyenne 12% de protéines (Morisset et al., 2007).

La poudre de lactosérum doux obtenue est utilisée comme aliments pour les veaux ou addition alimentaire pour l'homme (charcuterie cuite, céréales cuites, confiserie, dessert...) (Proot, 2001). Une façon aisée de juger des qualités du lactosérum est de le comparer au lait écrémé déshydraté. Les chiffres donnés dans le tableau II.2 sont des moyennes de composition

Tableau II.2 : Comparaison entre la composition du sérum déshydraté et le lait écrémé déshydraté

Composition	Sérum déshydraté	Lait écrémé déshydraté
Calories/100g	350	359
Protéines	12.9	35.8
Graisses	1.1	0.7
Cendres	8	7.9
Eau	4.5	4
Lactose	73.5	51.6

(Boudier et Luquet, 1989).

Le tableau II.3 montre les taux de vitamines dans les deux produits :

Tableau II.3 : Comparaison entre la composition en vitamines du sérum déshydraté le lait écrémé déshydraté

Vitamines	Lait écrémé en poudre (mg/100g)	Sérum déshydraté (mg/100g)	Quantités nécessaire à un enfant de 10kg (mg/jour)
Thiamine	0.35	0.50	0.4
Riboflavine	1.78	2.51	0.6

Chapitre II: Lactosérum

Acide nicotinique	0.9	0.8	6.0
Pyridoxine	0.40	-	0.5
Biotine	0.025	0.04	-
Acide pantothénique	3.2	4.8	5.0
Acide folique	0.06	0.09	0.1

(Boudier et Luquet, 1989).

En ce qui concerne les sels minéraux, le tableau II.4 résume la composition des deux produits (laits écrémé en poudre et sérum déshydraté).

Tableau II.4 : comparaison entre la composition des minéraux du sérum déshydraté et le lait écrémé déshydraté

Minéraux	Lait écrémé en poudre (mg/100g)	Sérum déshydraté (mg/100g)	Quantités nécessaires à un enfant de 10kg (mg/jour)
Calcium	1293	646	600
Fer	0.6	1.4	10
Magnésium	100	130	100
Phosphore	1005	589	700
Potassium	1725	-	400
Sodium	526	700	400

(Boudier et Luquet, 1989).

Chapitre III
Généralités sur
la rhéologie



Chapitre III: Généralités sur la rhéologie

III-Généralités sur la rhéologie:

III-1 Introduction:

Les aliments sont des matériaux vivants, subissant constamment des modifications de forme, de taille, de structure. Ils sont sensibles à l'humidité, à la température, à l'oxygène, etc. Le produit alimentaire est donc étudié principalement sous des aspects nutritionnels, d'une part, et biochimiques, d'autre part, puisque la majeure partie des transformations qui se déroulent dans l'aliment au cours des opérations technologiques ou de conservation sont des opérations à caractère biochimique.

On oublie trop souvent que le produit alimentaire est aussi un matériau sur lequel il peut être intéressant de mesurer des propriétés mécaniques. Ainsi, les solides d'origine biologique ont une élasticité qui change avec l'âge et diverses causes physiologiques. Les liquides d'origine biologique ont un comportement, le plus souvent non Newtonien. Cependant, lors de la préparation, de la transformation ou de la formulation de ces matières premières, de nombreuses techniques sont employées et de nombreuses interactions ont lieu entre les constituants qui viennent modifier profondément et de façon irréversible.

En effet, l'étude rhéologique capte le cœur central de l'ensemble des modifications physiques qui se manifestent pleinement dans le produit alimentaire. Entre autres, les propriétés mécaniques, constituent les paramètres de choix pour le suivi de l'état rhéologique au cours du stockage des produits alimentaires, à savoir, le yaourt (**Scher, 2006**).

III-2 Historique et définition de la rhéologie :

La rhéologie (le terme fut inventé par Eugène Bingham en 1928, à partir du mot grec ρειν, signifiant écoulement) est ainsi la science qui étudie et décrit l'écoulement, la déformation et la rupture de corps sous l'effet d'une contrainte. Dans ce contexte, les corps peuvent être des liquides, des solides ou des matériaux pulvérulents. Les propriétés

rhéologiques sont également à l'origine des comportements perçus lors de l'évaluation sensorielle de la texture.

Dans le domaine alimentaire, la texture est considérée essentiellement comme une propriété sensorielle et regroupe un grand nombre de termes ; citons, entre autres, la tendreté pour la viande, l'onctuosité ou la fermeté pour des fromages, l'aspect collant pour des pâtes ou encore les caractères craquant, friable, dur et croustillant pour des biscuits. Néanmoins, des méthodes de mesure des paramètres texturaux autres que sensorielles se sont développées. Elles relèvent de la rhéologie.

La rhéologie est une science interdisciplinaire, elle fait appelle à la mécanique, à la physique, à la chimie, à la biologie, qui lui fournissent ses instruments de base, et elle se montre utile à chacune de ses instruments (**Anonyme, 1990 et Scher, 2006**).

III-3 Objectifs de la rhéologie :

L'application de certains principes fondamentaux de mécanique et de substances, à l'état naturel ou lorsqu'on les modifie par un procédé de texturation.

La mesure des propriétés rhéologiques des produits alimentaires permet de prévoir leur comportement mécanique au cours des différentes étapes de l'élaboration de l'aliment elles interviennent à toutes les étapes de la fabrication de l'aliment, depuis sa formulation jusqu'à sa consommation.

La texture ou la consistance d'un produit alimentaire traduit essentiellement son résultat rhéologique par la médiation des expressions spécifiques. Elle détermine en partie l'acceptabilité du produit par le consommateur et constitue une des composants essentielles de sa qualité (**Anonyme, 1990 ; Scher ; 2006**).

III-1-4 Les grandeurs utilisées en rhéologie :

Contraintes et déformations sont les grandeurs physiques qui sont à la fois l'objet et l'outil de la rhéologie. De façon schématique, une mesure rhéologique consiste à soumettre un échantillon du matériau de géométrie définie à une contrainte et a mesurer la

déformation (ou la vitesse de déformation) qui en résulte, ou réciproquement (**Lefebvre, 2003**)

∇ **La viscosité :**

De manière imagée, la viscosité d'un fluide représente sa résistance à l'écoulement. D'un point de vue physique, on définit la viscosité dynamique newtonienne (souvent noté μ ou η) comme étant le rapport entre contrainte et vitesse de cisaillement :

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

Avec : τ contrainte de cisaillement (en Pa) et $\dot{\gamma} = d\gamma/dt =$ vitesse de cisaillement (en s^{-1}).

La viscosité s'exprime donc, dans le système international, en Pa.s. On emploie encore souvent une sous unité qui est le Poise(P), ou le centpoise (cP) : $1\text{cP} = 10^{-3} \text{ Pa.s}$.

A 20°C la viscosité de l'eau est égale à 1cP, soit 0.001 Pa.s. (**Pointurier, 2003**)

∇ **Contrainte de cisaillement :**

Soit une force \mathbf{F} appliquée à une surface \mathbf{A} , interface entre une plaque supérieure et un liquide sous –adjacent . Cette force \mathbf{F} va provoquer un écoulement dans la couche liquide. La rapidité de l'écoulement est subordonnée à la résistance interne de liquide, c'est-à-dire, sa viscosité. La contrainte tangentielle τ est alors définie comme étant le rapport de la force \mathbf{F} à la surface \mathbf{A} . τ s'exprime en Pascal ou en N/m^2 dans le système MKSA (**Couarraze et Grossiord, 2000 ; Scher, 2006**).

$$\tau = d\mathbf{F} / d\mathbf{S}$$

∇ **Déformation de cisaillement :**

On définit la déformation de cisaillement dans le cas de la symétrie plane, ou deux couches fluide séparées par une distance $d\mathbf{x}$ et se déplaçant l'une par rapport à l'autre avec une vitesse v par la relation :

$$Y(x,t) = du(x,y) / dx$$

(Couarraze et Grossiord, 2000)

∇ **Vitesse de cisaillement :**

Par définition, la vitesse de cisaillement γ ; c'est une vitesse de déformation :

$$\gamma = d\varepsilon/dt$$

(Couarraze et Grossiord, 2000)

III-5 Comportement rhéologique des fluides alimentaires :

L'état fluide est caractérisé par trois principaux types de comportement suivant la nature des paramètres qui influent sur l'aspect de la courbe d'écoulement :

- Les fluides indépendants du temps pour lesquels il existe une relation biunivoque entre τ et les fluides newtoniens en sont un parfait exemple ;
- Les fluides dépendants du temps pour lesquels la relation entre τ et dépend du temps et du passé mécanique du fluide ;
- Les fluides viscoélastiques qui présentent à la fois des caractéristiques des fluides précédents et solides, et qui retrouvent partiellement leur forme préliminaire après déformation.

1-fluides indépendants du temps :

∇ **Fluides newtoniens au comportement indépendant du temps :**

Pour de nombreux fluides, il existe une proportionnalité entre τ et γ sous la forme :

$$\tau = \eta \gamma$$

Avec η viscosité dynamique du fluide. On peut définir également la viscosité cinématique (ν) en divisant la viscosité dynamique volumique du fluide (ρ). (Scher, 2006).

La fluidité du produit (ϕ) correspond à l'inverse de la viscosité.

Il s'agit là du fluide visqueux le plus simple. La courbe d'écoulement est linéaire et sa viscosité est indépendante de la contrainte ou de la vitesse de cisaillement. Tous les fluides dont le comportement répond à cette caractéristique sont dénommés newtoniens (fig. III.1).

Exemples: les fluides newtoniens sont relativement nombreux dans les industries alimentaires : lait, jus de fruit naturels, blanc d'œuf stabilisé, la plupart des miels...

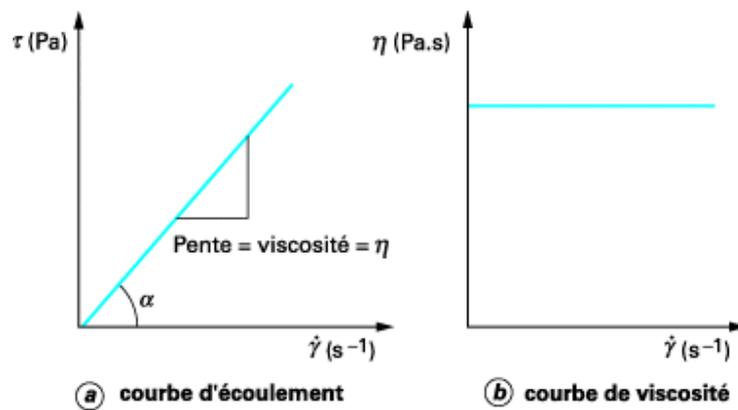


Figure III.1 : Courbes d'écoulement et de viscosité d'un liquide Newtonien (Scher, 2006).

∇ **Fluides non Newtoniens au comportement indépendant du temps :**

Dans le cas de fluides purement visqueux, il subsiste une relation biunivoque entre la contrainte et la vitesse de déformation, mais cette relation n'est plus linéaire. Des lors, la relation s'écrit :

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

Où le facteur de proportionnalité η_a est une valeur dépendante de $\dot{\gamma}$. Appelée viscosité apparente. La viscosité est donc la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. (Scher, 2006)

- **Fluides sans contrainte critique :**

Les fluides sans contrainte critique sont définis par la relation d'Ostwald –de Waele, appelée également loi en puissance :

$$\tau = K \dot{\gamma}^n$$

Avec **K** indice de consistance

n = indice d'écoulement.

Selon la valeur de **n**, ces fluides peuvent être divisés en deux groupes :

Les fluides rhéofluidifiant ou pseudoplastiques ($0 < n < 1$) ;

les fluides rhéoépaississants ou dilatants ($n > 1$).

Dans le cas de fluides rhéofluidifiant, la déformation commence dès qu'une contrainte est exercée. La courbe obtenue n'est pas linéaire. La tension de cisaillement n'est pas proportionnelle à la vitesse de cisaillement, car la viscosité diminue pour des vitesses de cisaillement croissant. L'effet rhéofluidifiant est réversible (souvent avec un certain retard).

Les fluides reprennent alors leur viscosité originelle quand l'effet de cisaillement s'atténue ou lorsqu'il s'arrête.

Dans le cas des fluides rhéoépaississants, la viscosité apparente croît avec la vitesse de cisaillement (fig. III.2). Ce type de comportement a été mis en évidence sur des suspensions à concentration élevée et est relativement rare parmi les fluides alimentaires.

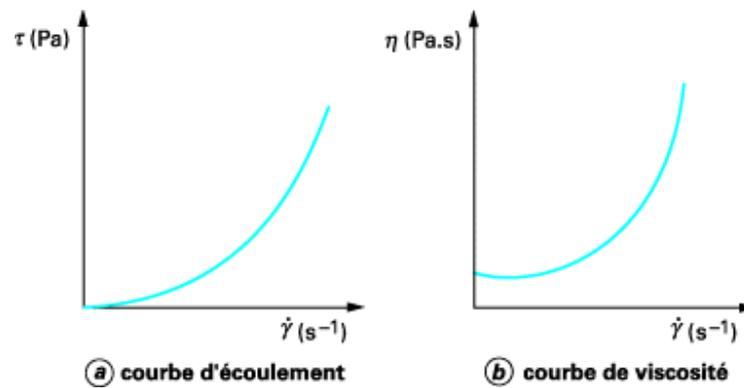


Figure III.2: Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide Rhépépaississant (Scher, 2006)

-fluides à contrainte critique ou fluides plastiques :

L'écoulement plastique idéal (ou de Bingham) se manifeste par un rhéogramme en partie analogue à celui de l'écoulement newtonien. Cependant, la droite coupe l'axe des ordonnées en un point appelé point de fluage, seuil de plasticité, seuil d'écoulement ou contrainte critique τ_0 . (Figure III.3)

L'écoulement plastique est associé à la présence de particules flocculées dans des suspensions concentrées. Un seuil d'écoulement (yield, en anglais) existe car les liens entre les particules adjacentes (forces de Van der Waal) doivent être rompus pour que le système commence à s'écouler. Lorsque la tension de cisaillement est inférieure au seuil d'écoulement, le système se comporte comme un solide (Scher, 2006).

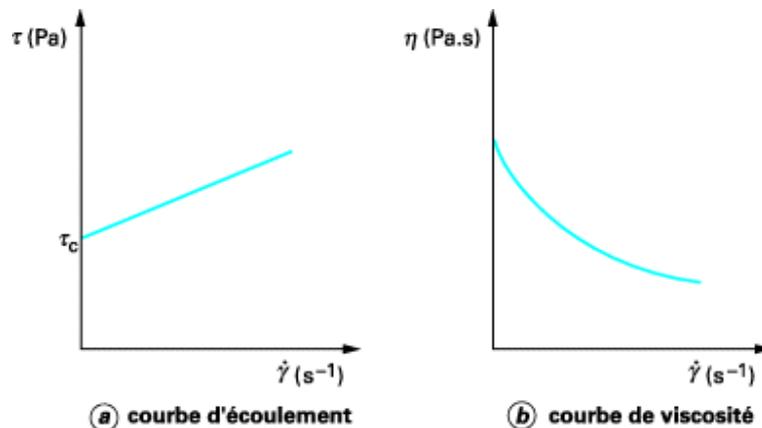


Figure III.3: Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide plastique (Fluide de Bingham) (Scher, 2006)

2- Fluides dépendant du temps :

Le comportement rhéologique des fluides dépendant du temps a été expliqué par des modifications de leur structure interne. Ces modifications peuvent être très rapides, dans ce cas, le temps n'intervient pas de manière apparente dans les équations d'écoulement, la viscosité apparente est alors fixée uniquement pour une valeur donnée de contrainte ou de la vitesse de cisaillement. Par contre, si les modifications de la structure interne du fluide sont lentes, les caractéristiques de l'écoulement du fluide seront influencées par les traitements antérieurs, et la viscosité apparente dépendra dans ce cas d'un autre paramètre qui est le temps. Alors on distinguera trois catégories de fluide dépendant du temps : thixotrope, rhéopexie et viscoélastique (Scher, 2006).

- **La thixotrope :**

Tous corps dont la viscosité apparente a tendance à décroître dans le temps lorsqu'il est soumis à un cisaillement constant est thixotrope. Cette diminution de la viscosité est due à la destruction progressive de sa structure tridimensionnelle. La thixotrope est un processus réversible : après suppression du cisaillement et un temps de repos suffisant, la structure initiale se régénère graduellement.

- **La rhéopexie ou l'antithixotropie :**

Est le phénomène inverse de la thixotropie, pour une contrainte donnée (ou cisaillement donne), la viscosité apparente augmente avec le temps.

- **Fluides viscoélastiques :**

Est un fluide qui possède à la fois des propriétés de viscosité et d'élasticité. Ainsi, contrairement à un fluide purement visqueux ou l'écoulement est irréversible, un fluide viscoélastique récupère une partie de sa déformation après suppression des contraintes (Scher, 2006).

III-7 La rhéologie du yaourt :

La microstructure du yaourt est fonction de la concentration en matière sèche (Schkoda, et al., 1997) de la méthode d'enrichissement du lait (Tamone et al., 1984), du traitement thermique mais aussi des souches bactériennes utilisées et de leur capacité à synthétiser les exopolysaccharides (EPS), augmentant la viscosité du gel (Paci Kora, 2004).

La transformation du lait en yaourt s'accompagne de la mise en place d'une structure complexe et d'un changement important des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide newtonien à un gel viscoélastique à déstructuration non réversible (Paci Kora, 2004).

Des études rhéologiques ont été faites par plusieurs auteurs ont suggéré que la synérèse, la texture et la viscosité des laits fermentés sont affectés par la composition du lait et le type de culture. (Gisele et al., 2006)

Propriétés rhéologiques du yaourt :

La connaissance des propriétés rhéologiques du yaourt permet également d'appréhender la qualité en terme de texture des produits finis .Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique ; il possède donc à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide (Paci Kora, 2004).

III-8 Appareil de mesure :

Les appareils permettant de mesurer la viscosité des fluides alimentaires sont nombreux ; nous n'envisagerons donc ici que les dispositifs dont les informations peuvent effectivement être reliées, de façon plus ou moins simple mais scientifique, à un comportement rhéologique.

Les viscosimètres peuvent être classés en trois catégories suivant que leur principe repose :

- sur la détermination de la vitesse d'écoulement du liquide à analyser à travers un capillaire (viscosimètre capillaire) ;
- sur la détermination de la vitesse de chute d'une bille dans le liquide à analyser (viscosimètre à chute) ;
- sur l'examen du comportement de la substance placée entre deux systèmes dont l'un subit une rotation par rapport à l'autre (viscosimètre rotatif ou rhéomètre). (**Scher ,2006**)

Chapitre IV

Matériels et

méthodes



Chapitre IV: Matériels et méthodes

Les expériences se sont axées essentiellement sur des essais de formulation d'un yaourt à base de lactosérum doux en poudre. La bonne recette a été optimisée après plusieurs tentatives de reconstitution en se basant essentiellement sur les propriétés physico-chimiques, rhéologiques et microbiologiques ainsi que sur les tests de dégustation.

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire microbiologique et physico-chimique de la laiterie de trèfle située dans la zone industrielle de Blida.

IV-1-Les différents essais de formulation du yaourt :

a- Les matières premières utilisées :

Pour la réalisation de la recette, nous disposons des matières premières suivantes :

- La poudre de lactosérum doux ;
- Les poudres de lait de 0 % et 26% de matière grasse ;
- Sucre ;
- Eau ;
- Les ferments lactiques thermophiles ;
- Arôme.

a-1-la poudre de lactosérum doux :

C'est une poudre jaunâtre lisse caractérisée par un taux d'humidité maximal de 3.7%.

a-2-poudre de lait :

Elle est obtenu à partir d'un lait ayant subi une déshydratation par la chaleur, permettant ainsi une durée de conservation plus longue, elle est caractérisée par un taux d'humidité maximal de 4% pour celle de 26% matière grasse et 6% pour la poudre de lait écrémé.

a-3-le sucre :

Le sucre utilisé dans nos recettes est le saccharose ou appelé aussi sucre de table, c'est un diholoside de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$ facilement dissociable en glucose et fructose.

a-4-l'eau :

L'eau utilisée dans nos essais de formulation du yaourt subit au niveau de l'unité de Trèfle plusieurs traitements avant son utilisation, à savoir, la filtration, l'adoucisement, la chloration et enfin la déchloration.

Ces traitements ont pour but essentiel d'atteindre un titre hydrométrique entre 12-15 et détruire les micro-organismes contaminants et pathogènes.

a-5- les ferments lactiques thermophiles :

Le ferment utilisé dans notre étude est composé de deux souches thermophiles spécifiques pour le yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus Bulgaricus*.

a-6- L'arôme :

C'est un ensemble de substances présentes dans le produit qui créent une sensation de goût agréable au niveau de la dégustation.

L'arôme de fraise a été utilisé dans nos essais de formulations.

b-Mise au point du processus de fabrication :

b-1-La préparation du yaourt :

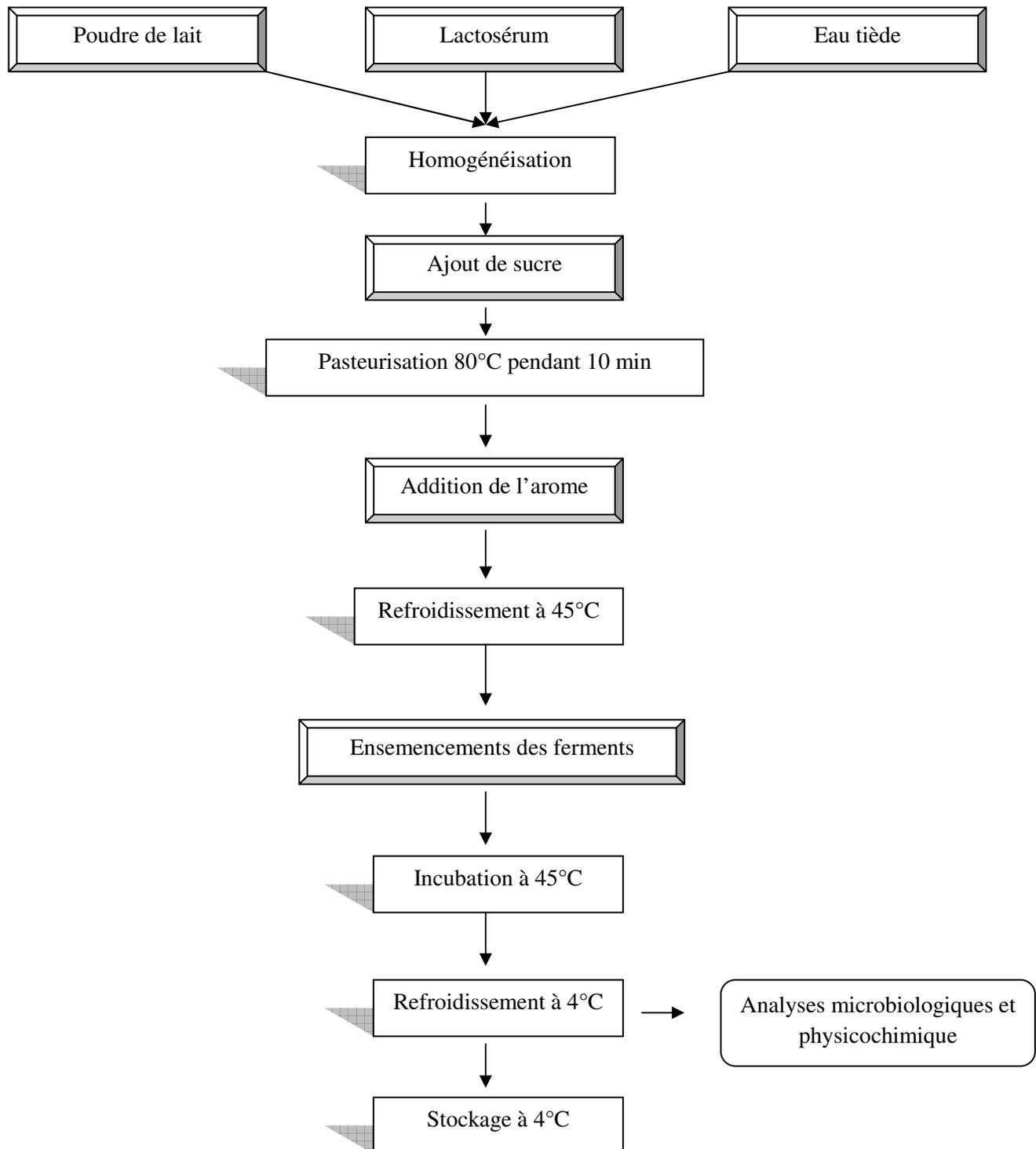
- La préparation du yaourt débute par la reconstitution des poudres de lait de 26% MG, de 0%, et la poudre de lactosérum dans une eau tiède dans un récipient et ensuite le bien mélangé.
- Au lait reconstitué, on additionne du sucre, il est préférable de le rajouter avant la pasteurisation du lait.
- Dans la prochaine étape, le lait est homogénéisé pour favoriser la dispersion de la matière grasse. L'homogénéisation était réalisée manuellement d'une manière continue.
- La préparation du lait ainsi obtenue va être soumise à un traitement thermique à une température comprise entre 90 à 92°C pendant 3- 5 mn.

- Pour l'inoculation des souches thermophiles, le lait chauffé va subir un refroidissement à 40-45°C. Après l'ensemencement, le lait préparé est couvert avec du papier aluminium puis une incubation à 45°C.
- Lorsque le pH atteint une valeur comprise entre 4.3 et 4.7 l'acidité atteint un certain seuil (70-80), le yaourt est mis dans un réfrigérateur à une température de 4°C

Tableau IV.1: composition des différents essais de formulation.

Essai	1	2	3	4	5
Ingrédients					
Eau (ml)	800	800	800	800	800
PDL 26%	120	110	105	70	70
PDL 0%	00	00	00	30	20
Lactosérum (g)	00	05	10	05	10
Sucre (g)	100	100	100	100	100
Amidon (g)	00	03	05	03	05
Arome (1g/l)	1	1	1	1	1

La préparation des yaourts est réalisée à l'échelle de laboratoire en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard avec une modification portant sur l'ajout de la poudre de lactosérum. L'ajout de ce dernier a lieu avant le traitement thermique.

b-2- Diagramme de fabrication du yaourt :**Figure IV.1: diagramme de fabrication du yaourt préparé**

IV-2-Matériel:

Les appareils, la verrerie ainsi que et réactifs que nous avons utilisé sont regroupés dans les annexes 2 et 3

IV-3-Méthodes d'analyses microbiologiques:

Afin de caractériser nos matières premières, nous avons en premier lieu contrôlé la pureté des produits par des tests microbiologiques en respectant les étapes suivantes :

a-Échantillonnage:

Les modalités de prélèvements constituent en faite l'étape pré-analytique primordiale et une condition indispensable pour l'obtention d'un résultat fiable.

A cet effet, le matériel utilisé doit être propre et stérile et la méthode de prélèvement doit aussi être effectuée dans des conditions aseptisée rigoureuses afin d'écartier tout risque de contamination pouvant fausser la composition microbiologique initiale de l'échantillon à analyser.

Les prélèvements ont été effectués comme suit :

- poudre de lactosérum et poudre du lait :

Le prélèvement s'effectue à la louche ou à l'aide d'une sonde stérile dans un endroit proche du centre du récipient. La couche supérieure est écartée à l'aide d'un autre instrument stérile, et l'échantillon doit être placé dans un récipient stérile.

- L'eau de processus :

Le prélèvement se fait à partir de fioles stériles et ceci après avoir flambé le robinet et laisser couler l'eau pendant quelques minutes.

- Le sucre :

Le sucre est prélevé à partir de trois sacs choisis au hasard dans des boites bien fermées stériles devant la flamme.

- Produit fini (yaourt) :

L'analyse est effectuée après avoir fait un échantillon moyen à partir de trois pots de yaourt choisis arbitrairement.

b- Techniques d'analyses :

b-1- Préparation des dilutions

Ces techniques sont décrites par (Lebres *et al.* 2007).

Dans le cas des produits solides, on introduit aseptiquement 25 grammes de produit à analyser dans un sachet stérile de type « Stomacher 400 » contenant au préalable 225 ml de diluant soit le TSE (tryptone Sel Eau). Le mélange est homogénéisé pendant quelques minutes.

Cette suspension constitue alors la solution mère (SM) qui correspond donc à la dilution 10^{-1} .

Dilutions décimales :

- On introduit ensuite aseptiquement à l'aide d'une pipette en verre graduée et stérile ou à l'aide d'une pipette automatique stérile, 1 ml de la DM, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de diluant TSE (tryptone Sel Eau) : cette dilution constitue alors la dilution au 10^{-2} , le mélange est agité soigneusement et doucement.

- On change de pipette et on prend toujours aseptiquement 1 ml de la dilution 10^{-2} , à introduire dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant (TSE) : cette dilution est alors au 10^{-3} .

b-2-Recherche et dénombrement dans les produits solides :

Les matières ciblées sont les poudres de lait (0% et 26% MG) et le lactosérum et le produit fini « yaourt » :

Les germes recherchés sont :

b-2-1- Recherche et dénombrement de la flore aérobique mésophile totale : (Lebres *et al.*, 2002 ; Lebres *et al.*, 2007).

Le dénombrement de la flore aérobie mésophile est généralement réalisé en milieu solide PCA (gélose pour dénombrement) (**Guiraud, 1998**) ou TDYM (le choix des milieux dépend de la nature des denrées à analyser) (**Lebres et al., 2002**).

Les étapes de cette recherche se résument comme suit :

- 1) A partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , on porte aseptiquement 1 ml dans une boîte de Pétri vide préparée à cet usage et numérotée comme l'indique le schéma ;
- 2) On complète ensuite avec environ 15 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à 47°C . Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est analysé ne doit pas excéder 15 minutes ;
- 3) On fait ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale ;
- 4) On laisse solidifier sur paille, puis on rajoute une deuxième couche d'environ 4ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses ;
- 5) Les boîtes seront incubées couvercle en bas à 30°C pendant 72 ± 3 heures ;
- 6) Trois lectures sont nécessaires : à 24h, à 48h et à 72h. Les colonies des germes aérobies mésophiles totales se présentent sous forme lenticulaire en masse.

Dénombrement : Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives. Il faut qu'une boîte renferme au moins 15 colonies.

Calculer le nombre N qui représente les microorganismes dénombrés à 30°C par ml ou par gr de produit en tant que moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d}$$

Avec :

Σc : est la somme des colonies comptées sur les deux boîtes retenues.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

- On arrondit les résultats calculés à deux chiffres significatifs.
- Le résultat final de microorganismes dénombrés est noté par un nombre compris entre 1.0 et 9.9 multiplié par 10^x d'où x est la puissance appropriée de 10.

b-2-2- Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo tolérants (fécaux) :

Les coliformes sont des bactéries bacilles, Gram négatif, oxydase négatif, aérobie ou anaérobie facultatif, non sporulé, capables de fermenter le lactose dans 48h avec formation de gaz à 37°C. (Singleton, 1999).

On s'intéresse beaucoup plus aux thermo tolérants, qui sont un sous groupe de coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44.5°C.

(Elmund et al., 1999)

Le principe de la méthode c'est de faire la recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux soit :

- **Sur un milieu liquide** : ou on peut évaluer le nombre de coliformes en se reportant aux table de Mac Grady pour calculer l'indice NPP (nombre le plus probable) (annexe 4) sur bouillon BCPL dans le cas de l'eau (Guiraud, 1998), soit à l'aide du bouillon VBL ou BLBVB (bouillon lactosé bilié au vert brillant) réparti à raison de 10 ml par tubes munis d'une cloche de Durham. (Lebres et al., 2002). En effet, cette technique fait appel à la méthode de fermentation en tubes multiples, au cours de laquelle au moins trois dilutions décimales de l'échantillon sontensemencées dans des éprouvettes de bouillon et incubées à une température précise, pendant une période donnée (Roux, 2003).
- v **Test de présomption** : réservé à la recherche des coliformes totaux.

Technique : elle est décrite selon (Lebres et al., 2002) selon les étapes suivantes :

- 1) Préparer dans un portoir une série de tubes contenant le milieu sélectif (VBL) à raison de trois tubes par dilution ;

- 2) A partir des dilutions décimales 10^{-3} à 10^{-1} , porter aseptiquement 1 ml dans chacun des trois tubes correspondant à une dilution donnée ;
- 3) Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum ;
- 4) L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures ;
- 5) Sont considérées comme positives les tubes présentant à la fois :
 - Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) ;
 - Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

NB. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady qui se trouve en annexe 4. Pour obtenir le nombre réel de coliformes totaux, il suffit de multiplier le nombre trouvé dans la table par l'inverse de la première dilution.

Test de confirmation ou test de Mac Kenzie : est réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs de test de présomption.

Technique :

-les tubes de VBL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une ose bouclée à la fois dans :

- * Un tube de VBL muni d'une cloche et sur ;
- * Un tube d'eau peptonée exempte d'indole.

-chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait cette fois-ci au bain marie à 44°C pendant 24 heures

Lecture : sont considérés comme positifs, les tubes présentant **à la fois** :

- Un dégagement gazeux dans les tubes de VBL ;
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs dans le tube d'eau peptonée exempte d'indole.

- La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table de Mac Grady en tenant compte du fait qu'*Escherichia coli* est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44°C. multiplier le nombre trouvé dans la table par l'inverse de la première dilution.
- o **Sur un milieu solide** : gélose de Désoxydation (DCLA) à 1‰ (Lebres et al., 2002), qui renferme une faible teneur en sels biliaires et en citrates suffisante pour inhiber la majeure partie de la flore Gram positif tout en préservant le développement des coliformes (Joffin et Leyral, 2001).

Technique :

En milieu solide, 1 ml de chacune des dilutions décimales (allant de 10^{-3} à 10^{-1}) est distribué aseptiquement dans des boîtes de pétri stériles, on ajoute d'environ 20 ml de gélose **DCLA** (1‰), fondue puis refroidie à $45 \pm 1^\circ\text{C}$. (Ensemencement en profondeur). Après homogénéisation manuelle et solidification du milieu, les boîtes sont incubées à 37°C pendant **24 à 48 h** pour les coliformes totaux.

b-2-3- Recherche des salmonelles :

Technique :

La recherche des salmonelles nécessite une prise d'essai particulière dans le but d'augmenter la chance de trouver un pathogène.

 **1^{ère} étape : Pré-enrichissement :**

Elle est destinée à détoxifier les cellules microbiennes, qui ont pu souffrir au contact des inhibiteurs du produit en cause exemple : pH, aw..., de façon à faciliter la culture en bouillon d'enrichissement. Cette étape consiste à préparer la suspension mère qui est un rapport entre : 25 ml et 225ml du produit à analyser lactosérum et le diluant (TSE).

On mélange bien le flacon et on l'incube à 37°C pendant 18 à 24h.

 **2^{ème} étape : Enrichissement primaire :**

Consiste à porter 10 ml de milieu de pré-enrichissement dans un bouillon SFB, reparti à raison de 100 ml par flacon qui sera incubé à 37°C pendant 24h.

Le résultat positif, se traduit par un virage de couleur du milieu du jaune au rouge.

3^{eme} étape : enrichissement secondaire et isolement :

Le flacon SFB ensemencé et incubé la veille fera l'objet :

- D'un second enrichissement qui consiste à ensemencer 0.1 ml dans un 10 ml du bouillon « SFB » ;
- D'un isolement sur « gélose Hektoen ».

L'incubation est réalisée à 37°C pendant 24h.

4^{eme} étape : Isolement :

A partir du milieu d'enrichissement secondaire, un second isolement est réalisé sur « Hektoen » et une lecture de la boîte Hektoen incubé la veille. Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 24 h.

Lecture :

Les colonies de salmonella se présentent sur gélose Hektoen, sous forme de colonie grise bleu ou vert avec un centre noir.

5^{eme} étape : Purification et confirmation :

Après purification éventuelle sur gélose nutritive, l'identification des colonies sélectionnées est effectuée à l'aide d'une galerie biochimique basée sur paramètres suivants : Kligler – Hajna ou (TSI), urée – indole, Milieu Lysine Décarboxylase (LDC) et Réaction de la galactosidase.

b-2-4-Recherche et dénombrement des levures et moisissures :

Technique :

Pour la recherche et dénombrement des levures :

Le milieu spécifique est celui de Sabouraud au Chloramphénicol, fondue, refroidie et maintenue à $47 \pm 2^\circ\text{C}$ dans un bain d'eau.

Retourner les boîtes ainsi préparées puis les incuber selon accord, à 30°C pendant 72 h ou plus.

Pour la recherche et dénombrement des moisissures :

Le milieu spécifique est celui de Sabouraud au Chloramphénicol.

L'incubation se fait à 30°C pendant 72 heures ou plus.

Dans le souci de ne pas se trouver en face de boîtes envahies par les moisissures, on doit effectuer des lectures et des dénombrements tous les jours.

Lecture et interprétation :

La formule ci-dessous est valable aussi bien pour la recherche et le dénombrement des levures que des moisissures.

Après la période d'incubation spécifiée, compter les colonies dans chacune des boîtes contenant entre 15 et 150 colonies.

On peut également compter toutes les colonies de deux dilutions successives présentant entre 15 et 150 colonies par boîte et appliquer la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d}$$

Ou:

Σc : est la somme des colonies comptées dans deux boîtes de dilutions successive.

d : est la valeur de la première dilution retenue parmi les deux boîtes.

b-2-5- Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus* :

Technique :

- le milieu spécifique est de Giolliti Cantonii additionné avec 15 ml d'une solution de Téliurite de Potassium.
- A partir des dilutions décimales retenues, porter aseptiquement 1ml par dilution dans un tube à vis stérile.
- Ajouter par la suite environ 15 ml du milieu d'enrichissement. Bien mélangé le milieu et l'inoculum.
- Incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lectures et interprétation : Seront présumés positifs, les tubes ayant virés au noir.

Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de Staphylococcus aureus, ces tubes feront l'objet d'une confirmation par isolement sur gélose Chapman préalablement fondue, coulée en boîtes de pétri et bien séchées.

Les boîtes de Chapman ainsiensemencées seront incubées à leur tour à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Après ce délai, repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisses, brillantes, pigmentées en jaune et pourvues d'une catalase et d'une coagulase.

Expression des résultats :

- Si à la dilution 10^{-3} , le tube a noirci au bout de 24 heures d'incubation, mais à l'isolement sur Chapman, il n'y a pas de colonies caractéristiques ; ce tube est considéré comme négatif.
- Si par contre à la dilution 10^{-1} , le tube a noirci au bout de 24 heures d'incubation, et à l'isolement, il y a des colonies caractéristiques, il faut tenir compte de la dilution en question, car le nombre réel de Staphylococcus aureus correspond à l'inverse de la dilution.

La confirmation des colonies est basée sur deux principaux caractères : la catalase et la coagulase libre.

b-3-Recherche et dénombrement dans l'eau :

Le produit ciblé ici est l'eau utilisée dans la fabrication du yaourt.

Le contrôle repose sur la recherche et le dénombrement des germes suivants :

- Germes aérobies mésophiles totaux
- Coliformes totaux et coliformes thermo tolérants (fécaux).

b-3-1-Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux dans l'eau :

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalise à deux températures différentes afin de cibler à la fois les micro-organismes à tendance psychrophiles soit à 20° et ceux franchement mésophiles soit 37°C.

Technique :

- A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 2 fois 1ml dans deux boites de Pétri vides.
- On complète ensuite chacune des boites avec environ 20 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à 45±1°C.
- On laisse solidifier sur paillasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche à un rôle protecteur contre les contaminations diverses.
- la première boite sera incubée, couvercle en bas à 20°C, pendant 72 heures
- La seconde sera incubée couvercle en bas à 37°C, pendant 24 heures.

Dénombrement :

Il s'agit de dénombrer toutes les colonies, en tenant compte deux remarques suivantes :

1. Ne dénombrer que les boites contenant entre 15 et 300 colonies,
2. Le résultats sera exprimé par millilitre d'eau à analyser à 22° et 37°C. (**Lebres et al., 2002**)

b-3-2- Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo tolérants (fécaux) :

Ces méthodes sont décrites par (**Lebres et al., 2002**)

Test de présomption :**Technique :**

-A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement

- § 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- § 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- § 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham,

-on chasse le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum.

-L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture :

Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche),
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP qui figure en annexe 5.

Test de confirmation ou test de Mackenzie.

Technique :

-les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

-on chasse le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum.

-l'incubation se fait cette fois-ci au bain marie à 44°C pendant 24 heures.

Lecture :

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux, et
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole Escherichia Coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs.

Ma lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP en tenant compte du fait qu'Escherichia Coli est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44°C.

IV-4- Méthodes d'analyses physicochimiques:

a-Analyse physico-chimique de lactosérum, poudre du lait et produit fini :

a-1-Détermination de l'extrait sec total : (NFT : 04-207-Septembre, 1970).

But :

L'extrait sec d'un produit, c'est le pourcentage des matières sèches existant dans le produit résultant de la dessiccation de l'échantillon.

Principe :

Le principe repose sur l'évaporation de l'eau contenue au niveau de l'échantillon à analyser, sous l'effet d'une source de chaleur qui est dans ce cas de la lumière infrarouge.

Mode opératoire :

Dans la coupelle d'aluminium séchée et tarée, on pèse 2g de produit à analyser, après étalement.

La fin de l'opération de dessiccation donne un résultat qui s'affiche sur l'écran de l'appareil en pourcentage massique de matière sèche par rapport au total.

a -2-Détermination de la matière grasse : (AFNOR, 1986).

Principe :

La méthode acido-butyrométrique est basée sur le principe de l'élimination de la matière organique par addition de l'acide sulfurique. La matière grasse est ensuite séparée par centrifugation à chaud en présence de l'alcool iso amylique.

Mode opératoire pour les poudres :

On introduit 10ml d'acide dans le butyromètre puis on ajoute 8ml d'eau distillé ; on pèse 2.5g de la poudre et l'introduire dans le butyromètre puis ajouter 1ml d'alcool.

On bouche avec soin le butyromètre, on mélange par agitation latérale jusqu'à dissolution complète de la matière protéique et on porte dans la centrifugeuse pendant 5min à 1300 t/min.

Mode opératoire pour produit fini:

-On introduit dans un butyromètre de « GERBER » 10ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) à D=1,825 ;

-On ajoute lentement 11 ml de l'échantillon à analyser suivi de 1ml d'alcool iso amylique ;

-On bouche avec soin le butyromètre et on mélange par agitation latérale jusqu'à dissolution complète de la matière protéique ;

-on porte dans la centrifugeuse pendant 5min à 1300 t/min.

Expression des résultats :

A la fin de la centrifugation, on effectue la lecture directement sur le butyromètre selon la norme **NF-V04-210** : la matière grasse dissociée et moins dense, elle se rassemble en une couche claire et transparente, visible pour une lecture direct sur l'échelle du butyromètre. La teneur en matière grasse est donnée par la formule suivante :

$$MG \% = N_1 - N_2$$

Avec :

N₁ : la valeur atteinte par le niveau supérieur de la colonne du butyromètre (%).

N₂ : la valeur atteinte par le niveau inférieur de la colonne de butyromètre (%).

MG : la teneur en matière grasse exprimée en pourcentage ou en g/l.

a-3- Détermination du pH : (NF : V01-013).Principe :

Le pH est le potentiel chimique des ions hydrogène (H⁺) dans une solution, la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant

dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci, le potentiel de l'électrode est liée à l'activité des ions H^+ présents.

Mode opératoire pour les poudres :

- On prépare une solution tampon en mettant 2 g d'échantillon complété avec 18 ml d'eau distillé.
- On introduit l'électrode directement dans cette solution et on attend jusqu'à la stabilité du pH.

Mode opératoire pour produit fini :

- Le pH mètre est étalonné ;
- On introduit l'électrode directement dans le produit à analyser et on attend jusqu'à la stabilité du pH.

Expression des résultats :

Lire directement les résultats sur le cadran du pH mètre. Les mesures sont exprimées en unités de pH, à la température de 20°C.

a-4-Détermination de l'acidité titrable : (NF T 90-006).

Principe :

L'acidité est déterminée par titrage à l'hydroxyde de sodium NaOH (N/9), en présence d'indicateur coloré (phénolphtaléine). Cette acidité est la quantité d'acide lactique libérée par la fermentation du lactose en présence des bactéries lactiques. Elle exprimée en degré Dornic (°D) qui correspond à 0.1g d'acide lactique par litre d'échantillon.

Mode opératoire pour les poudres :

- On prépare une solution tampon en mettant 2 g d'échantillon complété avec 18 ml d'eau distillé
- A l'aide d'une pipette de 10ml, on verse dans un Erlen Meyer 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- On ajoute une à deux gouttes de phénolphtaléine (1%) ;
- On titre le mélange par la solution de soude « NaOH » (N/9) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose pâle.

Mode opératoire :

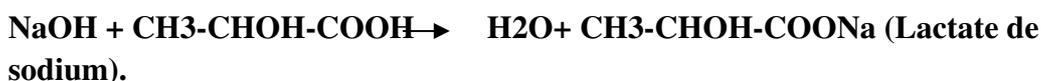
-A l'aide d'une pipette de 10ml, on verse dans un Erlen Meyer 10ml de l'échantillon à analyser ;

-On ajoute une à deux gouttes de phénolphtaléine (1%) ;

-On titre le mélange par la solution de soude « NaOH » (N/9) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose pale.

Expression des résultats :

La réaction chimique qui se déroule est la suivante :



On détermine la quantité de soude à utiliser et en multipliant cette valeur par 10, on trouve le degré Dornic correspondant $A = V \times 10$

Avec :

A : Acidité titrable, en degré °D.

V : Volume de la solution sodique utilisé pour le titrage, en **ml**.

a-5-Détermination de la teneur en protéines "Méthode de Kjeldahl": NF V 03-050

Principe:

Le principe de la méthode est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et dosé après déplacement en milieu alcalin et distillation sous forme d'ammonium.

- Minéralisation:

- Introduire dans un matras de minéralisation propre et sec 15 g de sulfate de potassium, 1 ml de solution de sulfate de cuivre, environ 5ml de l'échantillon et 25 ml d'acide sulfurique pur.
- Appliquer un chauffage progressif : d'abord une attaque à froid pendant 15 min jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures;
- Quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée;

- Distillation

- La distillation se fait dans un distillateur automatique où l'ajout de 20 ml de NaOH à 35% dans le matras et 25% d'acide borique dans une fiole de 250 ml est réalisé ;
- Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyle).
- Le débit de distillation doit permettre de recueillir environ 150 ml de distillat.

- *Titration:*

Titrer le contenu de la fiole conique avec l'acide chlorhydrique 0.1N à l'aide d'une burette. Le point final de titrage est atteint à la première trace de rose dans le contenu.

- *Mode de calcul:*

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante:

$$N(\%) = \frac{(14 \times (Vs - Vb) \times Norm)}{m} \times 100$$

Vs : volume de HCL nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon (ml)

Vb : volume de HCL nécessaire pour titrer le blanc (ml)

Norm : normalité de la solution de HCL

m : masse de l'échantillon (g)

la teneur en protéines est calculée de la manière suivante :

Teneur en protéines= N×6,38

b-Analyses physico chimique de l'eau :

b-1-valeur de titre alcalimétrique simple(TA) :

But :

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en hydroxydes et carbonates.

Principe :

La méthode est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire :

Dans un bécher de 200 ml on verse 10 ml d'eau à analyser puis on ajoute deux gouttes de phénol phtaléine qui un indicateur coloré (de coloration transparente).

S'il n'y a pas un changement de couleur donc il y a absence de bases dans l'eau, dans ce cas : TA=0.

Si la couleur varie vers un rose violet la réaction est positive, donc on fait une titration par le H₂SO₄ (0.02N) en agitant constamment, et ce ci jusqu'à décoloration complète de la solution. Puis on lit le volume du H₂SO₄ à partir de la burette qui correspond à la valeur de TA.

$$TA (^{\circ}F) = V \times 10$$

Avec V : le volume nécessaire pour décoloration de la solution.

b-2-valeur de titre alcalimétrique complet TAC :But :

Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

Principe :

La méthode est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire :

On utilise l'échantillon traité précédemment auquel on ajoute deux gouttes en méthyle orange. On titre avec la même solution acide H₂SO₄ jusqu'au virage du jaune orangé au rouge orange.

Expression des résultats :

Soit V le volume d'acide à 0.02 N versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0.5 ml.

$$TAC (^{\circ}F) = V \times 10 - 0.5$$

b-3-Valeur de titre hydrométrique (TH) :But :

Le TH correspond à la teneur de l'eau en ions calcium et magnésium, cette teneur porte le nom de dureté totale qui correspond à la somme de concentrations de ces deux ions.

Principe :

Il repose sur le titrage avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA), solution de pH= 10, l'indicateur coloré noir ériochrome T donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions de calcium et de magnésium.

Lors du titrage, l'EDTA réagit d'abord avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} libre en solution puis au point d'équivalence avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} combinés. Les liaisons des ions avec le réactif sont libérées et il va se retourner à sa couleur initiale (bleu). S'il y a absence des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} dans l'eau le réactif garde sa couleur bleue, et le TH=0.

Mode opératoire :

On prend 100ml d'eau à analyser puis on ajoute 25ml de solution tampon (NH_2OH) à pH=10 et quelques gouttes de l'indicateur coloré noir ériochrome T, la solution doit se colorer en violet ; on titre ensuite avec l'EDTA tout en agitant jusqu'au virage du violet au bleu. Le point final du virage est atteint lorsque la dernière nuance violette a disparue.

$$\text{TH } (^{\circ}\text{F}) = V \times 4$$

V : le volume nécessaire à la titration, donc $\text{TH} = V (^{\circ}\text{F})$.

La dureté totale est exprimée en degré français ($^{\circ}\text{F}$).

b-4-valeur de chlorure dans l'eau :

But :

Les chlorures ou Cl^- correspond à la teneur de l'eau en chlore sous forme Cl^- ou NaCl.

Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre, par solution de nitrate d'argent (AgNO_3). Ce titrage est fait en présence de bichromate de potassium comme indicateur coloré. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Mode opératoire :

Dans un bécher de 250 on introduit 10ml d'eau à analyser puis on ajoute quelques gouttes de bichromate de potassium (K_2CrO_4) à 10% on titre avec la solution de nitrate d'argent à 0.1N jusqu'au virage du jaune au rouge brique.

Expression des résultats :

$$CL^- = V \times 10 \times 35.5$$

V : le volume nécessaire pour le titrage

Les chlorures sont exprimés en mg de Cl^- par litre d'eau mg/l.

b-5-Valeur de chlore libre CL_2 (l'eau de Javel) :But :

Cette méthode permet d'effectuer la mesure de la concentration pondérale du chlore libre dans l'eau.

Principe :

Détermination de la concentration du chlore libre par le comparateur de chlore à lecture directe.

Mode opératoire :

On prend une pastille de DPD+ 5ml d'eau à analyser si la couleur reste transparente donc absence de CL_2 dans l'eau, si la couleur devienne rose donc l'eau contient de l'eau de javel, et pour sa concentration on met le tube dans un comparateur qui contient des degrés de couleurs puis lire la valeur qui correspond à la même couleur de tube en mg/l.

c-Analyses physico-chimique du sucre :**c-1- Détermination du taux d'humidité :**

Le principe est le même que celui de l'extrait sec mentionné auparavant ; le taux d'humidité est calculé de la manière suivante :

$$H\% = 100\% - EST (\%)$$

c-2-Détermination de l'indice de Brix :Principe :

Détermination de la teneur des matières sèches solubles exprimées en degré de Brix.

Mode opératoire :

- On applique une petite prise d'essai sur le prisme du réfractomètre en veillant à ce que les prismes soient pressés l'un contre l'autre.
- La prise d'essai doit couvrir uniformément la surface du verre.
- On effectue la mesure conformément aux instructions opératoires de l'appareil utilisé.
- Lecture directe sur le réfractomètre.
- On prend comme résultat la moyenne arithmétique de deux déterminations.

IV-5-L'analyse sensorielle :

Un groupe d'individus est utilisé pour l'analyse sensorielle descriptive afin d'avoir des résultats cohérents et représentatifs.

■ Test de dégustation :

Le test de dégustation a été réalisé par 20 personnes, âgés de 5 à 52 ans dont 12 sont du sexe féminin et 8 du sexe masculin entre autre des spécialistes en dégustation au niveau de la laiterie de trèfle, et les autres sont des simples consommateurs.

Des formulaires pour l'examen organoleptiques ont été distribués menés d'une échelle de notation qui varie de 1 à 4, la distribution des notes est selon l'importance des différents caractères organoleptiques, (voir annexe 11)

IV-6-Méthodes d'analyses rhéologiques :

Le dispositif expérimental utilisé est un rhéomètre rotatif de couette « physica Rhéolab MC1 (annexe 10) qui fonctionne soit à réaliser le cisaillement entre une surface solide immobile (stator) et une surface solide en rotation (rotor).

Les viscosimètres rotatifs permettent de tracer des rhéogrammes sur une gamme de contraintes ou de vitesses de cisaillement étendue

On rencontre deux modes de pilotage différents :

- Le pilotage en vitesse de rotation (déformation imposée) : on impose une vitesse angulaire de rotation et on mesure alors (force) résistant correspondant (sur le stator ou sur rotor) ;
- Le pilotage en couple de rotation (contrainte imposée) : on applique un couple moteur au rotor et on mesure la vitesse de rotation correspondante. (**Scher, 2006**)

Le « **physica MC1** » permet de déterminer la viscosité des différents fluides, courbes d'écoulement et modèles rhéologique décrivant le comportement. Et aussi il offre la possibilité de réaliser divers test sur le fluide. (voir annexe 10).

Le rhéomètre est piloté par un micro-ordinateur permettant le traitement et l'analyse des résultats obtenus, et cela par un logiciel (**SOFTWARE RHOVE «US200** »).

Le choix du système de mesure dépend de la nature du fluide à tester : liquide à faible viscosité, suspension, émulsion et pate

Pour notre produit on a choisis le système Z2. (voir annexe 10).

Le rhéomètre est lié à un thermostat, ce qui permet de régler la température à 20°C.

On fait verser le contenu du pot de l'échantillon à tester, on l'introduit délicatement dans l'interfère du système de mesure.

L'échantillon subira ensuite les différents tests que l'on choisit à l'aide du logiciel (**SOFTWARE US 200**).

IV-7-L'étude technico économique :

L'étude économique est faite pour nos deux recettes choisies par le test organoleptique comparé avec une recette de base sans lactosérum, en tenant compte du cout des matières premières pour la production.

Pour obtenir le cout d'un pot de yaourt (1L), on a calculé pour chaque recette les quantités des matières premières en unités de Kg dans un litre de yaourt et on obtiendra le prix de revient.

Chapitre V
Résultats et
discussion



Chapitre V : Résultats et discussions

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents résultats de cette étude, il est structuré comme suit :

- Analyses microbiologiques des matières premières
- Analyses physico-chimiques des matières premières
- Formulation du produit laitier aromatisé à base de lactosérum
- Analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du produit fini
- Etude technico-économique

V-1- Analyses physico-chimiques et microbiologiques

Matières premières :

Il est généralement connu qu'on ne peut faire un produit de qualité avec une mauvaise matière première, ce qui nécessitera un contrôle microbiologique strict avant toute préparation.

a-Analyses microbiologiques du lactosérum en poudre :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.1.

Tableau V.1 : Résultats des analyses microbiologiques du lactosérum en poudre.

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Normes (J.O.R.A)
Germes recherchés				
Germes totaux	00	00	00	2×10^5
Coliformes	00	00	00	25
Coliformes thermo tolérants	00	00	00	ND
Staphylococcus aureus	Abs	abs	abs	abs/0.1g
Salmonella	Abs	abs	abs	abs/100g
Levures et moisissures	00	00	00	ND

ND: Non Déterminé

Discussion :

Les résultats que nous avons obtenus, certifient que le lactosérum ainsi utilisé est de très bonne qualité microbiologique, nous n'avons observé la présence d'aucun germe pathogène recherché (*Salmonella* et *Staphylococcus aureus*)

Ainsi que les indicateurs de contamination fécale sont aussi absents (coliformes fécaux).d'après **Lebres (2004)** leur présence dans les aliments transformés indique souvent une déféctuosité du traitement thermique.

b-Analyses microbiologiques de la poudre de lait (0% MG) :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.2.

Tableau V.2 : Résultats des analyses microbiologiques de la poudre de lait (0% MG)

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Normes (J.O.R.A)
Germes recherchés				
Germes totaux	00	00	00	2×10^5
Coliformes totaux	00	00	00	1
Coliformes thermo tolérants	00	00	00	ND
Staphylococcus aureus	Abs	abs	abs	Abs/0.1g
Salmonella	Abs	abs	abs	Abs/100g
Levures et moisissures	00	00	00	ND

NB. Les résultats obtenus pour les deux poudres 0% et 26% sont les mêmes.

Discussion :

Les résultats représentés sur le tableau V. 2, mettent en évidence la bonne qualité microbiologique des poudres de lait (0% et 26%MG) utilisés dans la préparation de notre produit. On remarque l'absence totale des germes totaux à 30°C, ainsi que les coliformes.

D'après **Beerens et Luquet, (1987)**, la présence des coliformes en industrie laitière indiquerait une faute hygiénique relevant soit la mauvaise qualité de la poudre de lait utilisée, soit de l'impropreté du matériel de fabrication ou de conditionnement, leur absence est due aux bonnes conditions de transport et de stockage.

c- Analyses microbiologiques du sucre :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.3.

Tableau V.3: Résultats des analyses microbiologiques du sucre

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Normes (J.O.R.A)
Germes recherchés				
Germes totaux	00	00	00	2
Coliformes totaux	00	00	00	25
Coliformes thermo tolérants	00	00	00	ND
Staphylococcus aureus	Abs	abs	Abs	Abs/0.1g
Salmonella	Abs	abs	Abs	Abs/100g
Levures et moisissures	00	00	00	1

Discussion :

Une absence totale des germes dénombrés et des germes recherchés dans les sucres analysés sont représentés dans le tableau V.3. Cela confirme la salubrité du sucre utilisé ainsi que les bonnes conditions d'entreposages et de stockage pratiquées au niveau de l'industrie.

d- Analyses microbiologiques de l'eau de processus :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.4.

Tableau V.4: Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de processus.

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Normes (J.O.R.A)
Germes recherchés				
Germes totaux à 30°C/ml	00	00	00	20
Coliformes thermo-tolérants/100ml	Abs	abs	Abs	Abs
Coliformes totaux à 37°C/100m	00	00	00	<10

Discussion :

On remarque l'absence des coliformes fécaux qui sont responsables d'une contamination fécale.

Les résultats des analyses de l'eau de processus indiquent que l'eau est de qualité microbiologique satisfaisante, voir elle a subit les traitements chloration nécessaires avant son utilisation dans le processus de fabrication.

2- Résultats et interprétation des analyses microbiologiques des produits finis formulés:

Les résultats sont présentés dans le tableau V.5.

Tableau V.5 : Résultats des analyses microbiologiques des produits finis (yaourt).

Recettes	Recette 3	Recette 4	Normes (J.O.R.A)
Germes			
Coliformes thermo-tolérants	00	00	1
Staphylococcus aureus	00	00	10
Salmonella	Abs	Abs	Abs
Levure	00	00	<10
Moisissures	Abs	Abs	Abs

Discussion :

Les résultats des analyses microbiologiques représentés sur le tableau V.5 indiquent une absence totale des germes indicateurs de contamination et pathogènes pour les deux recettes choisies, ce qui traduit la bonne qualité des matières premières ainsi que le bon déroulement des préparations.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués par la présence de lactosérum, d'où d'après **Spinnler (1998)**, qu'à partir des protéines du lactosérum, il est possible de purifier deux protéines ayant un intérêt industriel : la lactoferrine et la lactoperoxydase. Ces deux entités ont un pouvoir antimicrobien marquant. La lactoferrine doit, en grande partie, garder son capacité à chélatier le fer indispensable à la croissance de certaines bactéries comme *E. coli*. La lactoperoxydase, par son activité enzymatique, conduit à la synthèse d'hypothiocyanate dans les milieux biologiques (lait, salive, etc.), cette molécule provoque une désorganisation des membranes cytoplasmiques et entraîne la lyse bactérienne.

D'autre part, l'acide lactique qui se produit durant la croissance des bactéries lactiques cause une acidification et peut avoir des effets antimicrobiens au sein des produits fermentés dans lesquels il s'accumule (**Pétry, 2001 et Bergmaier, 2002**).

Selon Vignola et al., (2002) le traitement thermique du lait sucré détruit les levures et les moisissures homophiles présentes dans le sucre. Toutefois, ce traitement thermique permet aussi de détruire tous les germes pathogènes indésirables (**Loones, 1994**).

V-1-2 Analyses physico-chimiques

1- Matières premières :

a- lactosérum :

Tableau V.6 : analyses physico-chimiques du lactosérum en poudre

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Moyenne	Normes Trèfle
Paramètres					
pH	6.3	6.2	6.4	6.3	6.3
Matière grasse %	Traces	traces	traces	Traces	1-2
Extrait sec total %	97.1	96.5	96.7	96.76	95-97
Humidité%	2.9	3.5	3.3	3.23	3-5
Acidité (°D)	15.5	16	16.7	16.06	15-17

Discussion :

D'après les résultats obtenus pour les trois échantillons prélevés de la poudre de lactosérum, on remarque la conformité des résultats par rapport aux normes interne de l'industrie de trèfle, on peut déduire que la poudre du lactosérum utilisé dans notre recette est de bonne qualité physico-chimique. Il est à noter que :

La valeur moyenne du pH du lactosérum est de 6.3, ce qui explique le caractère doux du lactosérum utilisé ;

La matière grasse est presque absente dans la poudre de lactosérum, elle était retrouvé sous forme de traces, d'après **Allais 1981** ; la teneur des lipides dans le sérum est très faible, du fait que presque toutes les matières grasses sont exclues lors le processus de la fabrication de fromages.

b-Analyses physico-chimique de la poudre du lait (0% MG) :

Les résultats sont résumés dans le tableau :

Tableau V.7: analyses physico-chimiques de la poudre de lait (0% MG).

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Moyenne	Normes Trèfle
Paramètres					
pH	6.26	6.6	6.7	6.52	6.5-6.9
Acidité °D	18	17	18.5	17.83	16-19
Matière grasse %	0	0	0	0	0-0.5
Extrait sec total %	95.61	95.5	96.5	95.87	95-98
Humidité %	4.39	4.5	3.5	4.09	2-5

Discussion :

Les résultats représentés dans le tableau V.7, indiquent que les paramètres physico-chimiques de la poudre du lait (0% MG) sont conformes aux normes exigés, cela semble être due à la bonne conduite du traitement thermique et des autres opérations lors de la fabrication de la poudre et le bon entreposage au niveau de l'industrie. Selon **Vignola et al., (2002)**, la poudre de lait doit être conservée à l'abri de l'humidité, de l'air à une température inférieure à 30°C.

La bonne qualité physico-chimique qualifie la poudre à une reconstitution parfaite sans risque de formation de grumeaux insolubles.

c- Poudre de lait (26% MG) :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.8.

Tableau V.8 : analyses physico-chimiques de la poudre de lait (26% MG) :

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Moyenne	Normes Trèfle
pH	6.7	6.6	6.6	6.6	6.5-6.9
Acidité °D	15	15.5	16.5	15.66	15-17
Matière grasse %	26	26	26	26	26
EST %	95.4	96.5	96	95.96	95-98
ESD %	69.4	70.5	70	69.96	69-72
Humidité %	4.60	3.5	4	3.83	2-5

Discussion :

Il est à signaler que l'extrait sec total (EST) et l'extrait sec dégraissé (ESD) sont à des taux respectivement de 95.96 et 69.98 %, ceci indique que le lait est riche en éléments nutritifs (protéines, lactose, matière grasse ...), cela donne au yaourt une bonne consistance et une bonne texture.

En effet, les valeurs du pH, acidité, matière grasse ainsi que l'humidité pour la poudre du lait (26 % MG) répondent aux normes exigées par l'industrie.

d- Sucre :

Les résultats sont présentés dans le tableau V.9.

Tableau V.9 : analyses physico-chimiques du sucre.

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Moyenne	Normes Trèfle
Paramètres					
Humidité %	0.3	0.2	0.6	0.36	0.2-1
Brix (°)	52	51	52	51.66	50-52

Discussion :

Les résultats exprimés dans le tableau V.9 indiquent que la qualité du sucre utilisé est bonne de point de vue physico-chimique ; toutes les valeurs du taux d'humidité ainsi que celles de l'indice de Brix sont comprises dans les normes internes de l'unité.

e- Eau de processus :

Les résultats sont regroupés dans le tableau V.10.

Tableau V.10 : analyse physico-chimique de l'eau de processus :

Echantillons	ECH1	ECH2	ECH3	Moyenne	Normes Trèfle
Paramètres					
TA (°F)	0	0	0	0	0
TAC (°F)	27.90	28	27	27.33	<29
TH (°F)	16	14	14	14.66	10-15
pH	7.1	7.3	7.5	7.3	6.5-8.2
Chlore libre Cl ₂ mg/l	0	0	0	0	0
Chlorure Cl ⁻ mg/l	71	70	71	70.66	<71

Discussion :

Les résultats du tableau V.10 concernant le contrôle physico-chimique de l'eau de processus indiquant la conformité de cette eau aux normes établis par l'unité de trèfle.

Les valeurs de TA et du Cl₂ sont toutes nulles, la moyenne des valeurs du TAC, TH, Cl⁻ et pH sont situées dans l'intervalle de la norme. Alors, l'eau utilisée dans la préparation du yaourt est de bonne qualité physico-chimique.

Cette bonne qualité physico-chimique de l'eau est due au traitement qu'a subi avant son utilisation dans le processus de fabrication voir, la filtration, l'adoucissement sert à éliminer les sels de calcium et le magnésium par l'addition de carbonate de sodium et de la chaux.

2- Analyses physico-chimiques du produit finis yaourt :

Les résultats sont regroupés dans le tableau V.11.

Tableau V.11 : analyse physico-chimique du produit finis yaourt :

Paramètres \ Echantillons	ECH3	ECH4	Normes Trèfle
Acidité °D	76	115	80-115
Matière grasse %	1.9	1.9	2-3.2
EST %	23.85	22.01	20-23

Discussion :

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, on remarque la conformité de l'acidité titrable aux normes interne de l'industrie de trèfle. Ce qui témoigne un bon déroulement de la fermentation lactique dans les durées suivantes.

Cependant, la quantité relativement élevée de l'EST a été enregistrée, ceci est probablement lié à la quantité supplémentaire du lactosérum ajoutée. Ce taux supérieur aux normes dans la recette 3 comparativement à celle du yaourt de la recette 1 (sans lactosérum) semble être en relation avec la différence entre les quantités d'ingrédients utilisés dans les différentes recettes.

Parallèlement, un taux déficitaire en MG a été aussi quantifié dans les deux recettes qui ne se situent pas dans l'intervalle des normes. La présence du lactosérum dans la recette n°3 peut diminuer le taux de la matière grasse, ainsi que sa présence avec la poudre de lait (0% MG) dans la recette n°4 a influencé le pourcentage des corps gras.

V-2 Essais de formulation des yaourts :**V-2-1 Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques dans les recettes préliminaires :**

Tableau V.12 : résultats des différents paramètres physico-chimiques des échantillons de yaourt formulé :

Echantillons Paramètres	ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5
pH	4.18	4.85	4.39	4.22	4.37
Acidité °D	100	65	76	115	97
EST %	22.90	24.90	23.85	22.01	21.63
Matière grasse %	3.12	2.99	2.86	1.9	1.9
ESD%	19.9	21.9	22.45	20.11	19.73
Taux de protéine%	3	2.81	2.75	2.86	2.58

Discussion :

Des constatations ont été faites sur l'ensemble des échantillons :

- Pour la première recette le pourcentage de la matière grasse du yaourt est à de 3.12 %, cette valeur est relative à l'utilisation de la poudre de lait (26 % MG),
- Les 2^{ème} et 3^{ème} recettes contiennent moins de matière grasse par rapport à la 1^{ère} ; toutes les trois étant préparées à base d'une poudre de lait de (26 % MG), mais les 2^{ème} et 3^{ème} recettes renferment la poudre de lactosérum (0 % MG) ce qui explique la réduction de la matière grasse dans ces deux recettes ;
- Le pourcentage de la matière grasse dans les 4^{ème} et la 5^{ème} recette a connu une régression au 1.9 %, cela est due à l'utilisation de la poudre de lait (0% MG) et la poudre du lactosérum avec des proportions croissantes tout en diminuant le taux de poudre de lait (26 % MG).

Pour mieux situer ces résultats et selon **Vignola et al., (2002)**, on peut dire que :

Il est possible d'augmenter le pourcentage de solides non gras dans la formulation à yaourt par l'addition de poudre de lait écrémée ou de lait écrémé évaporé ou par l'addition de lactosérum ou poudre de lactosérum ;

L'addition de solides non gras a pour rôle d'augmenter la proportion en caséines et protéines de lactosérum, dites protéines sériques, et qui sont l' α -lactalbumine, la β -lactoglobuline et K-caséine ;

Les yaourts peuvent avoir un contenu en gras se situant entre 0.1 et 10 %. En l'occurrence, on trouve généralement sur le marché des yaourts ayant un contenu entre 0.1 et 3.5% de matière grasse.

On remarque aussi que la valeur la plus basse du pH est celle de la première recette, et ça s'explique par l'absence de la poudre de lactosérum doux.

Concernant le taux de protéine, on note que la plus grande valeur dans la 1^{ère} recette puisqu'elle est basée principalement à la poudre du lait (26% MG), qui est riche en protéine et la plus faible valeur dans la 5^{ème} recette malgré qu'elle ne diffère pas beaucoup de la 4^{ème} recette mais, elle contient plus de la poudre de lactosérum et moins de la poudre du lait par rapport à cette dernière.

Pour les autres recettes on remarque une légère diminution des pourcentages des protéines par rapport à la 1^{ère} recette, cela est dû à la différence entre les ingrédients des recettes, dont l'incorporation de la poudre de lactosérum et par conséquent la diminution de la poudre de lait

V-3 Résultats et interprétation des évaluations des analyses sensorielles :

L'homme a toujours voulu apprécier sa nourriture selon des critères subjectifs, dépendant de son mode de vie ou de sa santé. Pour cela, l'analyse et la métrologie sensorielles consistent les seules analyses qui mettent au point l'Homme non seulement comme expérimentateur ou praticien mais également comme générateur de données.

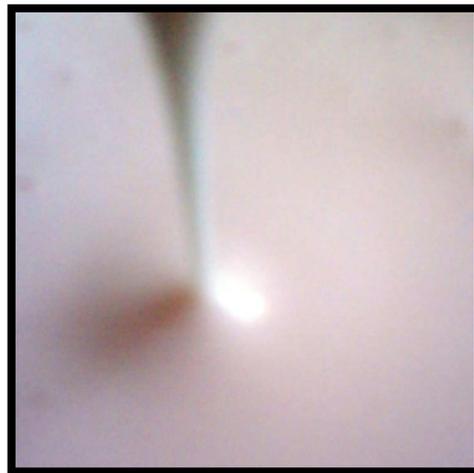
Le test de dégustation effectué sur les cinq échantillons, fait ressortir que les échantillons 3 et 4 ont été les plus appréciés en comparaison avec les autres échantillons (voir annexe 9).

Les secteurs présentés dans les figures ci-dessous (V.1 à V. 4) interprètent clairement les résultats de l'analyse sensorielle des paramètres : arôme, goût, aspect en bouche et l'aspect, on se référant sur la qualification « très bon ».

Les figures ci-après illustrent les textures des différentes formulations



Essai 1



Essai 2



Essai 3



Essai 4



Essai 5

Figure V.1: Texture des différentes formulations

V-3-1 L'arome :**Interprétation et discussion :**

Selon le barème de notations établi pour l'analyse organoleptique et concernant le paramètre « arôme », trois échantillons ont été sélectionnés comme très bon à savoir, l'échantillon n° 1 (40%), suivi par l'échantillon n°2 (30%) et de l'échantillon n°3 (20%). Le reste des échantillons a été écarté par la majeure partie du jury. Seulement 5% ont été jugés comme très bon.

Concernant la valeur du pourcentage la plus élevée attribuée pour l'échantillon n°1 est probablement due à la matière grasse qu'il renferme (3.12%), elle est issue principalement de la poudre du lait de 26% MG. Ainsi les échantillons 2 et 3 ont été considérés comme très bons avec un pourcentage non négligeable d'où les taux de la matière grasse sont respectivement 2.99 et 2.86 %, et concernant les deux derniers échantillons ont le même taux de la matière grasse 1.9% qui se traduit par l'incorporation de la poudre de lactosérum ainsi la poudre du lait 0%. Cette remarque nous permet de constater le rôle de la matière grasse dans la perception de l'arôme.

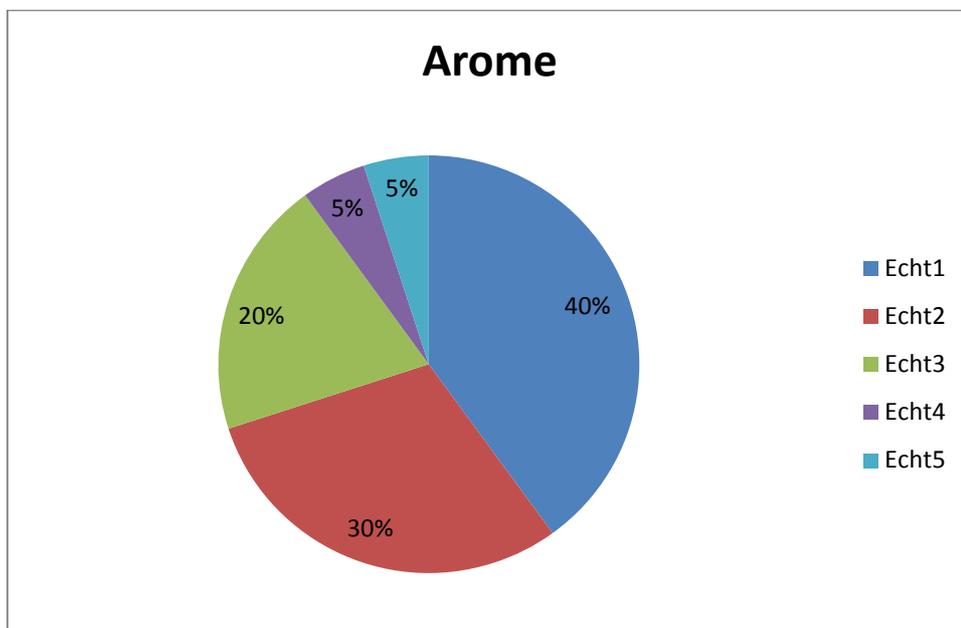


Figure V.2: secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'arome des différents essais

V-3-2 Le goût :**Interprétation et discussion :**

Le goût, paramètre essentiel qui joue un rôle très important dans l'évaluation sensorielle, a été considéré comme « très bon » dans l'échantillon n°3 avec un pourcentage très intéressant (35%), suivi de l'échantillon n°4 avec 30%. Les taux de 20% et 10%, les pourcentages trouvés pour l'échantillon 1 et 2 étaient estimés respectivement comme bon et moyen concernant le goût.

Ces résultats mettent en évidence l'influence de la matière grasse ainsi que l'incorporation de la poudre du lactosérum dans la préparation des recettes ; l'échantillon n°3 était considéré comme meilleur par rapport aux autres, vu sa richesse en matière grasse 2.86% et en poudre de lactosérum. Cette dernière apparaît bien dans le 4^{ème} échantillon ; malgré qu'il est à 1.9% MG, il a été considéré comme très bon avec un pourcentage de 30% cela est dû à l'utilisation de la poudre du lactosérum et la poudre du lait 0% dans sa préparation.

La recette n°5 est estimée comme moyenne concernant le goût.

Compte tenu des résultats obtenus, on peut déduire que la matière grasse et la poudre de lactosérum permettent d'améliorer d'une manière remarquable le goût du yaourt et selon **Vignola et al., (2002)**, la matière grasse a un effet sur l'onctuosité du produit. De plus, elle masque les goûts acides et améliore les saveurs : il est donc plus facile de détecter les goûts acides pour un produit à faible pourcentage de matière grasse.

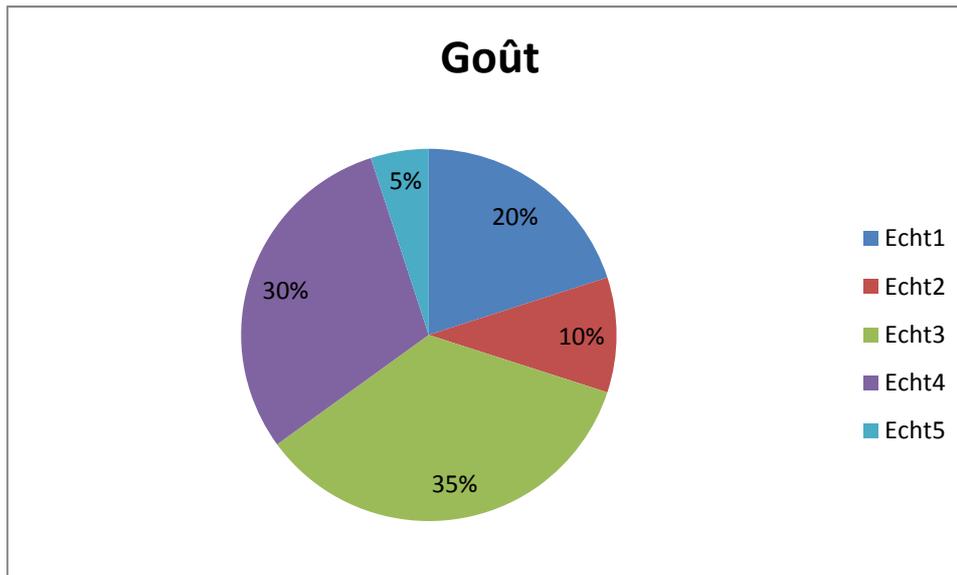


Figure V.3: secteur du pourcentage de la note « très bon » pour le goût des différents essais

V-3-3 l'aspect en bouche :

Interprétation et discussion :

Le pourcentage le plus élevé a été attribué à l'échantillon n°3, suivi de l'échantillon n°4 à des valeurs successives de 35 et 25%. Ces valeurs, relativement élevées par rapport aux autres échantillons concernant l'aspect en bouche sont les conséquences des caractères lisse, épais et homogène des yaourts qui sont expliqués par l'absence de particules solides issus de la bonne homogénéisation et la bonne qualité de la poudre de lait, ainsi, le caractère épaississant fourni par la poudre de lactosérum utilisé peut jouer le même rôle (voir les propriétés fonctionnelles du lactosérum en annexe 8).

Des valeurs de 20 et 15% étaient attribuées respectivement pour les échantillons 1 et 2 qui étaient qualifiés comme crémeux, c'est la conséquence de la teneur en matière grasse 3.12 et 2.99% qu'ils renferment.

Le cinquième échantillon a présenté un pourcentage faible ; son aspect en bouche était considéré comme fluide, moins épais et même piquant. Ce jugement est en relation avec la quantité excessive du lactosérum et la faible teneur en poudre de lait 26% qui contient les caséines (protéines de structure). **Vignola et al., (2002)** rapporte les limites dans la quantité de poudre du lait écrémé ou de poudre du lactosérum qu'on

peut rajouter au mélange, car l'ajout d'une quantité excessive entrainera l'apparition d'une texture râpeuse en bouche.

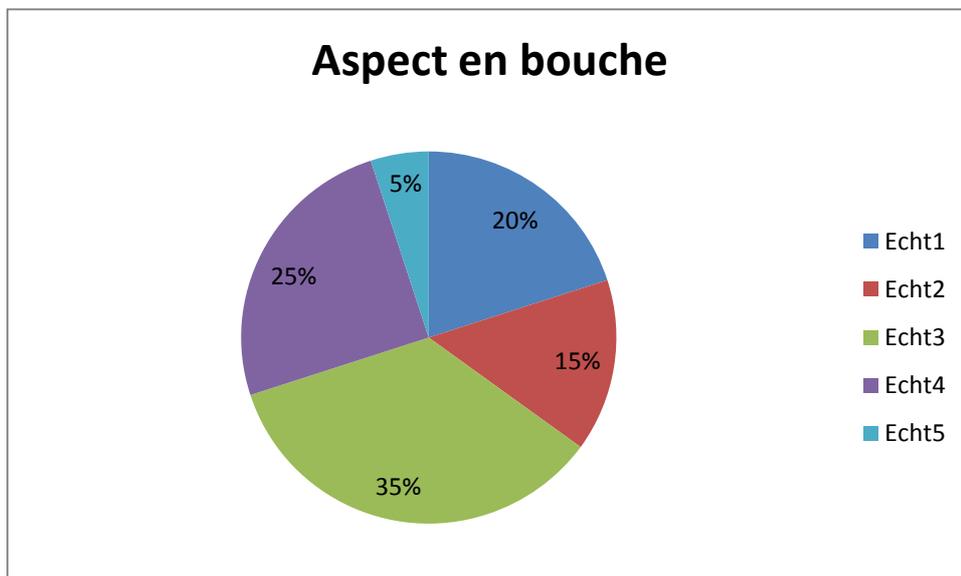


Figure V.4 : secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'aspect en bouche des différents essais

V-3-4 l'aspect :

Interprétation et discussion :

L'ensemble des échantillons étaient notés « très bon » à des pourcentages proches (15 à 25), à l'exception, de l'échantillon n°3 avec 35%, c'est le résultat de sa constitution riche non seulement en matière grasse mais aussi en poudre de lactosérum qui donne des propriétés émulsifiantes au yaourt (**Morgan, 2001**). L'échantillon n°5 fait une autre exception avec 5% « très bon », ce dernier était considéré comme « moyen » à la raison de son aspect moins ferme, cela est dû non seulement à la forte concentration de la poudre de lactosérum mais aussi à la faible concentration de la poudre de lait 26%

On a remarqué aussi une absence de synérèse dans tous les échantillons, cela semble être la conséquence de son enrichissement par la matière sèche totale principalement de protéines du lactosérum et de la poudre de lait. L'homogénéisation a un rôle principal dans l'amélioration de l'aspect du yaourt, elle est indispensable pour éviter la remontée des corps gras pendant la coagulation et d'améliorer la rétention de l'eau et la fermeté du produit fini (**Mahaut et al., 2000**). Elle permet aussi d'augmenter la viscosité du yaourt et confère un aspect plus blanchâtre à celui-ci (**Béal et Sodini, 2003**).

D'après **Morgan (2001)**, les protéines du lactosérum sont solubles dans une large gamme de pH, ce qui permet de modifier la viscosité et la texture des produits acides, elles ont une très bonne capacité à la rétention d'eau. Il est à noter que le traitement thermique du yaourt peut améliorer la texture du yaourt par la dénaturation de plus de 85% protéines solubles (**Loones, 1994**).

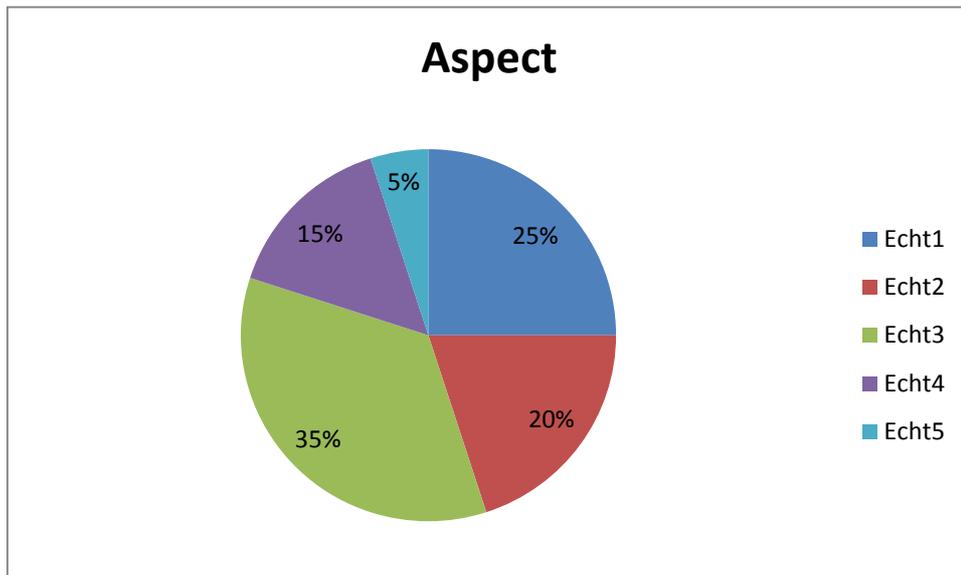


Figure V.5 : Secteur du pourcentage de la note « très bon » pour l'aspect des différents essais

En effet, les travaux de **Ksseler (1998)** montrent que les micelles de caséines d'un yaourt fabriqué à partir de lait chauffé forment des chainettes bien liées entre elles, tandis qu'elles forment des agrégats dans un yaourt fabriqué à partir de lait non chauffé, cette différence est essentiellement due au comportement des lactalbumines (figure V.6)

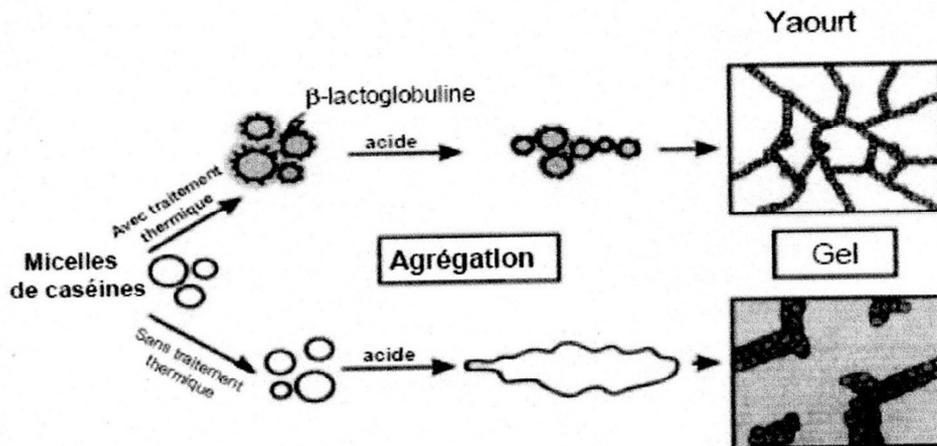


Figure V.6 : Effet du traitement thermique sur la microstructure du yaourt.
(Ksseler, 1998)

V-4 Résultats et interprétation du comportement rhéologique du yaourt :

Dans le but de mettre en évidence et suivre dans le temps les caractéristiques texturales et mécaniques des yaourts préparés et choisis par les tests organoleptiques, des analyses rhéologiques ont été réalisées

Les résultats sont représentés par les courbes ci-dessous :

V-4-1 Contrainte seuil d'écoulement :

La figure ci-après représente la variation de la déformation de cisaillement en fonction de la contrainte de cisaillement. La vitesse de déformation de cisaillement est également représentée sur l'axe vertical à droite, afin de contrôler l'écoulement. A partir de cette courbe, nous avons fait ressortir les valeurs de la contrainte seuil ($\tau_0 = 2.8\text{Pa}$ essai n°3) et ($\tau_0 = 2.33\text{Pa}$ n°4)

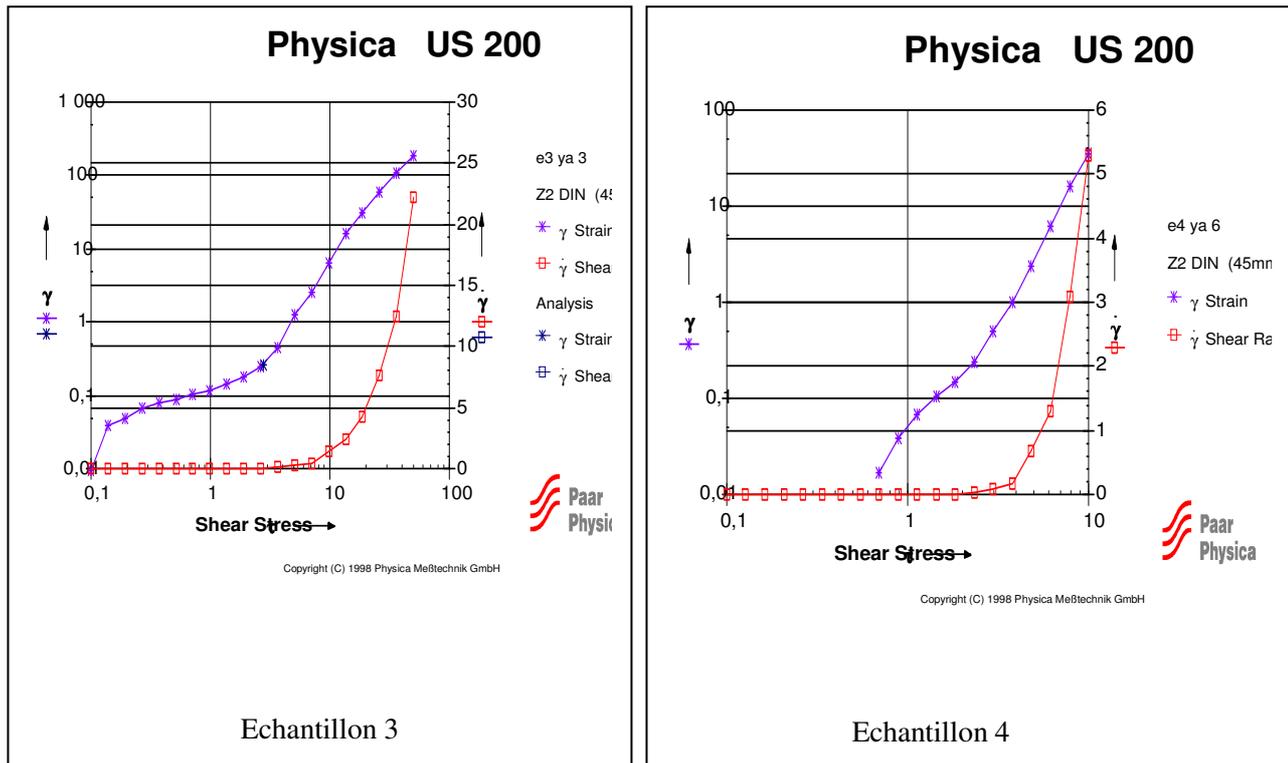


Figure V.7 : évolution de la déformation et de la vitesse de cisaillement en fonction de la contrainte seuil pour les essais n° 3 et 4

V-4-2 Courbe de dépendance au temps :

D'après ces figures, on remarque que la viscosité décroît légèrement dans le premier intervalle de temps équivalent pour l'échantillon 3 et l'échantillon 4 respectivement à des contraintes de cisaillement ($\tau = 2.8\text{Pa}$) et ($\tau = 2.33\text{Pa}$). Cette décroissance (relaxation) devient brutale lorsqu'on augmente la contrainte respectivement ($\tau = 50\text{ Pa}$) et ($\tau = 20\text{Pa}$)

Par la suite une régénération lente est observée au niveau du troisième intervalle lorsqu'on retourne à la première contrainte appliquée

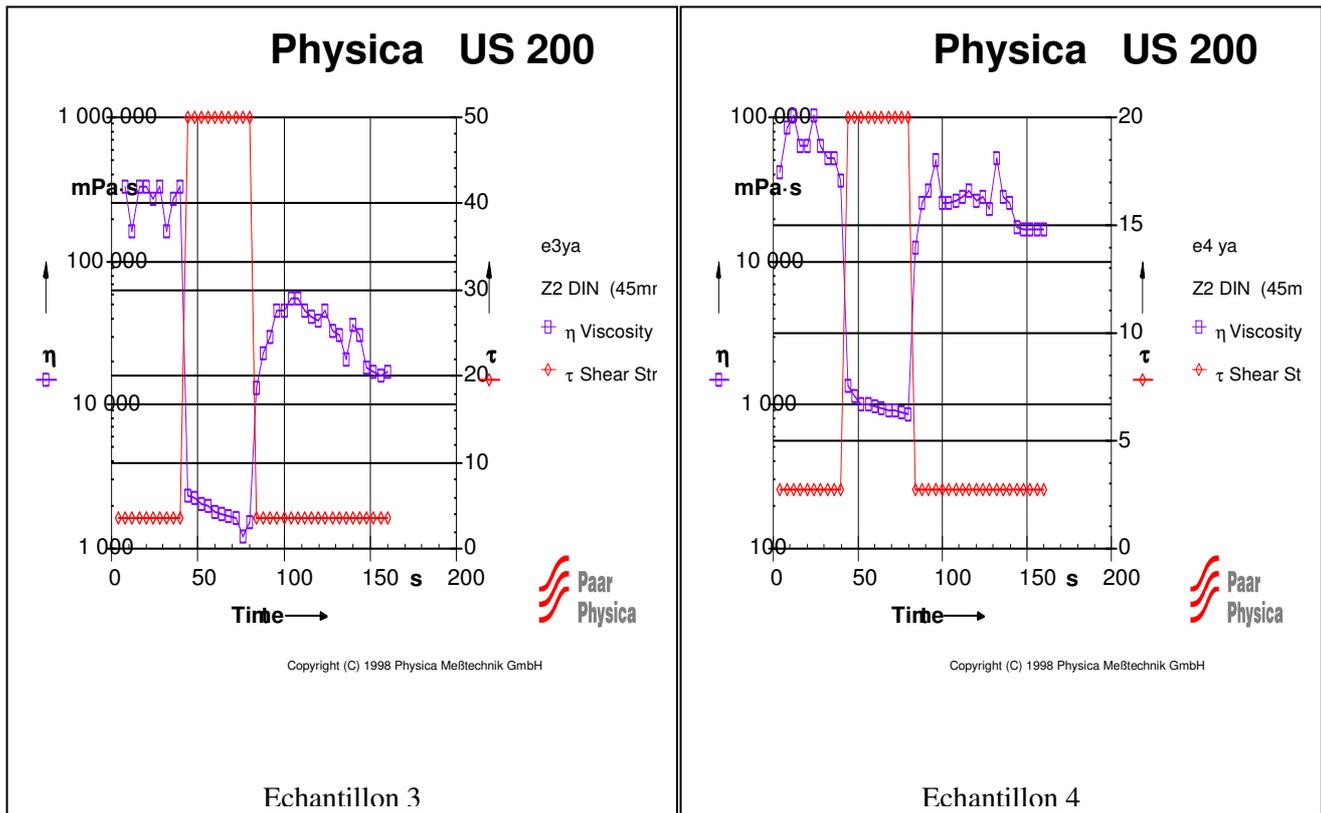


Figure V.8 : Variation de la viscosité et la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement des essais n°3 et 4

La chute de la viscosité lors de la sollicitation est due principalement à la dispersion rapide des gouttelettes ainsi qu'à leurs déformations relatives (phénomène de déstructuration).

La présence des forces de cisaillement domine les forces de Van Der Waals. Cet état structural fait que la résistance de ces gouttelettes à l'écoulement diminue sensiblement.

Cette structure se régénère par diminution de la contrainte jusqu'à un état d'équilibre correspondant à un état stationnaire de la viscosité, où les forces antagonistes (forces d'attraction et de répulsion) de cisaillement sont égales.

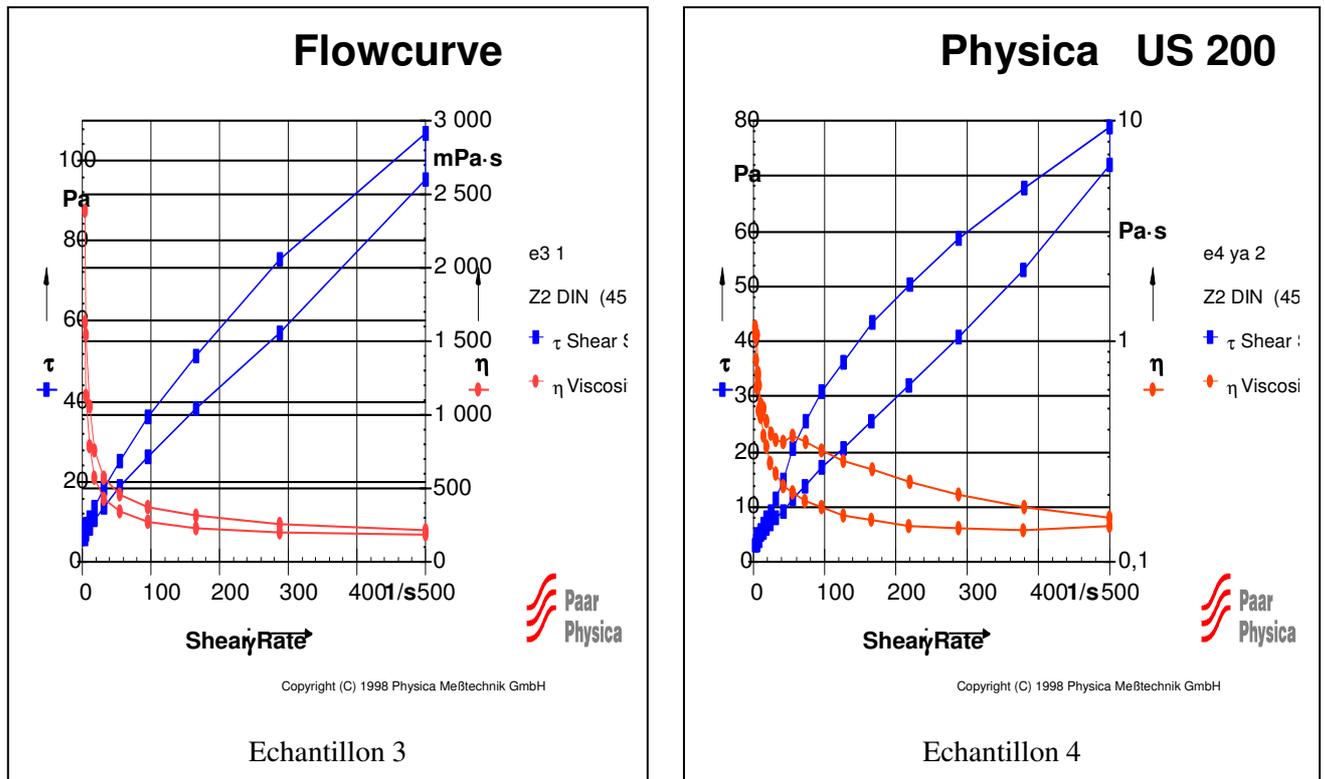
V-4-3 Courbe d'écoulement :

Figure V.9 : Variation de la viscosité et la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement des essais n°3 et 4

A partir de ces courbes, on peut déduire qu'il s'agit d'un fluide non Newtonien plastique (contrainte seuil déterminée auparavant). La diminution de la viscosité avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement est justifiée par le fait qu'il s'agit d'un fluide plastique rhéofluidifiant.

Dans ce type de fluides, les particules sont orientées dans le sens de l'écoulement, au fur et à mesure que la vitesse de cisaillement augmente ; cette vitesse de cisaillement va provoquer un affaiblissement de la résistance des gouttelettes à l'écoulement.

V-5 Résultat et interprétations de l'étude technico-économique des yaourts choisis :

Un produit est dit économique pour la clientèle lorsqu'il présente un bon rapport qualité/prix, et dit rentable pour le fabricant lorsque ce dernier a un coût d'exploitation faible et ne dispose pas de pertes.

Tableau V.13: prix de revient d'un pot de yaourt (1L) de la 1^{ère} recette.

1L				
Recette 1	Quantité	Unité	Prix U	Prix par pot
PD Lait 26 %	0,1200	Kg	320,00	38,40
Lait 0 %	0,0000	Kg	300,00	0,00
Sucre	0,100000	Kg	85,00	8,50
Arome	0,0010	Kg	850,00	0,85
Ferment 1	0,1250	U	6,00	0,75
Ferment 2	0,0020	U	290,00	0,58
Amidon	0,0000	Kg	200,0000	0,00
Lactosérum	0,0000	Kg	190,0000	0,00
Coût matières				49,08

Tableau V.14 : prix de revient d'un pot de yaourt (1L) de la 3^{ème} recette

1L				
Recette 3	Quantité	Unité	Prix U	Prix par pot
PD Lait 26 %	0,1050	Kg	320,00	33,60
Lait 0 %	0,0000	Kg	300,00	0,00
Sucre	0,100000	Kg	85,00	8,50
Arome	0,0010	Kg	850,00	0,85
Ferment 1	0,1250	U	6,00	0,75
Ferment 2	0,0020	U	290,00	0,58
Amidon	0,0050	Kg	200,0000	1,00
Lactosérum	0,0100	Kg	190,0000	1,90
Coût matières				47,18

D'après ces résultats, l'étude technico-économique effectuée sur les recettes sélectionnées par le test organoleptique (une recette ordinaire et une recette à base du lactosérum) ; ont obtenues les coûts de revient suivants :

Yaourt à boire aromatisé ordinaire : 49.08 DA

Yaourt à boire aromatisé à base de lactosérum : 47.18DA

On remarque une différence de 1.9 DA ce qui explique le gain économique apporté par ce remplacement à un certain pourcentage de la poudre de lait par la poudre du lactosérum doux, ce dernier revient moins cher par rapport au coût de la poudre du lait.

Conclusion



Conclusion générale

L'examen des motifs économiques oblige les industriels de tous les secteurs, et en particulier ceux de l'industrie agroalimentaire de trouver de nouvelles solutions pour minimiser les coûts de leurs produits.

Ainsi on a constaté qu'un manque d'application concernant la valorisation du lactosérum produit localement et surtout son incorporation dans les produits laitiers, nous ont incités d'atteler une tâche de recherche.

L'acceptation de nouveaux produits à base de lactosérum dépend de conditions suivantes :

- ✚ Utilisation potentielle de grandes quantités de lactosérum.
- ✚ De bonnes propriétés nutritionnelles.
- ✚ D'une production à bas cout de revient.
- ✚ D'une flaveur et d'une texture satisfaisante

Notre objectif principal avait porté sur la possibilité d'incorporer la poudre de lactosérum doux dans une formulation d'un yaourt à boire aromatisé. Par ailleurs, nous avons cherché par cette investigation à fournir un produit appréciable par le consommateur et acceptable économiquement.

Les résultats obtenus lors de ce travail ont montré que ce type de valorisation semble être très intéressant, puisque l'essai de formulation a permis d'obtenir un produit protéiné et économique par rapport aux prix existants sur le marché satisfaisant ; conforme aux normes microbiologiques et physico-chimiques établies par la réglementation Algérienne et appliquées dans le secteur des produits laitiers, ainsi qu'il est de préférence d'utiliser le concentré de protéine de lactosérum qui offre d'excellentes propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et biologiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Accolas J.P., Hemme D., Desmazeaud M.J., Bouillance C. et Veaux monique, les levains lactiques thermophiles : propriétés et comportement en technologie laitière, 1980.

AFNOR, contrôle de la qualité des produits laitiers : Analyses physico-chimiques ; 3^{éd}, 1986.

Allais C., Sciences du lait. Principes des Techniques laitières, SEPAIC, Paris, 4^{éd}, 1984.

Allais C., La valorisation du lactosérum, les bases et problèmes la technique laitière n°952, 1981.

Allais C., Science du lait : principe de technique, 3^{éd}, Paris, 1975 : 807p.

Anonyme, aliment vedette : yoghourt, Médias transcontinental, Québec, Canada 2007.

Anonyme, préambule au dictionnaire de rhéologie, groupe français de rhéologie, 1990.

Apria, utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animale, 1980 : 80p.

Béal et Sodini I., Fabrication des yaourts et des laits fermentés, Techniques de l'ingénieur, F6315, 2003.

Beerens H. et Luquet (F.M), guide pratique d'analyses microbiologique des laits et produits laitiers. Technique et documentation, Lavoisier, APRIA, 1987 :144p.

Bergmaier.D., Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de Lb. Rhamnosus RW-9595M d'un milieu à base de perméat de lactosérum, thèse de doctorat, Département des sciences des aliments et de la nutrition, Université Laval, Québec, 2002.

Bottazzi.V et Mercener.A. les laits fermentés par les bactéries lactiques, in « bactéries lactiques » volume 2, chapitre5, Loricon, 1994 :614p.

Boubchir k., Effets de l'enrichissement (avec des concentrés de protéines laitières) et des paramètres technologiques sur la qualité du yaourt fabriqué à la laiterie SOUMMAM D'AKBOU, mémoire de magister, université Mouloud Mammeri de Tizi ousou, 2011.

Boudier J.F et Luquet F.M., Utilisation du lactosérum en alimentation humaine et animale Edition techniques et documentation (Lavoisier), Paris, 1989 :441p.

Boudier J.F et Luquet F.M., Dictionnaire laitier, 2^{éd} tec & doc, Paris, 1981 : 220.

Bourgeois, CM. et Larpent. J.P. Microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentation alimentaire, éd. Technique et documentation Lavoisier, 2^{ème} édition. Condé sur Noireau, 1996.

Bourgeois, CM. ClaudeMarcele.JF et Zucca.J. Microbiologie alimentaire, 1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité 2^{ème} édition, Technique et documentation, Lavoisier, Paris, 1996.

Branger, fabrication de produits alimentaires par fermentation ; ed Doc, f 3500, 2003, 16p.

Chantal B., propriétés émulsifiantes et gélifiantes des protéines sériques polymérisées- Application dans la fabrication de yogourts, mémoire pour l'obtention du grade de maitre en science, 2000, université LAVAL.

Chaput G., Problèmes techniques et économiques posés par le stockage, le transport, la concentration et le séchage du lactosérum.

Couarraze G. et GROSSIORD J.L, initiation à la rhéologie TEC/DOC. Lavoisier, Paris 2000,3eme édition, 300 pages.

De witt J.N., Manuel de l'Enseignement sur le lactosérum et les produits de Lactosérum, 1^e éd., Euroean Whey Products Association, Bruxelles, Belgique, 2001.

Drissen

Duval J. Utilisation agricole des résidus laitiers, 1991.

Elisabeth V., Aliments et boisson, 3 ed, Doin, 2008.

Emilie F., Connaissance des aliments, ed Tec et Doc, Lavoisier, 397p, 2005.

Evelyne L., Hélène R., Alimentation théorique, ed Doin, 2005.

Faucounneau J., Aspects technologiques du lait de bovins. Conservation, transformation, options méditerranéennes- série séminaires- n°6 – 1989 :181-189.

Gisele I. Chammas, Rachad Salihan Georges Corrieu, Catherine Béal, Characterisation of lactic acid bacteria isolated from fermented milk "laban"; Elsevier International Journal of Food Microbiology, Science direct, 2006

Grattepanche F., Etude d'un système de pré fermentation en continu du lait par une culture mixte immobilisée fonctionnelle, Thèse de doctorat en sciences et technologie des aliments, université Laval QUEBEC, 2005 :156p.

Guiraud J.P., Microbiologie alimentaire, Dunod, Paris 652p, 1998.

Guyot, Les yaourts, D-L-C FOOD Tec, Paris, 1992:132p.

Hermier J., Lenoir J. et Weber F., Les groupes microbiens d'intérêt laitiers, CIPIL, 1992 : pp 30-50.

Imbeault N., Production d'acides gars par biodégradation anaérobie de perméat de lactosérum dans un bioréacteur en continu, mémoire présenté à l'université du Québec à Chicoutimi comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables, 1997 :121p.

Jacquet Violleau V. Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant : application au lactosérum, thèse pour obtention de doctorat en sciences des agroressources, institut national polytechnique de Toulouse, France, 1999.

Joffin J-N et Lyrat G., Microbiologie technique : Dictionnaire des techniques, ed C.R.P d'Aquitaine, 3^{eme} édition, 2001.

Journal officielle de la république Algérienne N° 35, 1998.

Ksseler H.G., The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition. In texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF Symposium. Vicenza, Italy, 1997, 93-105.

Kulozik U., Wilde J., Rapid lactic acid production at high cell concentrations in whey ultrafiltrate by *Lactobacillus helveticus*. Enzyme Microb Technol 1999: 24: 297-302.

Laurant C., Conservation des produits d'origine animale en pays chauds, 2^{eme} édition, 1974.

Lebres, Aziz D. et Boudjellab B., Manuel des travaux pratiques : maîtrise de la qualité microbiologique des aliments, Huitième cours national d'hygiène et de la microbiologie des aliments, 2007 : 48p.

Lebres, cours de microbiologie alimentaire, 2004.

Lebres J., Manuel des travaux pratiques : Microbiologie de laits et produits fermentés ; Institut pasteur d'Algérie, 2002.

Lefebvre J. INRA. Laboratoire de physico-chimie des macromolécules : Eléments de rhéologie ; 2003, 80 pages

Lefrancois Pierre et Françoise Ruby, Jean-Yves Dionne, le lactosérum, 2007.

Leveau J.Y et Bouix M., microbiologie industriel : les microorganismes d'intérêt industriel, éd : technique et documentation Lavoisier, 1993 :577p.

Loones A., laits fermentés par les bactéries lactiques ; in « bactéries lactiques », Volume II, chapitre IV. Loriga, 1994 : 614p.

Louache (V, L, N). Communiqué du 21^e congrée international du produits laitiers ; Paris : 1982.

Luquet (F, M), lait et produits laitiers, Vache, Brebis, Chèvre, Tome2 : les produits laitiers, transformation et technologie, 2^{eme} édition, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1990.

Luquet (F, M), laits et produits laitiers : Vache, Brebis, Chèvres : transformations et technologies ; édition Lavoisier ; Paris, 1985 : 637.

Macedo MG., Lacroix C., Gardner NJ., Champagne CP., (a). Effect of medium supplementation on exopolysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595M in whey permeate. Int Dairy, 2002: J 12: 419-426.

Mahaut M., Jeantet R., Brulé G. et Schuck P., les produits industriels laitiers, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 2000.

Manne E., Whey utilisation in food, revue laitière française, N° 411, 1982.

Maurice M., étude de la fabrication des yaourts en république populaire du Congo essais d'améliorations, thèse de doctorat en science alimentaire, université de CLERMONT II, 1985.

Morgan F., les protéines du lactosérum : Propriétés fonctionnelles, Texte paru dans l'égide n°23, juin 2001.

Morisset M., Brodeur C., Lamarche V., et Anemimo, Perspective pour l'industrie de la transformation laitière québécoise : rapport final, groupe Agéco, Québec, 111p, 2007.
Paci Kora P.K., interactions physico-chimiques dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur ? Thèse de doctorat, institut national agronomique, (INRA-INA PG), Paris, 2004:193p.

Paci kora E., interactions physico-chimique et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur ?, these de doctorat, institut national agronomique, PARIS, 2004.

Pétry S., Etude physiologique, biochimique et génétique de la production d'exopolysaccharides chez *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, thèse de doctorat de l'université de Caen/ BASSE Normandie, Institut de biochimie et de biologie appliquée, France, 2001.

Pointurier H., Gestion des matières dans l'industrie laitière, Paris Technique et documentation, 2003.

Poznanski S., Bednski W. et Jakbowski J. utilisation du lactosérum comme milieu de culture pour transformer le grain égrugé du colza selon un procédé microbiologique, 2003.

Prigent et franco, le lait : Etude d'un fermentateur lactique à membrane : Extraction par ultrafiltration et électrodialyse du lactate de sodium contenu dans le jus de fermentation de lactose supplémenté, C.N.R.S./E.N.S.C.R., avenue du Général-Leclerc- 35000 Rennes-Beaulieu-64,217-238, 1984.

Proot J. Les technologies propres appliquées aux industries agroalimentaires, Arist bourgogne, 2001 : 26p.

Renner E. Milk and dairy products in nutrition; chaft lider VERLAGE, 1983: 450p.

Sablonnière B. Technologie alimentaire, édition marketing S.A, 2001: 189p.

Saulnier F. Calco M. Humbert G. Linden G. composition minérale et organique de différents lactosérums industriels, analysée par électrophorèse capillaire, Lait 76, 1996.

Scher J. Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires 2006 technique de l'ingénieur F3300 v2.

Schiffrin EJ, et al., Immunomodulation of human blood cells following the ingestion of lactic acid bacteria. J Dairy Sci 78, 491-497(1995) in Elsevier, lait: Yaourt, laits fermentés, mission scientifique de syndifrais, INRA, Paris, 77-321, 358,1997.

Schkoda A. et al., Stability of texture of fermented milk products in relation to composition. In texture of fermented milk products and dairy dessert. Producing of the IDF symposium, Vicencia, Italy, 1997, 115-121.

Schuck P., Bouhallab S., Durupt D., Varielle P., Humbert J-P., Marin M., Séchage des lactosérums et derives: role du lactose et de la dynamique de l'eau, INRA, EDP sciences, France, 2004.

Singleton, Paul Dusart ; Bactériologie, Jean.4 eme edition. Paris. Donod, 1999, 415p.

Smith (B.R.), Mc BEAN (R.D.), Cox (G.C.). Separation of lactic acid from lactose fermentation liquors by reverse osmosis. J. Dairy Technol., 1977:32, 23-26.

Sougnéz M., L'évolution du séchage par atomization, Chim. Mag. 1, 1983 : 1-4.

Spinnler H-E., Technologie de transformation des produits agroalimentaire, technique d'ingénieur F 1170, 1998.

Tamone et al., microstructure of set-style yoghurt manufactured from cow's milk fortified by various methods. Food Microstructure, 1984, 83-92.

Terre S., 1986 propriétés technologiques nutritionnelles et physiologiques de *streptococcus thermophilus* et *lactobacillus bulgaricus* technique laitière et marketing.

Thomet A., Rehberger B., Liebefeld A., Wyss B., et Bisig W. obtention de sirop de sucre a partir de lactosérum, revue suisse, Agric, 2005 : pp 25-30.

Vignola C.L., Verge J. et Boutonnier J-L. Science et technologie du lait, transformation du lait, école polytechnique de Montréal, Canada, 2002.

Vignola C.L., Manuel de transformation du lait ; 2^{eme} édition, Technique et documentation Lavoisier, Paris, 2000.

Zabbek S., The effect of dairy waste liquors on some properties of sandy soils and plants. Zesz. Probl. Postep. Nauk Roln. 1968.

Zeynep B., Guzel-Seydim, Emel Sezgin, Atif C., Seydim, Influences of exopolysaccharides producing cultures on the quality of plain set type yogurt, Elsevier food control, science direct, 2005.



Annexes



Annexe 1

Historique de l'unité trèfle :

Crée en 1983, « trèfle » s'est lancé dans la production du yaourt brassé, avec une capacité de 3500 pots/heure. En 1990, une nouvelle conditionneuse d'une capacité 6300 pots /heure utilisant le même processus, a été acquise ainsi qu'une chaîne de fromage (pâte molle et pâte pressée). Après une période de stagnation, due à la situation économique et sociale en Algérie, « trèfle » a acquis en Avril 1998 sa première ligne de conditionnement en yaourt étuvé (Arcil 1), d'une capacité de production de 12500 pots /heure. Au mois de septembre de la même année, une deuxième ligne de conditionnement en crème dessert et yaourt aux fruits a été mis en service (Arcil 2).

L'année 2000 a vu l'acquisition d'une troisième ligne de conditionnement en yaourt étuvé (Arcil 3), d'une capacité de 12500 pots/heure.

C'est en 2001, que le nouveau complexe de l'entreprise a démarré avec le transfert des équipements initiaux et l'acquisition d'une quatrième ligne de production en yaourt étuvé (Arcil 4), d'une capacité de 40000 pots/heure, le tout alimenté par un atelier moderne de processus APV, entièrement automatisé, portant la capacité totale de production à 77500 pots/heure.

En 2002, la production a été renforcée par deux nouvelles lignes de conditionnement (Arcil 5 et Arcil 6), pour le yaourt brassé et les fromages frais ainsi qu'une ligne SIDEL pour les produits frais et UHT en bouteille avec une capacité de 120000 bouteilles/jour. Puis, en Décembre 2003, est intervenue l'acquisition d'une septième ligne de conditionnement (Arcil7), d'une capacité de 40000 pots /heure en yaourt étuvé et crème dessert.

En septembre 2004, une nouvelle unité de conditionnement en bouteille PET, d'une capacité de 22000 à 120000 bouteilles/heure a été installée. Ainsi « Trèfle » est devenue une entreprise en pleine expansion dont le développement a été possible grâce à la politique adoptée par le pays en matière d'encouragement de l'investissement.

Annexe 2**Matériel de l'analyse physico-chimique :****A) Equipement :**

-Butyromètre de « GERBER »-Centrifugeuse-pH-mètre-Dessiccateur-Balance analytique-Réfrigérateur (4°C)-Distillateur-Réfractomètre-Rhéomètre.

B) Verrerie et autres matériels :

Fiole stérilisée – Capsule en plastique –pipettes graduée-pipette jaugée-Erlen Meyer-Burette graduée-Becher en verre, en plastique-Eprouvette-Pissette d'eau distillé-Spatule-Récipient- Papier aluminium-Becher gradué- Agitateur.

C) Réactifs et solutions :

Acide sulfurique(H₂SO₄) (0.02N) –Alcool isoamylique- Hydroxyde de sodium NaOH(0/9)- Disque DPD- réactif (K₂ Cr Po₄)- EDTA – Solution tampon à pH 7- Solution tampon (NH₂ OH) à pH=10- Indicateur coloré noir ériochrome T- Méthyle orange- Indicateur coloré :phénophtaléine(1%) –Eau distillé , eau physiologique.

Annexe 3**Matériel de l'analyse microbiologique :****A) Equipement :**

Etuves à incubation réglables à (22°C, 30°C, 37°C, 44°C)- Bec bensen- Réfrigérateur (4°C) –Congélateur à (-22°C)- Balance analytique- Compteur des colonies

B) Verrerie et autres :

Tubes à essais et flacon stériles-Pipettes Pasteur stériles- Boîtes de pétrie-Pipettes graduées en verre stériles-Portoirs de tube à essai plastique- Thermomètre- Spatules avec coton stériles.

C) Réactifs et solutions :

Eau physiologique- Eau distillé- TSE : « **Tryptophane sel eau** »- Solution de tellurite de potassium- Réactif de Kowacs-Disque SFB- Additif Hektoen.

Annexe 4

Tableau de MAC –GRADY (aliments)

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organisme
000	0.0
001	0.3
010	0.3
011	0.6
020	0.6
100	0.4
101	0.7
102	1.1
110	0.7
111	1.1
120	1.1
121	1.5
130	1.6
200	0.9
201	1.4
202	2.0
210	1.5
211	2.0
212	3.0
220	2.0
221	3.0
222	3.5
223	4.0
230	3.0
231	3.5
232	4.0
300	2.5
301	4.0
302	6.5
310	4.5
311	7.5
312	11.5
313	16.0
320	9.5
321	15.0
322	20.0
323	30.0
330	25.0
331	45.0
332	110.0
333	140.0

Annexe 5

TABLE DE MAC GRADY (EAUX)

Nombre des tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100ml
1flacon de 50 ml	5 tubes de 10 ml	5 tubes de 1 ml	
0	0	1	1
0	0	2	2
0	1	0	1
0	1	1	2
0	1	2	3
0	2	0	2
0	2	1	3
0	2	2	4
0	3	0	3
0	3	1	5
0	4	0	5
1	0	0	1
1	0	1	3
1	0	2	4
1	0	3	6
1	1	0	3
1	1	1	5
1	1	2	7
1	1	3	9
1	2	0	5
1	2	1	7
1	2	2	10
1	2	3	12
1	3	0	8
1	3	1	11
1	3	2	14
1	3	3	18
1	3	4	21
1	4	0	13
1	4	1	17
1	4	2	22
1	4	3	28
1	4	4	35
1	4	5	43
1	5	0	24
1	5	1	35
1	5	2	54
1	5	3	92
1	5	4	161

Annexe 6

Tableau 1 : extraits du journal officiel de la république algérienne (N° 35 datant 27 Mai 1998)

Extrait du tableau 7 : critères microbiologiques des eaux de distribution traitées			
Germes recherchés	N	C	m
Germes aérobies à 37°C /ml	1	E	20
Germes aérobies à 22°C /ml	1	–	<10 ²
Coliformes aérobies à 37°C/100ml	1	–	<10
Coliformes fécaux /100ml	1	–	Absence
Streptocoque « D »/50ml	1	–	Absence
Clostridium Sulfito-Réducteur à 46°C/ml	1	–	Absence
Clostridium Sulfito-Réducteur à 46°C/ 20ml	1	–	<5
Extrait du tableau 1 : lait déshydraté destiné aux industries alimentaires			
Germes recherchés	N	C	m
Germes aérobies à 30°C	1	–	2x10 ⁵
Coliformes	1	–	1
Clostridium Sulfito-Réducteur à 46°C	5	2	Absence
Antibiotiques	1	0	Absence
Extrait du tableau 1 : lactosérum en poudre			
Germes recherchés	N	C	m
Germes aérobies à 30°C	5	2	2x10 ⁵
Coliformes	5	2	25
Staphylococcus aureus	5	0	Abs /0.1g
Clostridium Sulfito-Réducteur à 46°C	5	2	10
Salmonella	5	0	Abs /100g
Extrait du tableau 1 : yaourts ou yoghourts			
Germes recherchés	N	C	m
Coliformes	5	2	10
Coliformes fécaux	5	2	1
Staphylococcus aureus	5	2	10
Levures	5	2	<10
Moisissures	5	0	Absence
Salmonella	5	0	Absence

Annexe 7

Accidents de fabrication des yaourts

Tableau 2 : principaux defaults de gout observes dans les yaourts et leurs causes possible

Défauts de gout	Etapas de production	Causes
Salé	Réception	Lait marmiteux ou de la fin de lactation
Fruité, vanille, malté, de fromage, levure	Réception	Lait à compte élevé en microorganismes protéolytiques psychrophiles (température, temps ou condition de conservation du lait, contamination par les levures (air, sol))
Malpropre	Réception	Lait contaminé par des bactéries lactiques sauvages, des coliformes,....
De foin, d'herbe	Réception	Mauvaise alimentation de la vache ou contamination du lait
Rance	Réception	Lait contaminé par des micro-organismes lipolytique psychrophiles (température, temps ou condition de conservation du lait, contamination par les levures (air, sol))
	Traitement thermique	Température trop élevée ou traitement trop long
Oxydé	Réception	Mauvaise qualité du lait (oxydation par lumière, par un fort compte bactérien, par des métaux), conservation au froid
Brulé	Traitement thermique	Température trop élevée ou traitement trop long
Trop sucré	Standardisation	Ajout de trop de sucre ou d'édulcorant
	Fermentation	Acidification insuffisante du produit
Peu sucré	Standardisation	Ajout insuffisant de sucre ou d'édulcorant
Faiblement acide	Réception	Lait de mauvaise qualité : forte compétition bactérienne, inhibiteurs (assainisseurs, antibiotiques, produit de lavage, bactériophage)
	Standardisation	Pourcentage de solides totaux trop élevé ou pourcentage de matière grasse trop élevé

	Traitement thermique+ retenue	Température et temps de retenue trop poussés ou insuffisants
	Inoculation	Pas assez de ferment
	Fermentation	Incorporation de trop d'oxygène lors des pompages ou des agitations ; débalancement des souches au profit du streptocoque
Trop acide	Inoculation	Trop ferment, souches trop vieilles
	Fermentation	Perte de contrôle du ferment en faveur du lactobacille ; dépassement du temps prévu
	Refroidissement	Trop lent ou non uniforme à travers le lot
Aqueux	Standardisation	Quantité insuffisante de matière grasse ou de solides totaux
	Homogénéisation et traitement thermique	Traitement adéquat, avec une ouverture insuffisante de protéines
	Fermentation	Activités du lactobacille favorisé au détriment du streptocoque : acidification trop forte
Amer	Réception	Lait à compte élevé en psychrophiles (température, temps ou condition de conservation du lait, contamination par les levures (air, sol))
	Standardisation	Ajout de trop de protéines et principalement celles du lactosérum ; faible pourcentage en matière grasse trop élevé
	Homogénéisation et traitement thermique	Trop faible, entraînant une mauvaise ouverture des protéines
		Débalancement des souches au profit du lactobacille (température trop élevée, taux d'inoculation élevé, vieux ferment ou mauvaise production) Mauvais choix du ferment filant (producteur de polypeptides au lieu de polysaccharides)

Tableau 3 : principaux défauts d'apparence observés dans les yaourts et leurs causes possibles

Défauts de gout	Etape de production	Causes
Synérèse	Réception	Contamination lactique importante ; dégradation des protéines par les psychrotrophes
	Standardisation	Ajout insuffisant de solides totaux et principalement de protéines ; température de solubilisation inadéquate Traitement inadéquat entraînant une mauvaise ouverture de la structure et un manque en groupements hydrophiles
	Homogénéisation et traitement thermique	Traitement inadéquat entraînant une mauvaise ouverture de la structure et un manque en groupement hydrophiles
	Fermentation	Suracidification (déséquilibre des souches, température trop élevée, taux d'inoculation trop élevé, qualité du ferment...)
	Refroidissement conditionnement	Trop lent ou non uniformité à travers le lot ; agitation inadéquate du gel Manipulation brusque, chocs mécaniques
Mousse à la surface	Réception	Lait contaminé par des micro-organismes gazogènes : bactéries lactiques hétérofermentaire, coliformes ou levures
	Homogénéité	Pression trop forte
	Fermentation	Pompage et agitation forte ou brusques entraînant une incorporation d'air
Présence de moisi	Réception	Propreté douteuse à la ferme : air ambiant, sol Porte et fenêtre ouvertes, taux de poussière élevé dans l'air, courants d'air filtration insuffisante ou absente, réservoirs sans couvercle, circulation inappropriée entre les secteurs à niveau de risque différent, contamination des emballages à l'origine...
Craquelage	Standardisation	Utilisation du stabilisant à une mauvaise température ou une mauvaise étape, mauvais choix du stabilisant
	Fermentation Conditionnement	Suracidification Manipulations trop brusques
Collage à la paroi du pot	Réception	Lait contaminé par des bactéries filantes
	Standardisation	Trop de stabilisants ou choix inadéquat du stabilisant, mauvaise solubilisation des protéines (poudres ajoutées)
	Homogénéisation et traitement thermique	Traitement trop fort ou trop brusque
	Fermentation	Trop fort production de polysaccharides par les ferments filants

Couche de crème	Homogénéisation	Pression trop faible
Condensation (eau)	Refroidissement	Fluctuation de la température et de la pression atmosphérique
Présence de grumeaux	Standardisation	Trop de protéines ajoutées ; température de solubilisation inadéquate
	Traitement thermique	Trop poussé
	Fermentation	Suracidification (déséquilibre des souches, température trop élevée, taux d'inoculation trop élevé, qualité douteuse du ferment ...)
	Refroidissement	Suracidification en raison d'un refroidissement trop lent ou non uniforme
Manque d'homogénéité	Standardisation	Mauvais mélange en raison de volumes trop grands à brasser, température de solubilisation inadéquate
	Conditionnement	Brassage inadéquat du gel
Couleur non uniforme	Homogénéisation	Pression trop faible
Couleur trop jaune	Standardisation	Trop de matière grasse
	Pasteurisation	Trop poussé
Couleur trop bleutée	Standardisation	Faible pourcentage de matière grasse

Tableau 4 : principaux défauts de texture observés dans le yaourt et leurs causes probables

Défauts de texture	Etape de production	Causes
Mou ou liquide	Réception	Lait mammiteux ou de colostrum ; lait de mauvaise qualité : forte compétition bactérienne, inhibiteurs (assainisseurs, antibiotique, produit de lavage, bactériophage)
	standardisation	Teneur faible en protéines
	Homogénéisation et traitement thermique	Pression ou température trop forte ou trop faible sur le mélange
	fermentation	Ferment déséquilibré en faveur du streptocoque (température trop basse, taux trop faible, culture trop fraîche), mauvaise qualité du ferment ; temps de fermentation insuffisant, mauvaise activité du ferment filant, brassage du gel avant la fin de la coagulation
Trop ferme, gommeux	Refroidissement	Trop rapide, sans temps de rétention, agitation trop forte du gel
	Réception	Lait de fin de lactation, présence de bactéries contaminantes filantes
	Standardisation	Teneur trop élevée en protéines, trop de stabilisant ou mauvais choix du stabilisant
Faible onctuosité	Fermentation	Mauvais choix ou mauvaise utilisation du ferment filant
	Standardisation	Faible teneur en matière grasse
Râpeux ou sableux au palais	Homogénéisation	Pression trop faible
	Réception	Acidité trop élevée de la matière
	Standardisation	Trop de protéines ajoutées, grande présence de groupements hydrophobes, évaporation trop grande
	Homogénéisation et traitement thermique	Traitement thermique trop faible du mélange entraînant une faible disponibilité en groupements hydrophiles, pression trop élevée lors de l'homogénéisation
	Fermentation	Brassage durant l'incubation
Séparation des phases dans le contour-dessus et sérum au dessous	Homogénéisations et conditionnement	Incorporation d'air dans le caillé refroidissement trop fort pompe et agitation inadéquates

Annexe 8

Tableau 5 : les différents types de lactosérum (Mahaut et al, 2000)

	Lactosérum doux			Lactosérum acide	
	Emmental	Saint – Paulin Edam	Camembert	Pate fraiche	Caséine
EST %	6.5	5	6.5	6	6
pH	6.7	6.5	6.1	4.6	4.6
(en % de EST)					
Lactose	76	75	75	65.5	74
Protéines	13.5	13.5	13	12	12
Cendres	8	8.5	9	12	12
Acide lactique	1.8	2	2.2	10	1.8
Matière grasse ¹	1	1	1	0.5	0.5
Calcium	0.6	0.65	0.7	1.9	1.8
Phosphore	0.6	0.65	0.7	1.5	1.5
Chlorure (NaCl)	2.5	2.5	2.5	2.5	7.5

1. après écrémage

Tableau 6 : caractéristiques physico-chimiques et structurales des protéines du lactosérum (Morgan ,2001)

Produits	Objectif fonctionnel
Produits laitiers	<ul style="list-style-type: none"> -Rétention -Gélification -Viscosité -Emulsification -Foisonnement
Desserts	<ul style="list-style-type: none"> -Emulsification -Gélification -Foisonnement
Boulangerie /Pâtisserie	<ul style="list-style-type: none"> -Tenue après cuisson-gélification -Foisonnement
Confiseries	<ul style="list-style-type: none"> -Rétention -Foisonnement -Coloration
Charcuterie	<ul style="list-style-type: none"> -Rétention d'eau et de matières grasses -Gélification
Sauces	<ul style="list-style-type: none"> -Rétention d'eau -Viscosité
Boissons et alcools	<ul style="list-style-type: none"> -Stabilisation de la crème dans l'alcool

Tableau 7 : Composition anionique et cationique de deux groupes de lactosérums acides exprimés en % de la matière sèche (Saulnier et al, 1996)

Fabrication	Pate fraiche (g ·100 g⁻¹MS)	Pate molle (g ·100 g⁻¹MS)
Potassium	2.74±0.29	3.10±0.19
Calcium	1.29±0.28	2.06±0.61
Sodium	1.14±0.15	1.11±0.25
Magnésium	0.13±0.01	0.19±0.03
Ammonium	0.13±0.12	0.23±0.11
Chlorure	1.99±0.25	2.15±0.08
Phosphate	1.38±0.19	3.78±1.50
Sulphate	0.14±0.04	0.15±0.02
Citrate	2.21±0.33	2.29±0.62
Lactate	1.84±0.39	5.82±2.48
Acétate	0.16±0.03	0.43±0.23

Tableau 8: Effet de quelques substances organiques et minérales sur la cristallisation du lactose.

Composés	Effet sur la cristallisation
Lactose β	<ul style="list-style-type: none"> • Interaction avec certaines faces des cristaux et inhibition de leur -croissance • Ajout de lactose favorise la sursaturation et donc la croissance des+ cristaux
Riboflavine	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'effet sur la cristallisation à sa teneur naturelle dans les sérums 0
LiCl	<ul style="list-style-type: none"> • Réorganisation du réseau de l'eau par le lithium ce qui favorise la+ croissance • des cristaux de lactose
NaCl etMgCl ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'effet sur la cristallisation 0
KCl	<ul style="list-style-type: none"> • Effet sur la vitesse de cristallisation en fonction de sa concentration \pm
CaCl ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Selon sa concentration il favorise ou retarde la croissance des cristaux \pm • Formation d'un précipité de phosphate de calcium à la surface des cristaux ce qui inhibe la croissance -
Lactate	<ul style="list-style-type: none"> • Quelque soit sa forme il accélère la cristallisation + • Le lactate de calcium favorise légèrement la croissance des cristaux + • Sous forme acide lactique effet inhibiteur de la croissance des cristaux -
Phosphate	<ul style="list-style-type: none"> • K₂PO₄ : retarde la cristallisation • Sels de phosphate acide ou alcalin favorise la cristallisation + • Selon le Ph possibilité de former du lactose phosphate qui inhibe la croissance des cristaux

Annexe 9

Tableau 9 : les résultats de l'analyse sensorielle effectuée sur les cinq recettes des yaourts préparés:

Paramètre arôme :

ECH1 Barème	1	2	3	4	5
Très bon	7	6	5	1	1
Bon	5	3	5	6	1
Moyen	4	3	8	1	4
Médiocre	3	4	2	6	5

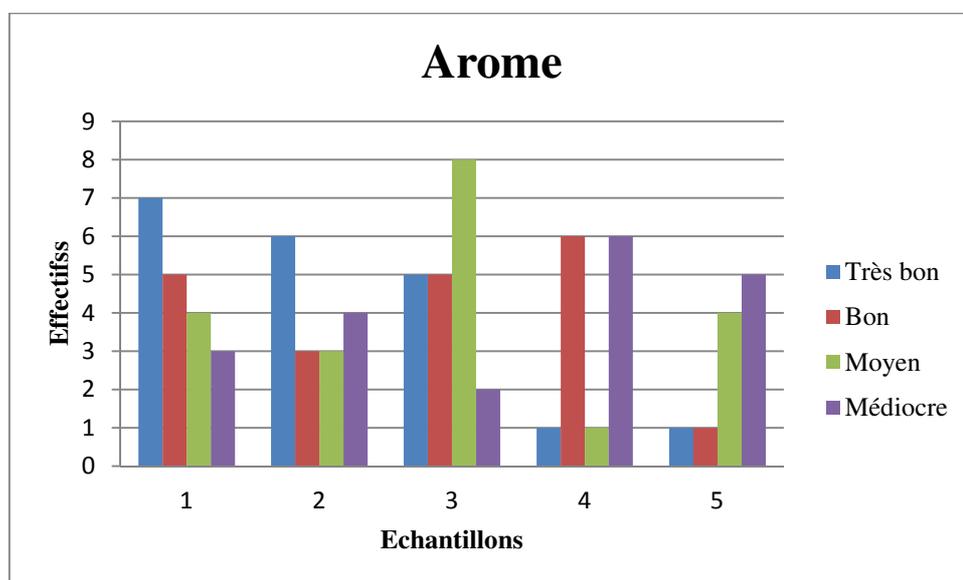


Figure 1 : Histogramme de l'analyse sensorielle du paramètre « arôme »

Paramètre aspect :

ECH Barème	1	2	3	4	5
Très bon	4	4	7	4	1
Bon	2	7	6	4	1
Moyen	5	4	5	3	3
Médiocre	9	2	2	5	2

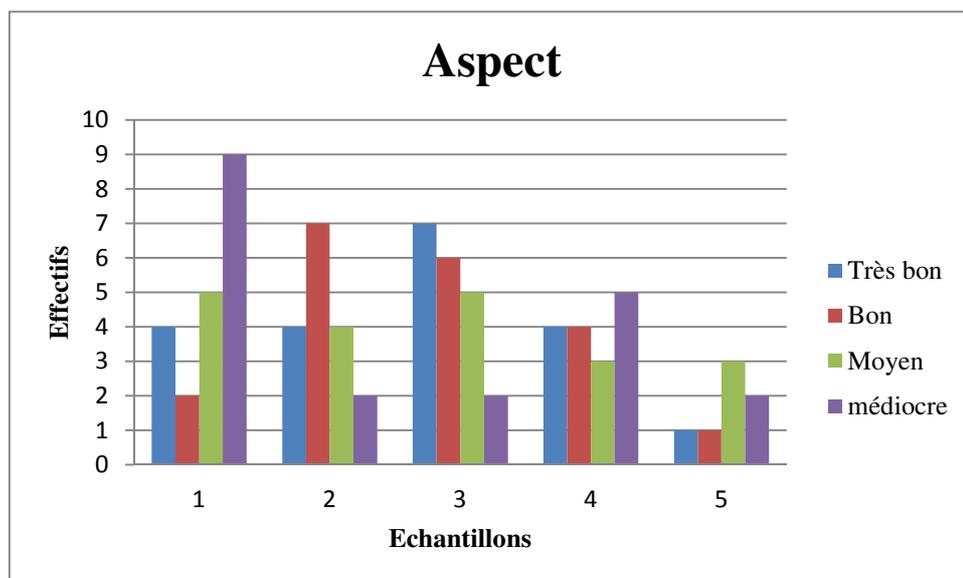


Figure 2: Histogramme de l'analyse sensorielle du paramètre « aspect »

Paramètre aspect en bouche :

ECH Barème \	1	2	3	4	5
Très bon	4	3	7	5	1
Bon	4	5	2	4	5
Moyen	3	4	4	4	5
Médiocre	3	7	4	2	4

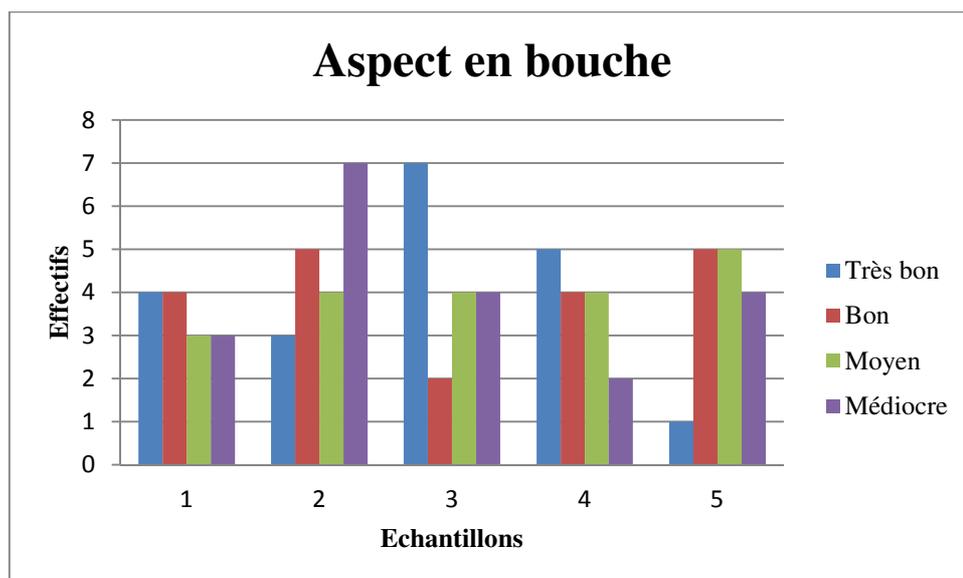


Figure 3 : Histogramme de l'analyse sensorielle du paramètre « Aspect en bouche »

Paramètre goût :

ECH \ Barème	1	2	3	4	5
Très bon	4	2	7	6	1
Bon	1	9	4	6	0
Moyen	3	4	6	3	4
Médiocre	9	3	1	4	3

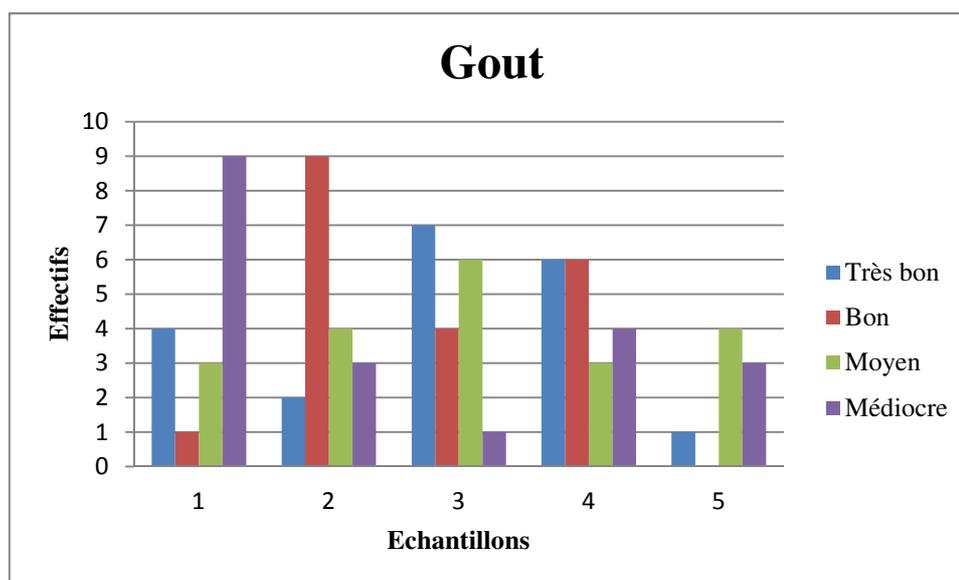


Figure 4 : Histogramme de l'analyse sensorielle du paramètre « goût »

Tableau 10 : Effectifs de la note « très bon » des différents échantillons préparés

Echantillons \ Paramètre	Echt1	Echt2	Echt3	Echt4	Echt5
Arome	8	6	4	1	1
Gout	4	2	7	6	1
Aspect	5	4	7	3	1
Aspect en bouche	4	3	7	5	1

Annexe 10

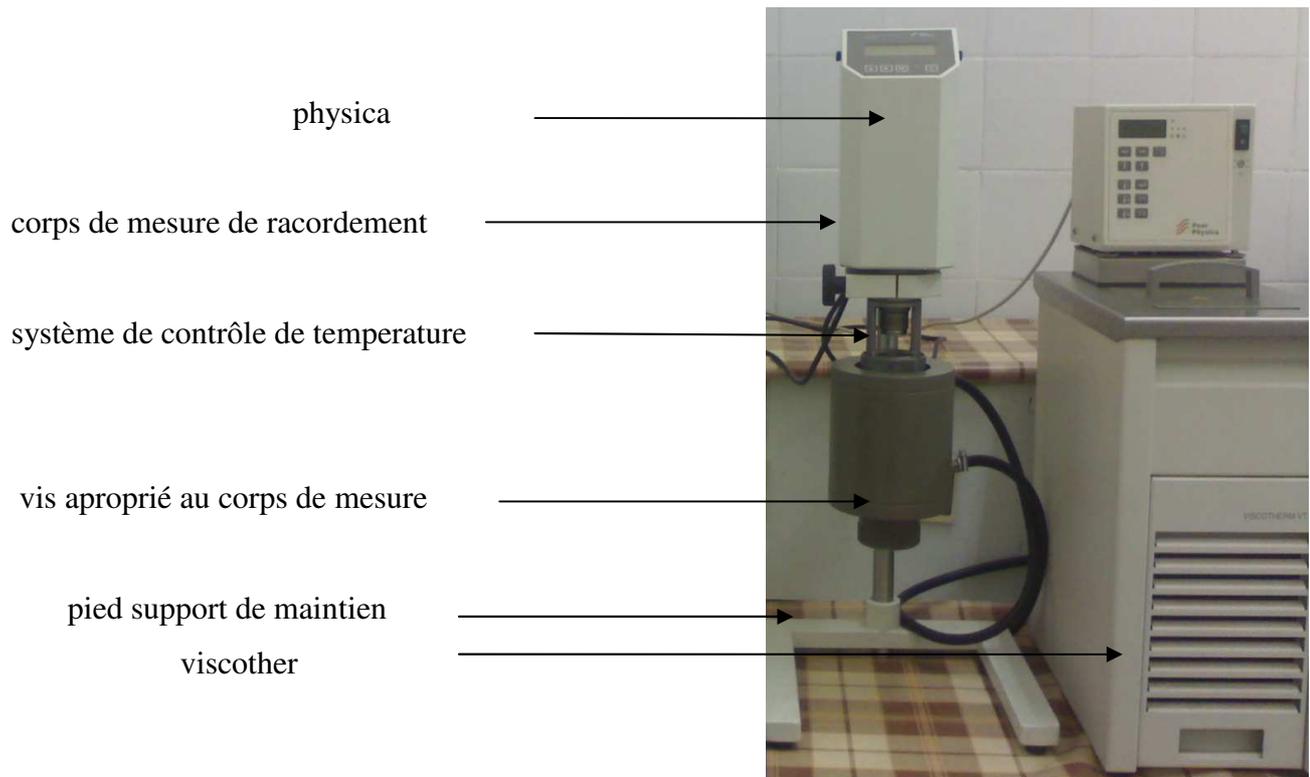


Figure 5: Rhéomètre « physica MC1 »

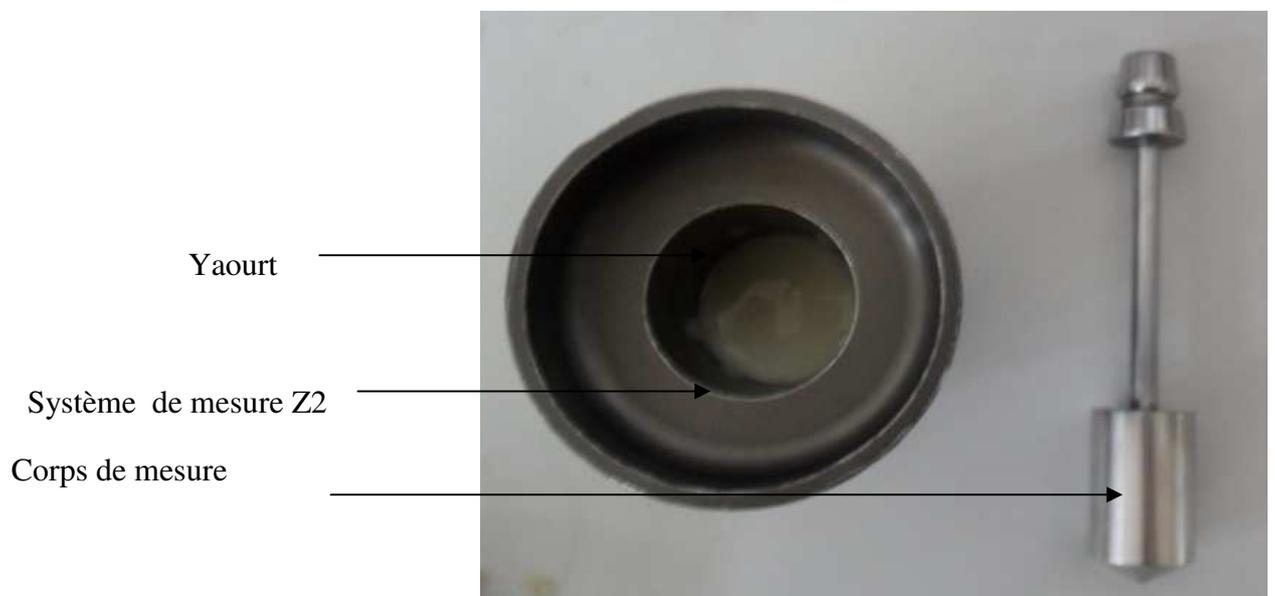


Figure 6 : système Z2

Photos originales

	SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE	Edition : N° 01
		Révision : (00)
PP 7.3	PROCEDURE CONCEPTION ET DEVELOPPE MENT PRODUIT	Date : 17/04/12
		Page : 1/1

IM 7.3.F FICHE DEGUSTATION

Nom :
 Prénom :
 Fonction :

Date de dégustation :
 Référence RJ :

Type de produit	N° de REF	Aromatisation					Texture			Gout	Couleur	odeur	Autre commentaire
		Arome	Caractéristique	Note de tête	Note de cœur	Note De fond	Aspect	Viscosité	Aspect en bouche				

NB : Evaluation de 1-4 (1 : Très bon ; 2 : Bon ; 3 : Moyen ; 4 : Médiocre)

Annexe 11