

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Technologie Alimentaire

Filière : Génie des Procédés

Option : Sciences et biotransformation du lait

THEME

Essai d'Incorporation de lactosérum en poudre dans la fabrication du fromage fondu

Soutenu le : 09/07/2017

par : **SETTOUTI Wassila Sanaa**
BEGGAR Amina

• **Jury de soutenance:**

Présidente :	M ^{me} ANNOU.S	Maitre assistante A (UMBB)
Examinatrice :	M ^{me} Fernani .L	Maitre assistante A (UMBB)
Examinatrice :	M ^{me} LARID .R	Maitre assistante A (UMBB)
Promotrice :	M ^{me} YELLES .F	Maitre assistante A (UMBB)

Promotion 2016/2017

Remerciement

En premier lieu, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné la volonté et le courage à fin d'achever notre modeste mémoire.

Il est toujours délicat de remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail d'initiation à LA recherche.

Nos sincères remerciements s'adressent à notre promotrice M^{me} **YELLES.F** pour son soutien et la qualité de ses conseils apportés à ce mémoire, ainsi qu'une grande compétence et beaucoup de gentillesse.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à **M** Sabaoui.K responsable au sein de la fromagerie Zérifi qui nous a soutenu pendant toute notre stage pratique .

Nous tenons à remercier les membres de Jury :

, M^{me} **Annou.S** , M^{me} **Fernani .L** et M^{me} **LARID. R** pour l'honneur qu' elles nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Nous remercions tous les techniciennes et les techniciens des laboratoires qui nous aidée dans notre travail ainsi que tout le personnel de la fromagerie zérifi .

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*En premier lieu à vous mes très chers parents, aucune
dédicace ne peut exprimer ma gratitude et ma
considération pour les sacrifices que vous avez consentis
pour ma instruction et mon bien être.*

A mon frère , Mes 2 sœurs

A mon cher binôme Amina ainsi qu'à toute sa famille

A tous mes amis (es).

Wassila Sanaa

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*En premier lieu à vous mes très chers parents, aucune
dédicace ne peut exprimer ma gratitude et ma
considération pour les sacrifices que vous avez consentis
pour mon instruction et mon bien être.*

A mes 4frères, Mes 2 sœurs

A ma chère binôme Sanaa ainsi qu'à toute sa famille

Ainsi qu'à tous mes amis (es)

Amina



Abreviations

AFNOR.....*association française de normalisation*

C°.....*degrés Celsius*

EST.....*extrait sec total*

g.....*gramme*

h.....*heure*

F.AO.....**Food and Agricultural Organization**

%.....**Pourcentage**

µg.....**microgramme**

pH.....**potentiel d'hydrogène**

g/l.....**gramme par litre.**

Liste des tableaux :

Tableau N°I-1 composition des laits en poudre	3
Tableau N°I-2: composition général de la poudre de lait partiellement écrémé	4
Tableau N°I -3: classification des poudres de lait écrémé	5
Tableau N°I -4: propriétés physico-chimiques du lait en poudre en fonction du type de séchage	7
Tableau N°II-1 : composition en minéraux d'un litre de lactosérum.....	11
Tableau N°II-2: teneur en vitamine du lactosérum.....	11
Tableau N°II-3 : principales caractéristiques de protéines du lactosérum.....	12
Tableau N°V-1 : analyses physico-chimique du cheddar	32
Tableau N°V-2 : les résultats physico-chimiques de la poudre de lait a 26%	33
Tableau N°V-3 : les résultats physico-chimiques de la poudre de lait a 0%	33
Tableau N°V-4 : Les résultats physico-chimiques de la poudre de lactosérum.....	34
Tableau N° V-5 : analyses physico-chimique des produits finis	34
Tableau N°V-6 : résultats des scores des critères gout et texture	38
Tableau N°V 7 : Résultats de classement du critere gout	38
Tableau N°V 8 :Résultats de classement du texture	39

Liste des figures :

Figure N°II-1 : voies technologiques permettant l'obtention des principaux tyoes de lactosérum issus de la premiere transformation	8
Figure N°II-2 : sous produits fromagère lors de la valorisation du lactosérum par ultrafiltration.....	10
Figure N°III-1 : les principales étapes de fabrication du cheddar.....	17
Figure N°III 2: les principales étapes de fabrication du fromage fondu	22
Figure N°IV-1: diagramme de fabrication du fromage fondu.....	24
Figure N°V-1: l'extrait sec total en % et le PH des différents essais du fromage fondu.....	35
Figure N°V-2: Evolution de MG de la concentration de la poudre de lacttosérum.....	36

Sommaire

Introduction générale :	1
Chapitre I : La poudre de lait	
I-1 Introduction	3
I-1. Définition de la poudre de lait	3
I-2. Différents types de poudre de lait	4
I-2-1 La poudre de lait entier	4
I-2-2 Le lait en poudre partiellement écrémé	4
I-3 –Différents classes de poudre de lait commercialisé	5
I-4. Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre	6
I-5. Technologie de la poudre de lait	7
I-5-1 Séchage sur cylindre :	7
I-5-2 Séchage par atomisation :	7
Chapitre II : le lactosérum	
II-1-Introduction	9
II-2- Types de lactosérums	10
II-2-1- Le lactosérum doux	10
A	
II-3- Autres types de lactosérum	10
II-4- Composition du lactosérum	12
II-4-1- Lactose	12
II-4-2- Les éléments minéraux	12
II-4-3- Les vitamines	12
II-4-4 La matière grasse	13
II-4-5- Les protéines du lactosérum	13
II-5- Les procédés de valorisation du lactosérum	14
II-5-1. Concentration/déshydratation du lactosérum	14
II-5-2. Filtration membranaire	15
Chapitre III : le fromage fondu	
III-1-Définition	16
III-1-1- Fromage fondu type « bloc »	16
III-1-2- Fromage fondu type « coupe »	16

III-1-3- Fromage fondu tartinable	16
III-1-4- Fromage fondu toastable(pour refonte)	17
III-1-5- Fromage fondu thermostable	17
III-2-Matières premières	17
III-2-1-Le fromage :	17
III-2-2- Cheddar	17
III-2-3-Les sels de fonte :	19
III-2-4-L'eau	19
III-2-5-Poudre de lait, poudre de sérum :	19
III-3-Technologie de la fonte	20
III-3-1-Sélection de matières premières et contrôle de qualité	20
III-3-2-écroutage, découpage et broyage des fromages	20
III-3-3- préparation de la formule	20
Chapitre IV : Matériels et méthodes	
Introduction	24
IV-1-Matériels biologique	24
IV-2-Méthode de fabrication du fromage fondu	24
IV-2-1-Les étapes de fabrication.....	25
IV-3- Méthodes d'analyses :	26
IV-3-1- Mesure de pH (AFNOR, 1986).....	27
IV-3-2-Détermination de la teneur en matière grasse (afnor, 1986).....	27
IV-3-3-Détermination du l'extrait sec total (Afnor, 1986)	28
IV-3-4-Détermination de l'Humidité (Afnor, 1986).....	29
IV-3-5-Détermination de la teneur en cendre (Afnor, 1986).....	29
IV-3-6- Détermination des protéines des poudres de lait par la méthode de KJELDAHL	30
IV-3-7- Dosage des protéines de la poudre de lactosérum par la méthode de Lowry (Lowry et al, 1951)	30
IV-3-8- Dosage du lactose par la méthode de Bertrand.....	32
Chapitre V : Résultats et discussions36	
V-1-Résultats des analyses physico-chimiques des matieres premieres	36
V 1-2- Résultats des Analyses physico-chimiques des produits finis.....	38
V 1-2- résultats de l'analyse sensorielle	40

<i>V I-2-2. Interprétation statistique des résultats (test de friedman)</i>	42
Conclusion générale :	47

Présentation de l'unité

La fromagerie ZERIFI est située a la cité Ben Bekhta Commune de corso – boumerdes (02km au sud de boumerdes, et 42 KM a l'est d'alger).elle occupe une surface de 420m².

L'activité principale de la fromagerie ZERIFI est la production et la commercialisation des fromages , préparations fromagères, préparation alimentaires et sauces.

La fromagerie ZERIFI a été créée en 2007 par son patron ZERIFI ABDELKADER .

Gammes des produits actuellement fabriqués et les capacités installées

Barre MIRY : 500kgs/jour

Portion MIRY : 100KG/jour

Barre Faiz : 100KG/jour

Spécial pizza : 300KG

Mayonnaise : 300KG/jour

L'unité est composée de :

Trois Chambre froide pour stockage

Magasin de stockage de l'emballage

Atelier de fabrication

Atelier d'encartonnage , magasin de prestockage des matières premières , vestiaires , bache a eau , administration , cuisine, laboratoire , lieux d'aisance et toilettes.

Le personnel est de 36 éléments : un responsable principal, 2chefs d'équipe , 2préparateurs et pesées , 4 conducteurs de clippeuses , 1 conducteur de portionneuse , 20 polyvalents et manutentionnaires , 02 chauffeurs, 1 laborantin.

Introduction générale

Introduction générale :

Le développement des industries agro-alimentaires est d'un atout majeur pour l'humanité, mais ceci n'est pas sans risques pour l'environnement et notre propre santé.

L'industrie laitière est l'une des plus polluantes par le rejet des quantités importantes de lactosérum, ce dernier représente 90% du volume originale de lait utilisé en fromagerie et en est le principal sous-produit. Du fait de sa richesse en élément nutritif tels que lactose, protéine solubles, vitamines hydrosolubles, matières grasses et les éléments minéraux ce qui le rend un excellent milieu de culture pour les microorganismes, en effet sa DBO₅ est de l'ordre de 40 à 50g d'oxygène/litre de lactosérum. L'exploitation de ce liquide nutritif permet non seulement de récupérer les éléments nobles de lait pour les ramener dans les industries alimentaires. Mais aussi de limiter les risques de pollution.

Un pouvoir polluant, une richesse alimentaire certaine en éléments nutritifs et un volume considérable font du lactosérum un centre d'intérêt pour les nutritionnistes qui cherchent à aller toujours plus loin dans la voie de la valorisation de ce produit

Compte tenu des impacts sur l'environnement et des règlements en vigueur concernant la gestion des déchets, le traitement et la valorisation des lactosérums, est devenu l'un des enjeux majeur des pays développés.

Cependant, notre pays rejette, actuellement, la totalité du lactosérum produit par les industries laitières, dont la matière première ; le lait, est importé à fortes devises. Paradoxalement, de nombreuses industries agroalimentaires importent du lactosérum en poudre pour leur productions très diverses : biscuits, yaourts, confiseries. D'ailleurs, pour la réalisation de notre étude nous avons utilisé la poudre de lactosérum importé

Notre travail constitue un maillon de plus à une série de recherche déjà effectuées sur le lactosérum au sein des universités Algériennes et en particulier à l'université de BOUMERDES (Département de technologie alimentaire) dont le but est d'apporter une nouvelle possibilité de valorisation du lactosérum.

La présente étude vise à montrer la possibilité d'utiliser le lactosérum déshydraté, comme substitut de la poudre de lait dans la fabrication du fromage fondu afin d'inciter les entreprises fromagères Algérienne à traiter le lactosérum et le transformer en poudre, au lieu de recourir à l'importation .

Chapitre I :

La poudre de lait

I-1 Introduction

Au fil des siècles, l'homme a commencé à développer des techniques de transformation aboutissant à différents produits avec de nouvelles propriétés physico-chimiques (fromage, yaourt, poudre de lait,...etc.) permettant une meilleure conservation du produit contre l'altération. De nos jours, ces différentes méthodes de transformation artisanales ont été améliorées, suite au progrès scientifique qu'a connu le domaine de l'agroalimentaire et ont été intégrées dans des procédés industriels permettant de produire plus et mieux, répondant de cette manière à un marché qui devient plus exigeant (**Abdenouri. 2008**).

I-1. Définition de la poudre de lait

Les laits en poudre sont des produits résultant de l'élimination partielle de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible de sorte que l'eau est perdu et le lait devient poudre (**Arie et al. 2012**).

Le lait en poudre est le produit provenant de la dessiccation de lait entier ou lait écrémé ou de lait partiellement écrémé propre à la consommation humaine, l'orsque ils sont additionnés du sucre (saccharose) dans une proportion conforme aux usages la mention «sucré » est porté sur l'étiqueté ou le récipient toute fois l'expression « en poudre » peut être remplacé par le mot sec suivi ou non d'une mention indiquant le mode de présentation (poudre, granulés paillettes...)

La principale application du lait en poudre est la reconstitution pendant les périodes de la production laitière. Des réserves considérables utilisables ultérieurement lorsque les approvisionnements deviennent insuffisants. L'élimination de la presque totalité de l'eau du lait (environ 87%) donne un produit compact concentré facile a transporté et à stocker. Le lait sec n'est le siège d'aucune multiplication microbienne il peut être conservé pendant de très longues périodes et donne du lait reconstitué par simple adjonction d'eau.

Aux termes de la norme n° A5 (1971) du Code des principes, on distingue trois catégories de lait en poudre, entier, partiellement écrémé et totalement écrémé dont la composition est donnée au Tableau I. Selon cette norme, ils peuvent recevoir des additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants) dans certaines conditions (**FAO. 2008**).

Le tableau N°I-1, représente la Composition des trois différents types de laits en poudre.

Tableau N°I-1 :Composition des laits en poudre (en %) :(FAO, 2008)

Composants	Lait en Poudre entier	Lait en poudre partiellement écrémé	Lait en poudre écrémé
Matières grasses	26 – 40	1,5 – 26	≤ 1,5
Eau maximum	5	5	5

I-2.Différents types de poudre de lait

Le lait en poudre est un produit solide obtenu par élimination de l'eau du lait entier, du lait entièrement ou partiellement écrémé, et dont la teneur en eau n'excède pas 5 % en poids du produit fini.

On distingue les laits en poudre suivants:

I-2-1 La poudre de lait entier

C'est le lait déshydraté contenant, en poids, au moins 26% et moins de 42% de matières grasses.

Le lait entier en poudre dissout dans de l'eau est utilisé en tant que lait reconstitué. Ce sont surtout les pays ne disposant pas d'un grand secteur de production laitière qui constituent un marché important en la matière. De grandes quantités de lait en poudre sont utilisées avec des composants de cacao et du sucre pour la fabrication d'exquis chocolat au lait.

I-2-2 Le lait en poudre partiellement écrémé

C'est le lait déshydraté dont la teneur en matières grasses est, en poids, supérieure à 1,5 % et inférieure à 26 %. La composition chimique de la poudre de lait partiellement écrémé est représentée dans le tableau N°2

Tableau N°I-2: composition général de la poudre de lait partiellement écrémé

: Composition général de la poudre de lait partiellement écrémé D'après **(Karen.,2008)**.

Composant	Le pourcentage (%)
Cendre	4,5%
Teneur en matière grasse	plus de 1,5 % et moins de 26 %
Eau	4%
Protéine	30 %

I-2-3 Le lait en poudre écrémé

C'est le lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1,5 % de matières grasses.

Le lait écrémé en poudre est utilisé de différentes façons. Il parvient directement au consommateur en tant que lait écrémé reconstitué. Les fabricants de denrées alimentaires l'utilisent dans les desserts à base de lait, les crèmes glacées, les yoghourts, les produits à base de viande, les produits à base végétale ressemblant à de la viande, dans les glaçages, les sauces, les mayonnaises, les boissons instantanées pour le petit déjeuner..... Etc.

I-3 –Différents classes de poudre de lait commercialisé

Les trois types de poudre de lait sont classées selon l'intensité du traitement de déshydratation opéré (et le degré de dénaturation qu'il génère) : « LowHeat »,« Medium Heat » et « High-Heat ». Le degré de dénaturation est exprimé par l'indice d'azote de protéines de lactosérum (WPNI en anglais) en milligrammes de protéines sériques non dénaturées par gramme de poudre considérée **(Karen.,2008)**.

Les poudre ayant été préparées avec un traitement thermique bas (low Heat, WPNI égal ou supérieur à 6) contiennent une faible quantité de protéines dénaturées et sont utilisées dans des produits où les propriétés de solubilité, de gélification et d'émulsion sont recherchées.

Il s'agit des poudres de meilleure qualité convenant aussi bien à la préparation du lait de consommation que celui destiné à la fromagerie ainsi qu'à la fortification du yaourt **(Nozinck,1982)**.

Les poudres type « Médium Heat » (WPNI entre 1,5 et 5,9) possèdent une bonne capacité d'hydratation et d'activité de surface. Elles sont utilisées notamment dans les fabrications de crèmes glacées...etc.(Castro-Morel et al.,2003).

Enfin, les poudres « High-Heat » (WPNI inférieur à 1,5) sont hautement dénaturées et peu solubles. Ce type de poudre trouve une utilisation dans les produits structurés (boulangerie, biscuiterie, et la confiserie) (Castro-Morel et al.,2003).

Le tableau N°I-3 donne une classification de la poudre de lait écrémé en fonction de la charge thermique (WPNI).

Tableau 1: classification des poudres de lait écrémé

Tableau N°I -3: Classification des poudres de lait écrémé selon le WPNI (Atomizer
., 1990)

Classes	WPNI (mg d’N/g de poudre)
faible température	≥6.0
Température moyen	4.5-5.99
haut température moyen	1.51-4.49
Haut température	≤1.5

WPNI=whey protein nitrogen index

I-4.Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre

Les importants paramètres de qualité pour le lait en poudre sont la qualité microbiologique, les propriétés organoleptiques (Azza et al., 2010) ainsi que les propriétés physico-chimiques suivantes:

Les qualités biochimiques et physicochimiques des poudres dépendent essentiellement des paramètres technologiques mis en œuvre pour la réalisation des poudres. La qualité nutritionnelle des poudres laitières dépend principalement de l'intensité des différents traitements thermiques au cours du procédé technologique. Les traitements thermiques induisent des changements physicochimiques qui tendent à diminuer la disponibilité des nutriments (destruction de

vitamines , diminution de la teneur en lysine disponible, dénaturation des protéines solubles) ou éventuellement à produire des composés d'intérêt nutritionnel tel que le lactulose .Les poudres obtenues par pulvérisation sont d'un point de vue nutritionnel supérieures à celle obtenues sur cylindres chauffants (**Jeantetal.,2008**). A l'exception de quelques pertes de vitamine B12,la valeur nutritive du lait en poudre équivaut à celle du lait pasteurisé et dépasse celle des autres laits conservés (concentré sucré ou non sucré ou stérilisé).L'excès et la prolongation du traitement thermique en cours de fabrication peut dégrader certaines vitamines et abaisser la valeur protéique du produit par dénaturation des aminoacides, mais la dégradation des protéines et les altérations de la solubilité associées aux produits modernes de haute qualité ne diminuent pas leur valeur nutritive .

I-5. Technologie de la poudre de lait

Après les traitements d'épuration, de standardisation, de pasteurisation ou de préchauffage à haute température, on procède en deux étapes principales la concentration et le séchage. La concentration se fait par évaporation et l'ébullition se fait sur une surface chaude. Pour des raisons de qualité, on cherche à limiter la température du lait et à réduire son temps de séjour d'où le traitement sous vide et en film mince. Pour des raisons énergétiques, on utilise l'effet multiple, la compression mécanique des vapeurs et le préchauffage du liquide. Il est ainsi possible d'évaporer plusieurs kg d'eau avec l'énergie de vaporisation de 1 kg d'eau, alors que le séchage demande l'énergie de plus de 1 kg de vapeur pour sécher 1 kg d'eau. Il y a donc intérêt à concentrer au maximum avant de procéder au séchage (**FAO, 2008**).

Il existe différent type de séchage afin de produire différents type de qualité de poudre de lait parmi ces types de séchage (**Kimetal.,2009**) :

I-5-1 Séchage sur cylindre :

C'est le plus ancien des procédés il consiste à chauffer un mince film de lait pendant 2 à 3 secondes à la pression atmosphérique sur une surface métallique chauffée par de la vapeur à 143-149°C. (**Ronimuset al., 2002**). Le séchage sur cylindre ne peut répondre aux nouveaux besoins qualitatifs exigés pour

I-5-2 Séchage par atomisation :

Le procédé de fabrication du lait en poudre par atomisation comprend deux grandes étapes, une étape de concentration suivie de l'étape d'atomisation, parfois appelée dessiccation. Cette opération utilise, selon la taille de l'installation, soit des thermoplongeurs sur bride soit des

batteries de procédés chauffantes. Cette technique est la plus utilisée pour la fabrication du lait en poudre, qu'il s'agisse de lait entier ou de lait écrémé. Il est parfois nommé procédé spray et est de plus en plus choisi par les industriels au détriment du séchage sur cylindres, car il permet d'obtenir une poudre plus soluble mais aussi des qualités organoleptiques plus intéressantes (goût, aspect...). Les propriétés physico-chimiques du lait en poudre en fonction du type de séchage sont regroupées dans le tableau N°I-4.

Tableau N°I -4 : Propriétés physico-chimiques du lait en poudre en fonction du type de séchage

	Poudre issue d'un séchage par atomisation	Poudre issue d'un séchage sur cylindres
Structure des particules	Particules sphériques. Inclusions d'air	Compacte forme irrégulière pas d'inclusions d'air
Surface des particules	Lisse, en particule pliée	
Dimension des particules	10-250um	
Densité apparente (g/cm³)	0.50-0.70	0.3-0.5
Solubilité, dénaturation	Dénaturation des protéines peu élevée –bonne solubilité	Taux de dénaturation élevé des protéines –mauvaise solubilité
Exigences relatives à la teneur en métaux lourds	Cuivre < 1.5 mg/kg Fer < 10.0mg/kg	Idem
Teneur en oxygène résiduel dans les poudres contenant des matières grasses	≤0.01 ml O ₂ /g	
Brunissement dû à la réaction de Maillard	Peu marqué	Plus marqué

Chapitre II :

Le lactosérum

II-1-Introduction

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages ou de la caséine (**Lorient et Linden, 1994**). Les voies technologiques permettant l'obtention des principaux types de lactosérum sont montrées dans la figure II-1.

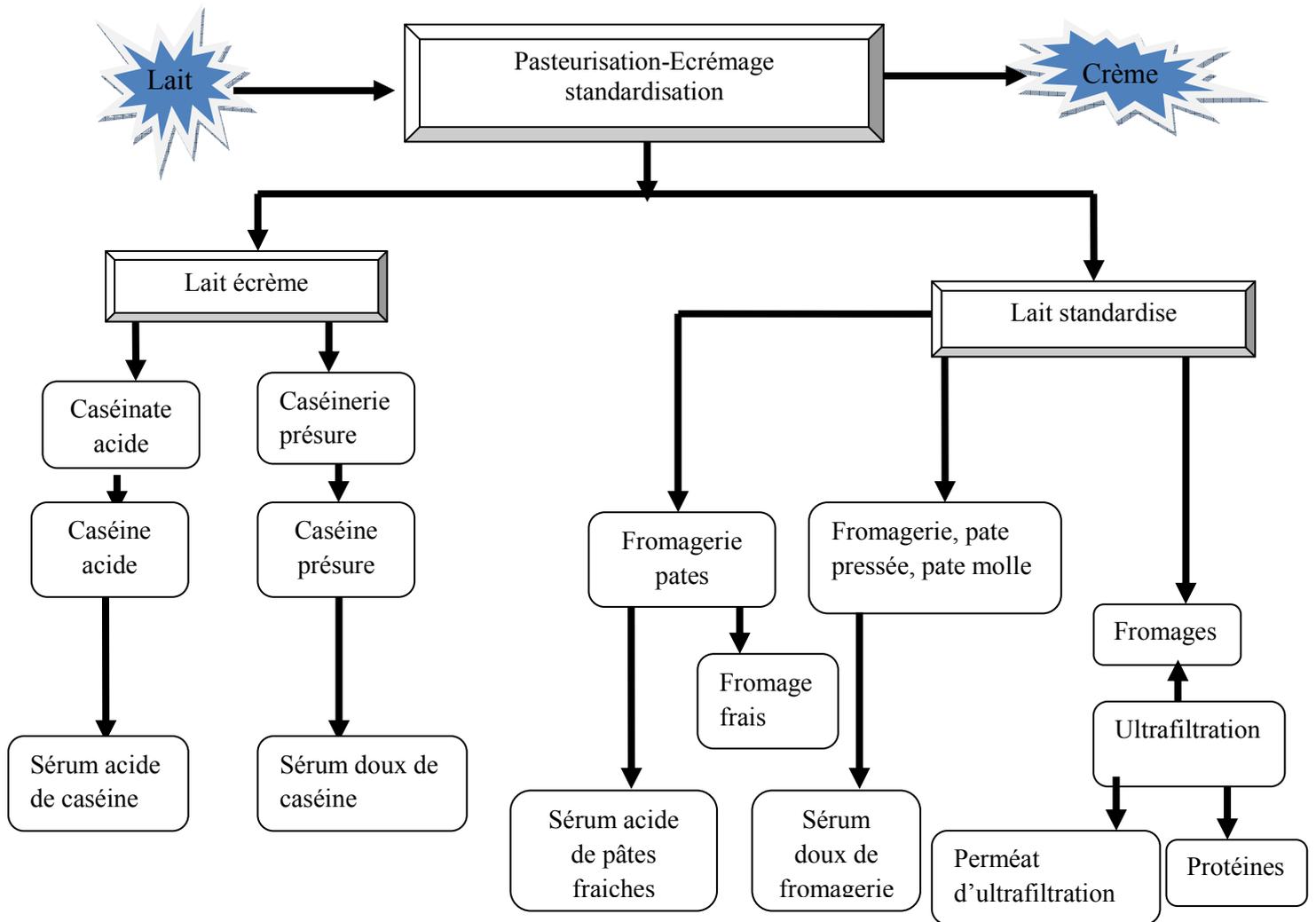


Figure N°II-1 : voies technologiques permettant l'obtention des principaux types de lactosérum issus de la première transformation (Schuck et al ; 2004)

II-2-1- Le lactosérum doux

Ce sérum est obtenu par coagulation du lait par la présure, voir enzyme protéolytique (**Lorient et Linden, 1994**), et provenant de la fabrication des fromages à pâtes pressées cuites ou non cuites, type gruyères, saint-paulin, EDAM. Il est moins minéralisé, ne contenant que les minéraux solubles du lait, avec une prépondérance du chlorure de sodium et de potassium, mais plus en lactose et extrait sec (**Boudier, Luquet ; 1981**). Il est faiblement acide dont l'acidité varie entre 15 et 22D° et son $\text{pH} \approx 6,5$.

II-2-2- Le lactosérum acide

Obtenu après la coagulation du lait par précipitation des caséines à leur pH isoélectrique de 4,5 par ajout d'acide fort ou d'acide lactique (**Violleau, 1999**) la caséine est combinée à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation qui fait passer dans le sérum une part importante d'éléments minéraux, notamment le calcium et le phosphore (**Sottiez, 1990**). Le lactosérum acide provient de la fabrication des pâtes fraîches et des pâtes molles, son pH varie entre 3,8 et 4,6.

Les lactosérums acides sont moins riches en lactose et plus riches en minéraux. Ils sont aussi plusensemencés en germes lactiques et moins sujets à des fermentations que les lactosérums doux (**Moletta, 2002**). Les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des difficultés pour la déshydratation aussi les lactosérums acides sont souvent utilisés à l'état liquide alors que les sérums doux sont généralement déshydratés (**Moletta, 2002**).

II-3-Autres types de lactosérum

L'émergence de nouvelles technologies de fractionnement et de concentration telles que l'ultrafiltration a permis l'apparition de nouveaux dérivés en plus des deux catégories précédentes de lactosérum. Mais ce sont des dérivés des lactosérums doux et acides :

II-3-1-Lactosérum déprotéiné

Certaines fromageries réalisent une opération de déprotéinisation partielle de leurs sérums doux ou acide après coagulation à chaud (90°C) en vue de réincorporer des protéines sériques dans le lait ce qui assure un meilleur rendement fromager (**Luquet, 1985**).

II-3-2-Perméat de lactosérum :

Ce perméat peut être considéré comme étant le sous produit résultant de la fabrication de concentrés protéiques de sérum par ultrafiltration. sa composition est comparable à celle du lactosérum, exception faite des protéines (Chagnon ; 1997) comme le montre la figure 1 le perméat d'ultrafiltration, caractérisé par une haute teneur en lactose et en sels minéraux, peut être valorisé après déminéralisation (Bourgogne ; 2001).

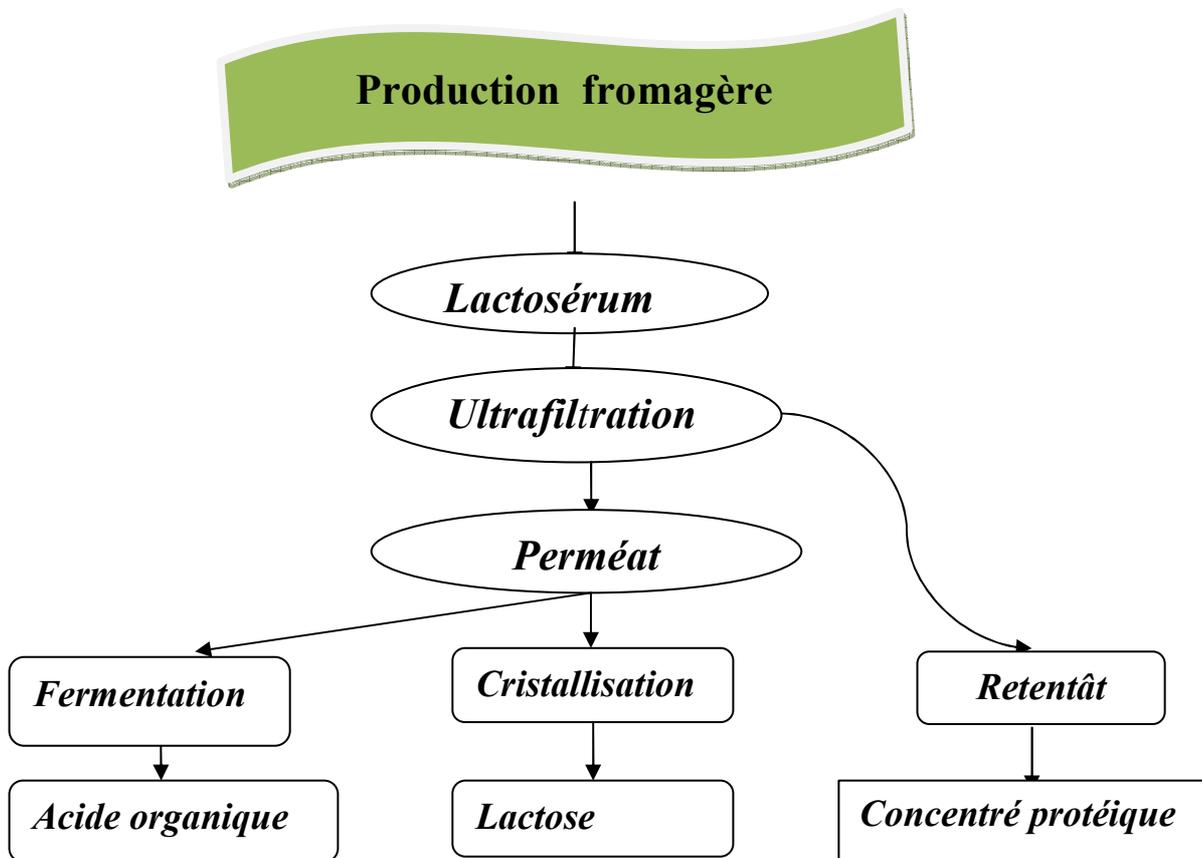


Figure N°II-2 : Sous produits fromagère lors de la valorisation du lactosérum par ultrafiltration (Jacques ; 1993)

II-4-Composition du lactosérum

II-4-1- Lactose

Le lactose est le constituant majeur du lactosérum, il représente 80% du poids de matière sèche (Apria; 1980).

Le lactose est formé par l'union d'une molécule de α ou β glucose et d'une molécule de β galactose, donnant ainsi, α lactose et β lactose.

II-4-2-Les éléments minéraux

Toutes les matières minérales en solution dans le lait se retrouvent dans le lactosérum, et selon certaines pratiques fromagères avec des sels ajoutés, donc le lactosérum à une forte teneur en matière minéral, qui dépend du pH au moment de la fabrication.

Les 8 à 10% de la matière saline de l'extrait sec du sérum sont constituées pour plus de 50% de chlorure de sodium et de potassium et pour le reste de différents sels de calcium principalement sous forme de phosphate.

Tableau N°II-1 : composition en minéraux d'un litre de lactosérum(exprimé en mg/l)(Berrocal,2000).

Minéraux	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Calcium	400	1200
Phosphore	360	680
Chlorures	1100	1500
Magnésium	80	90
Sodium	500	500
Potassium	1400	1400

II-4-3-Les vitamines

Le lactosérum contient la majeure partie des vitamines hydrosolubles présentes dans le lait, il est particulièrement riche en riboflavine (qui lui donne la couleur jaune verdâtre) et la teneur par litre en vitamines B correspond à la couverture d'une proportion appréciable surtout B2, B5 et B6 des besoins quotidiens humains.

Tableau N°II-2 / teneur en vitamine du lactosérum d'après (**Linden et lorient ; 1994**).

Vitamines	Concentration (mg/ml)	Besoins quotidiens (mg)
Thiamine (B1)	0,38	1,5
Riboflavine (B2)	1,2	1,5
A.nicotinique (B3)	0,85	10-20
A.pantothenique (B5)	3,4	10
Pyridoxine (B6)	0,42	1,5
Cobalamine (B12)	0,003 «µg»	2«µg»
A. Ascorbique (C)	2,2	10-75

II-4-4 La matière grasse

Une certaine quantité de lipide du lait est entraînée dans lactosérum brut .cependant cette quantité est faible.Du fait de son extrême pauvreté en corps grasse, le lactosérum a un faible apport calorique (26 calories par décilitre).Le plus souvent, dans les traitements industriels le lactosérum est écrémé; la matière grasse ainsi récupérée est utilisée dans la fabrication d'un beurre de second choix (**Evette ,1975**).

II-4-5-Les protéines du lactosérum :

Les protéines ne forment pas la fraction la plus abondante du lactosérum, mais elle est la plus intéressante sur le plan économique, nutritionnel et des utilisations potentielles. Les protéines correspondent à l'ensemble des matières azotées hydrosoluble qui ne précipitent pas lorsque le pH du lait est de 4,6. Elles représentent environ 20% des protéines totales du lait L' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline représentent à elles seules plus de 50% des protéines solubles de lactosérum (**Eugenia et al; 2006**). Les principales caractéristiques des protéines du lactosérum sont portées sur le tableau N°II-3

Tableau N°II-3 principales caractéristiques des protéines du lactosérum (**Goodall et al.2008**)

Protéines	Concentration (g/l)	Poids Moléculaires KDa	Point Isoélectrique pH _i	Acides Amines AA	% des Protéines Du Lactosérum
β -ctoglobuline	3	18,3	5,35-5,49	162	40-55
α -actalbumine	1,2	14	4,2-4,5	123	11-20
Imminoglob	0,6	15	≈7	Nd	8-11

u-Line					
Sérum albumine	0,3	69	5,13	582	4-12
Glycomacro-peptide	1,2-1,5	6,7	≈3,8	64	15-25
lactoferrine	0,1	≈80	7,8-8,0	689	≈1
Lactoperoxi-Dase	0,002	77,5	9,2-9,9	612	≈1

Nd : non déterminée.

En outre ces protéines ont des propriétés fonctionnelles très importantes :

Pouvoir émulsifiant

Pouvoir Moussant

Pouvoir Gélifiant par coagulation à la chaleur

Absence d'eau-gonflement ;

La solubilité.

II-5- Les procédés de valorisation du lactosérum

Le lactosérum contient un fort taux d'éléments nutritionnels (lactose, protéines, sels minéraux, matière grasse). Il est donc, rentable de le réutiliser au même titre qu'une matière première. En différencie le lactosérum doux et le lactosérum acide. Ce dernier est le plus souvent utilisé dans l'élevage comme nourriture pour les animaux car il est plus difficile à traiter (la concentration de lactosérum acide donne un produit visqueux et collant) que le lactosérum doux et donc moins pratique lors d'une utilisation pour l'alimentation humaine (**Proot, 2001**).

Le lactosérum doux peut être employé dans l'industrie après qu'il ait subi une transformation par l'un de ces trois procédés suivants :

II-5-1. Concentration/déshydratation du lactosérum

Les opérations de concentration permettent de réduire les volumes à traiter. Le séchage permet un transport plus aisé des poudres obtenues. La séparation des fractions protéiques, minérales et lactosées ouvre des perspectives dans la valorisation individuelle des constituants du lactosérum.

La concentration est généralement réalisée par un procédé membranaire : l'osmose inverse. La taille des pores est alors comprise entre 0.1 et 1 nm et la pression de fonctionnement requise est d'environ 20 à 30 bars. Le petit-lait est concentré de deux à quatre fois, selon l'utilisation. Il se conserve mieux que le petit-lait brut et permet d'éviter des frais de transport. La déshydratation nécessite au préalable, la cristallisation du lactose. On utilise un procédé de refroidissement rapide après initialisation du processus d'ensemencement. Le séchage final fait intervenir les techniques de « spray drying ».(**Membrez. Y et al 2004**).

II-5-2. Filtration membranaire

Le retentât (protéines ou CPL) obtenu par ultrafiltration peut être utilisé comme alimentation humaine ou animale. On peut même réincorporer directement les protéines récupérées dans le lait de fromagerie pour l'enrichir en protéines.

Le perméat (ultrafiltrat) caractérisé par une haute teneur en lactose et en sels minéraux peut être valorisé après déminéralisation par électrodialyse ou résines échangeuses d'ions. Le lactose ainsi obtenu trouve des applications dans l'industrie pharmaceutique. Le produit obtenu après hydrolyse du lactose à l'aide de Bêta galactosidase trouve un débouché comme édulcorant dans la chocolaterie, biscuiterie et confiserie (**Proot. J, 2001**).

Chapitre III :

Fromage fondu

III-1-Définition

La dénomination « fromage fondu » est réservée au produit de la fonte. Le « fromage fondu » est obtenu par broyage, mélange, fonte et émulsifiassions, sous l'action de la chaleur et d'agents émulsifiants, d'une ou plusieurs variétés de fromage, avec ou sans adjonction de constitutions laitiers et/ou d'autres denrées alimentaires (beurre, crème, sel (chlorure de sodium) , vinaigre, épices).(**Codex Alimentarius , 1978)**

En réalité, il s'agit plus d'une dissolution suivie d'une dispersion de protéines dans l'eau que d'une fonte qui, correspond au sens physico-chimique du terme, à la désintégration d'une structure solide cristalline par l'apport d'énergie thermique ou l'exercice d'une pression.

Ces produits issus de la fonte de fromages peuvent être regroupés en cinq familles classées ici par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial. (**BOUTONIER J.L. 2000**)

III-1-1-Fromage fondu type « bloc »

Le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, comparable à celle d'un fromage classique. Pour assurer sa stabilité, sa teneur en matière sèche est élevée et il est fondu partiellement ou totalement à partir de citrate de sodium.

III-1-2-Fromage fondu type « coupe »

Moins ferme que le bloc, il n'en est pas pour autant traitable. Il contient trois à quatre points de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus agréable à la dégustation.

III-1-3- Fromage fondu tartinable

C'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité. Cette famille représente la majeure partie du marché français. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes).

III-1-4- Fromage fondu toastable (pour refonte)

Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle, comme une tranche d'emmental par exemple, ce qui exige une préservation importante de la structure protéique des matières premières.

III-1-5- Fromage fondu thermostable

C'est un fromage fondu qui ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Il subit un crémage très poussé.

III-2-Matières premières

III-2-1-Le fromage :

Généralement le fromage fondu est fabriqué à partir d'un mélange de différents fromages traditionnels, souvent affinés et sélectionnés pour leur flaveur, leur stade de maturités et plus généralement leur aptitude à la fonte.

Il n'existe a priori aucune contre-indication théorique. Cependant, les critères qui président aux choix industriels sont avant tout d'ordre économique (coût et disponibilité) et technique (aptitude à la fonte, rendement et régularité de la qualité). Ce sont les fromages matières premières de type présure suffisamment marqué, ou le pH après affinage est relativement bas et ou la matière protéique n'est pas trop dégradée, qui sont le plus aisés à fondre. Le fromage le mieux adapté à toutes ces exigences est le cheddar. (BOUTONNIER .J.L.2000).

III-2-2- Cheddar :

Le cheddar, d'origine anglaise, est le fromage le plus fabriqué dans le monde. Il est surtout produit dans les pays anglo-saxons tels que la Grande-Bretagne, l'Australie, les USA, la Nouvelle-Zélande le Canada, l'Irlande. Il est souvent consommé dans les préparations culinaires mais peut aussi être apprécié à table lorsqu'il a plusieurs mois d'affinage (Gassi.J.Y.et al, 2002).

-Caractéristique de cheddar :

L'extrait sec total vraie de 63,5 à 65,5%, le gras sur sec varie de 50 à 57% et l'humidité dans le fromage dégraissé de 55 à 56% (Gassi.J.Y.et al, 2002). Il existe plusieurs variantes de la technologie du cheddar mais toutes ont un dénominateur commun spécifique qui les différencie des autres pâtes pressées : l'acidification rapide du caillé après séparation du sérum (appelée cheddarisation), puis le découpage de ce caillé en « cossettes », le salage dans la masse et enfin la reconstitution du fromage par pressage. Cette technologie permet d'obtenir une teneur en matière sèche élevée.

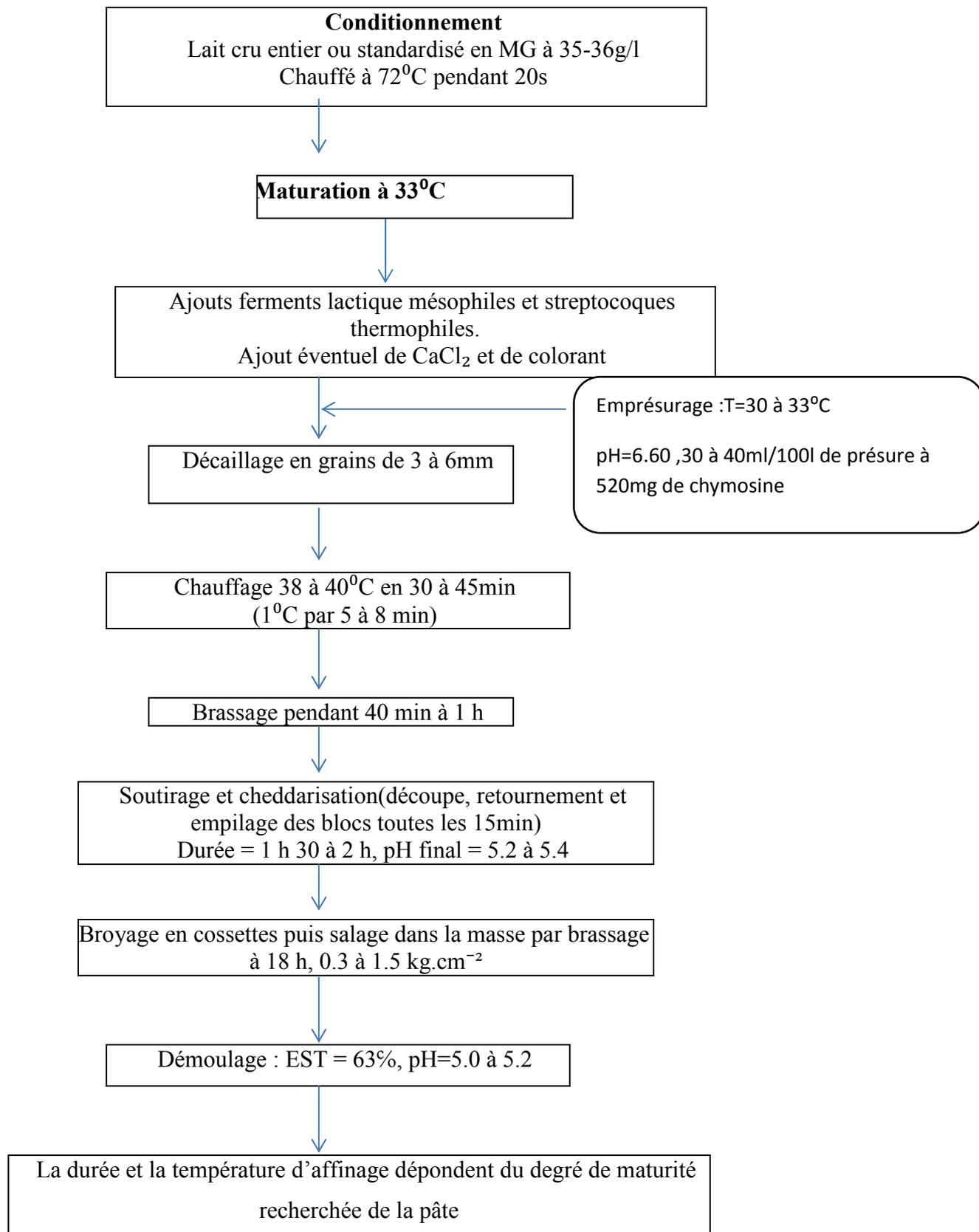


Figure N°III-1 : les principales étapes de fabrication du CHEDDAR (Gassi.J.Y et al ;2002).

III-2-3-Les sels de fonte :

Les principaux sels utilisés pour la fabrication du fromage fondu sont les sels de l'acide phosphorique et de l'acide citrique. Parmi les phosphates (sels de l'acide phosphorique), on distingue les monophosphates (PO_4^{3-}) et les phosphates polymères ou polyphosphates $[(\text{PO}_3)^{-(n+4)}]_{n+2}$. Parmi ces derniers, on rencontre trois groupes :

- ✚ Les polyphosphates en chaîne (chaîne courte et chaîne longue).
- ✚ Les métaphosphates cycliques.
- ✚ Les utraphosphates réticulés.

Dans le groupe des polyphosphates à chaîne courte, ce sont les diphosphates ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) et les triphosphates ($\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$) qui présentent un intérêt sur le plan technique.

Les citrates sont des sels de l'acide citrique. Le citrate qui présente un intérêt pour la fonte des fromages est le dihydrate –citrate trisodique car c'est celui qui convient le mieux pour la fabrication et qui est le plus stable au stockage (**BOUTONNIER .J.L. 2000**).

III-2-4-L'eau

L'humidité des fromages étant généralement faible et puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire, c'est-à-dire avec une faible teneur en micro-organismes et en contaminants chimiques tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140 °C et sous une pression de 2.105 à 4.105 Pa. Cette vapeur doit être filtrée avant injection de manière à être débarrassée des additifs apportés par le traitement des eaux de chaudière et des contaminants récupérés lors de sa distribution (**BOUTONNIER.J.L.2000**).

III-2-5-Poudre de lait, poudre de sérum :

Parmi les ingrédients d'origine laitière susceptible d'exercer une certaine influence sur la qualité du fromage fondu, il faut citer d'abord les concentrés ou les poudres de lait écrémé, et de sérum. Le lactose contenu dans la poudre de lait et sérum favorise l'épaississement de la consistance. Pour des raisons de goût et de consistance, la teneur en lactose du produit fini ne doit pas être supérieure à 4%. Les risques en cas d'utilisation de produit à forte teneur en lactose sont la cristallisation, réaction de Maillard et la caramélisation (**Guide JOHA.1989**).

III-3-Technologie de la fonte

Les principales étapes de fabrication du fromage fondu sont :

III-3-1-Sélection de matières premières et contrôle de qualité

La sélection de matières premières est fonction de la formule du produit que l'on veut obtenir. Toutes les matières premières sélectionnées feront l'objet d'un contrôle rigoureux avant utilisation quant à leur composition physico-chimique et bactériologique et leurs caractéristiques organoleptiques (**Eck.A et Gillis. G, 1997**).

III-3-2-écroutage, découpage et broyage des fromages :

L'écroutage se fait par raclage ou brossage mais des techniques nouvelles apparaissent telles que les jets d'eau chaude sous pression par exemple. Le broyage est une étape importante du traitement de matières premières, car il est indispensable de dissoudre les fromages pour obtenir un fromage fondu homogène. Dans certains cas la matière première peut même être laminée pour être transformé en très fines brisures (**Eck.A et Gillis G.1997**).

III-3-3- préparation de la formule

Une fois le broyage est terminé, les différents lots de fromage sont pesés et mis dans le cuiseur avec les éventuels autres ingrédients poudreux. L'eau et les autres liquides doivent être mesurés dans des quantités définies d'avance. Les sels de fonte sont pesés soit à l'état sec ou sous forme de solution. Aux matières fromagères et laitières, on ajoute de l'eau et des sels de fonte, puis on effectue un broyage de l'ensemble pendant quelque minute pour obtenir un mélange prêt à être fondu (**Eck.A et Gillis.G, 1997**).

III-3-4-fonte proprement dite

C'est l'opération clef du fromage fondu. Les principales phases de la fonte sont les suivantes

- *La phase de peptisation (déstruction de la masse protéique initiale)* : Les fromages naturels sont constitués par la juxtaposition de granules de caillé composés de protéines et de globules gras. La zone interne du granule est composée essentiellement de substance protéique, la zone externe d'une proportion plus importante de matières grasses.

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et dès la mise en contact avec l'eau et les sels de fonte le démarrage de l'étape de déstructuration est commencé. Cette étape va se poursuivre et s'accroître lors du traitement thermique ; les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de sodium soluble.

Après l'échange du calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées, c'est la peptisation.

Parmi les sels de fonte ; les polyphosphatés ont l'action chélatante la plus importante ; ils vont former avec le Ca piégé des combinaisons très stables.

- *le «crémage» - la phase de restructuration* : Simultanément au processus de destruction et aux étapes de chauffage et de crémage, de nouvelles interactions inter-protéiques apparaissent. L'étape de crémage correspond à un épaississement du produit qui a deux origines :

La peptisation des protéines, qui permet l'hydratation des chaînes, aboutit à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité.

En effet, le déroulement des chaînes protéiques et l'augmentation de charges négatives conférées aux molécules protéiques par les anions polyvalents des sels de fonte (disparition des ponts calciques et fixation des anions) augmentent le caractère hydrophile, groupements latéraux polaires. Ceci permet une hydratation importante des protéines ce qui se traduit par un épaississement de la pâte fondue.

Les pyrophosphates de Ca formés au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes peptidiques pour former des liaisons ioniques inter-protéiques ce qui entraîne la gélification du réseau.

-la phase de refroidissement : C'est au cours de cette phase que se produit la gélification. Le réseau protéique formé grâce aux liaisons hydrogènes, hydrophobes et ioniques établies, va se structurer pour former un gel qui va emprisonner fortement la matière grasse émulsionnée ainsi que l'eau.

-Conditionnement : Le fromage fondu passe du cuiseur dans une cuve en acier inoxydable qui est transporté jusqu'au poste de conditionnement et vidé dans les trémies d'alimentation des conditionneuses. Ces dernières sont généralement entièrement automatique.

En règle générale, le fromage fondu est conditionné à chaud, à la température de fonte.

-Refroidissement du fromage fondu : Il varie en fonction du type de produit, il doit être rapide pour les fromages fondus à tartiner et préparation à base de fromage fondu et lent pour les blocs ; toutefois, un refroidissement trop lent peut favoriser le développement des réactions de Maillard **(Gaucheron.F.2004)**.

-Stockage du produit : Les produit sont mis en carton dans des entrepôts à 10-15°C. Cette température est suffisante pour éviter la poursuite du crémage mais n'est pas assez basse pour entrainer la formation de condensats sur les emballages. Les principales étapes de fabrication du fromage fondu sont montrées sur la figure N°

En conclusion le respect des conditions optimales au de différentes étapes de fabrication permet d'obtenir un produit de bonne conservation d'une durée comprise entre 6 mois et 1 ans **(Gaucheron.F.2004)**.

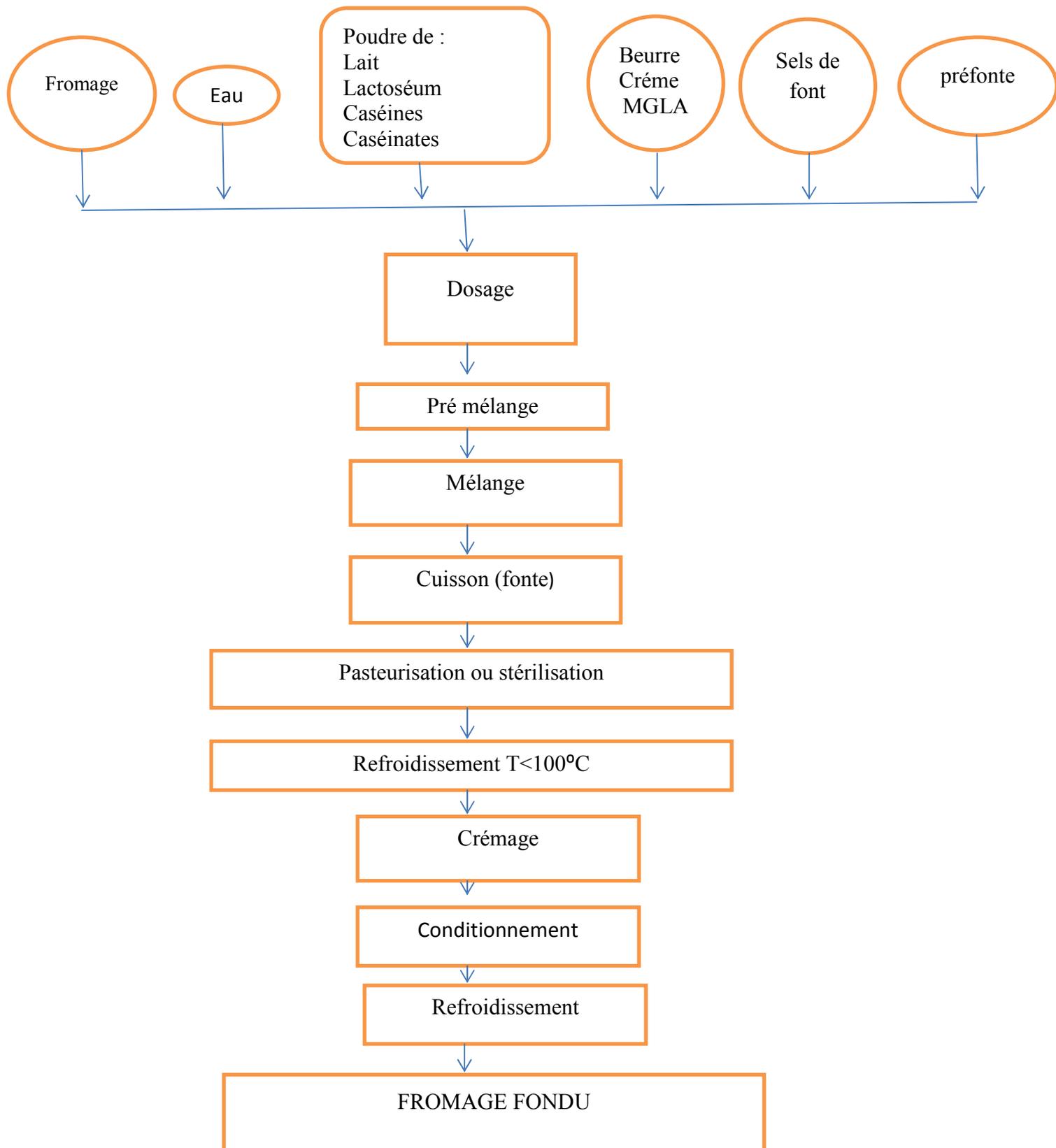


Figure N°III 2: les principales étapes de fabrication du fromage fondu (BOUTONIER.J.L.2000).

Chapitre IV :

Matériels et méthodes

Introduction

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation du lactosérum, sous forme de poudre, comme substitut de la poudre de lait dans la fabrication du fromage fondu afin d'inciter les entreprises fromagères Algérienne à traiter le lactosérum et de l'incorporer dans de nombreuses préparations alimentaires

Cette étude est réalisée au niveau de l'unité privé Zerifi implantée à corso ainsi qu'au niveau de laboratoire de FSI.

IV-1-Matériels biologique

Pour la réalisation de notre étude, nous avons utilisé la poudre de lactosérum. Ce produit est commercialisé en Algérie et il est importé à partir de la France

IV-2-Méthode de fabrication du fromage fondu

Pour les essais de préparation du fromage fondu nous avons utilisé la recette de fabrication de l'unité fromagerie Zerifi en remplaçant la poudre de lait par la poudre de lactosérum à différentes doses.

La recette de base pour un Kg du fromage fondu est la suivante:

275 gr de cheddar

225gr de poudre de lait 26%

45 gr de poudre de lait 0%

4.5gr de carraghénane

22.5gr Sels de fonte

1.5 gr Acide citrique

4.5gr NaCl

L'eau 500ml

IV-2-1-Les étapes de fabrication

IV-2-1-1-Première étape :

La poudre de lactosérum et le mélange des des deux types de poudres de lait (26% et 0% de matière grasse) sont introduites dans des récipients comme suit :

Récipient E : contient 100% de poudre de lait (225 +45gr).

Récipient D : contient 10% (27gr) de lactosérum et 90% (243gr) de mélange de poudre de lait

Récipient C : contient 15% (40.5gr) de lactosérum et 85% (229.5gr) de mélange de poudre de lait.

Récipient B : contient 20% (54gr) de lactosérum 80% (216gr) de mélange de poudre de lait

Récipient A : contient 25% (67.5 gr) de lactosérum et 75% (202.5 gr) de mélange de poudre de lait

IV-2-1-2-Deuxième étape :

Ajout, dans chaque récipient les autres ingrédients (cheddar, carraghénane, Sels de fonte, Acide citrique, Nacl , et l'eau), dans les proportions mentionnées ci-dessus .

IV-2-1-3-Troisième étape :

Chauffage et agitation de chaque récipient à température de 80°C pendant 5 minutes puis les produits sont répartis dans des emballages en plastique et refroidis à 4- 6°C Le diagramme de fabrication des fromages fondus est montré dans la figure IV-1.

L'évaluation sensorielle des cinq produits testés a été réalisée au niveau du laboratoire de chimie du lait (FSI). Le test de Friedman est utilisé pour les interprétations statistiques des résultats en utilisant les tables de Friedman (Annexes 9 et 10).

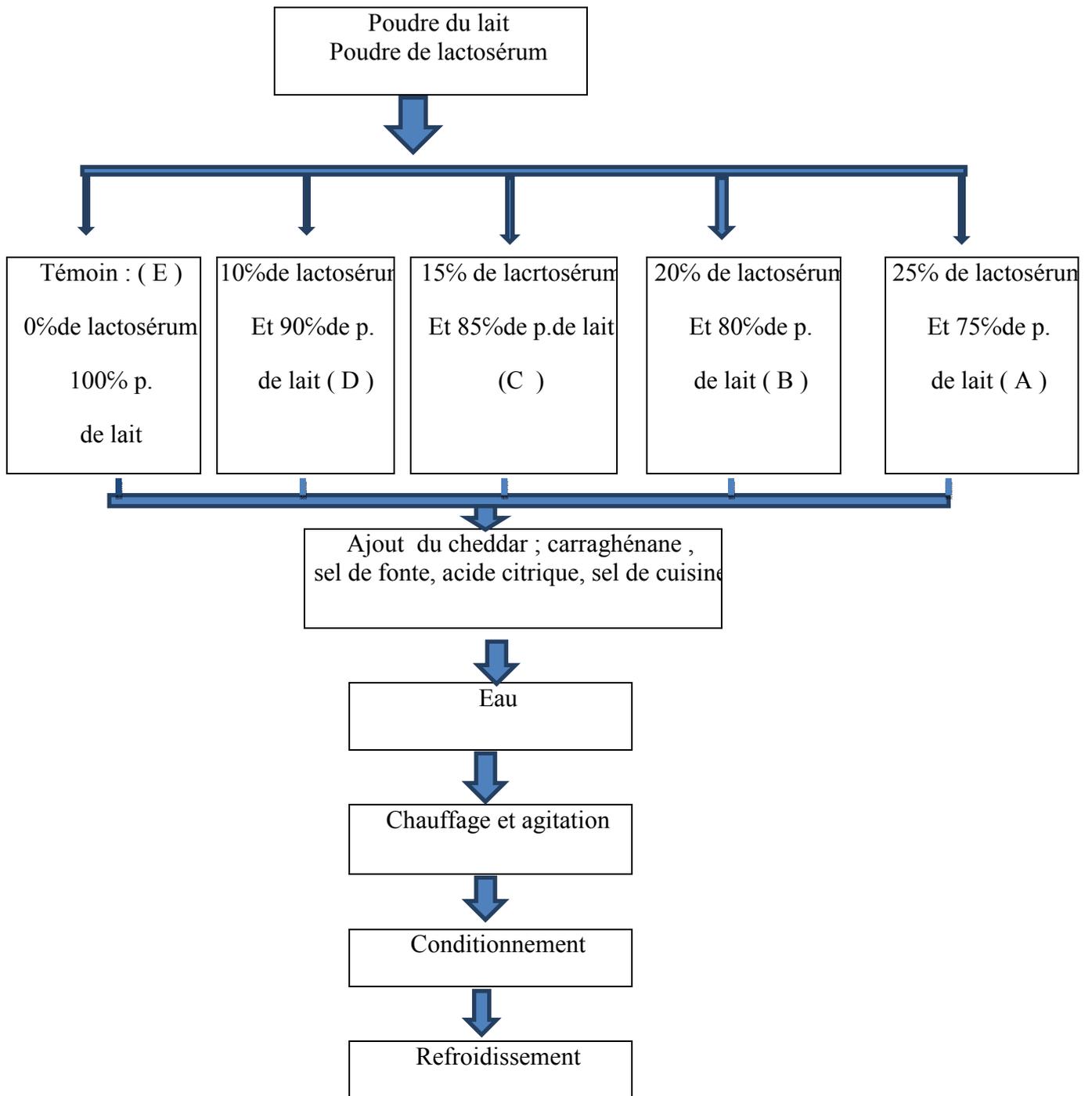


Figure : IV-1. Digramme de fabrication du fromage fondu

IV-3- Méthodes d'analyses :

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la poudre de lactosérum, les deux types de poudre de lait, le cheddar et les et sur les cinq essais de fromage fondu Le

dosage des protéines est réalisé avec la méthode de Kjeldhal Sur les poudres de lait et la méthode de Lowry sur la poudre de lactosérum.

IV-3-1- Mesure de pH (AFNOR, 1986)

✓ Principe :

Cette méthode consiste à mesurer les ions H^+ présent dans le produit à analyser.

➤ **Mode opératoire**

On fait l'étalonnage du pH-mètre avec la solution hydrogénocarbonate du potassium (7,3), ensuite on rince l'électrode avec de l'eau distillée. On plonge l'électrode dans le produit (lactosérum) à analyser et on laisse jusqu'à la stabilisation de Ph.

On note la valeur du pH et la température affichée sur l'appareil.

➤ **Expression des résultats**

La lecture se fait directement sur le pH mètre, exprimée en unité pH à une température correspondante (la valeur du pH est lue directement sur l'écran du pH-mètre).

IV-3-2-Détermination de la teneur en matière grasse (afnor, 1986)

✓ Principe :

La méthode GERBER (butyrométrique) consiste à ajouter de l'acide sulfurique concentré et de l'alcool iso amylique à une quantité connue de l'échantillon (lactosérum, lait). Agiter le mélange dans un butyromètre. L'acide sulfurique concentré digère les protéines et les phosphates insolubles de l'échantillon ; l'alcool iso amylique facilite la séparation de la matière grasse. L'augmentation de la température et la centrifugation permet d'isoler la matière grasse, qu'on quantifie dans la partie graduée de butyromètre.

➤ **Mode opératoire :**

- **Le cas du fromage : (méthode VAN GULIK) : (Guide JOHA, 1989)**

On effectue le pesage initial de $3 \pm 0,005$ g de fromage sur le Godet ,puis on met l'échantillon dans un butyromètre d'après VAN GULIK (pour 0 à 40% et 0 à 20% de M.G) et on ferme le grand orifice de l'appareil. On remplit le corps du butyromètre aux deux-tiers environ avec l'acide sulfurique de densité $1,522 \pm 0,005$ g/l on le met au bain marie (à $65 \pm 2^\circ C$), on l'agite

jusqu'à ce que le fromage soit dissous, puis on laisse reposer pendant 15 minutes. Par le petit orifice, on ajoute 1ml d'alcool iso amylique, on agite vigoureusement. Ensuite, on procède à une centrifugation de 10minutes à 350⁺-50g , on met à nouveau en équilibre pendant 5 minutes au bain-marie à 65°C.

➤ **Lecteur :**

En appuyant sur le poussoir, la valeur de la MG de l'échantillon apparaît sur la graduation de butyromètre.

➤ **L'expression du résultat :**

La teneur en matière grasse est exprimée en gramme par litre.

$$MG=(A-B)*10$$

A : la valeur lue au niveau supérieur de la colonne grasse

B : la valeur lue au niveau inférieur de la colonne grasse.

IV-3-3-Détermination du l'extrait sec total (Afnor, 1986)

✓ Principe :

L'extrait sec total déterminé par la méthode d'étuvage qui est basée sur la dessiccation complète du produit avec l'élimination de la totalité d'eau présent dans l'échantillon.

➤ **Mode opératoire**

Dans une capsule séchée, on introduit 5ml de lactosérum, on les met dans étuve de type memmert-electronic réglée à 104,5°C pendant 4 heure. Ensuite, on refroidit la capsule dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante et on pèse jusqu'au poids constant.

➤ **Expression des résultats**

$$EST= (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0) . 100$$

Où :

- **m₀** : poids de la capsule vide ;
- **m₂** : poids de la capsule + l'échantillon après étuvage.
- **m₁** : poids de la capsule + l'échantillon ;

IV-3-4-Détermination de l'Humidité (Afnor, 1986)

Elle est déterminée par la formule suivante :

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

IV-3-5-Détermination de la teneur en cendre (Afnor, 1986)

✓ **Principe :**

Les cendres sont des substances résultantes de l'incinération de la matière sèche à 600°C pendant 4 heures dans un four à moufle type **Nüve MF 120**.

Les résultats sont exprimés selon la relation :

$$\text{Cendres}\% = \frac{P_i - P_0}{\text{Prise d'essai}} \times 100$$

Où P_i : poids de capsule + échantillon après incinération en grammes.

P_0 : poids de la capsule vide en grammes.

➤ **Mode opératoire :**

Les capsules sont préparées de manière suivante : lavage, séchage dans l'étuve, et mise dans un dessiccateur. On pèse les capsules, et on y ajoute 5g de produit. Ensuite, on place les capsules dans le four à 500°C.

Le temps de la minéralisation dure environ 4 heures. Ensuite, on refroidit les capsules dans le dessiccateur et on pèse les nouveaux poids.

Le taux des cendres exprimé en % :

$$T = \frac{(P_3 - P_1)}{p} \times 100$$

Ou :

$$P = P_2 - P_1$$

P_1 : le poids de la capsule vide (g).

P_2 : le poids de la capsule vide et la prise d'essai (g).

P_3 : le poids de la capsule après incinération (g).

IV-3-6- Détermination des protéines des poudres de lait par la méthode de KJELDAHL

Principe :

Le principe consiste à la minéralisation des protéines par chauffage en présence de catalyseur tel que K_2SO_4 , Se, H_2O_2 afin de convertir l'azote des composés organique en azote ammoniacal .

L'ammoniac est ensuite libéré par distillation et recueillie dans une solution d'acide borique à 4% L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0,1 N, en présence d'indicateur coloré (rouge de méthyle)

➤ **Mode opératoire :**

• **Minéralisation :**

On introduit dans chaque matras 5ml ou 5g de poudre de lactosérum , une pincé de catalyseur composé de sulfate de potassium et sélénium plus a l'aide d'une pipette sous la haute on ajoute 7ml d'acide sulfurique H_2SO_4 concentré et 5ml de H_2O_2 , on place nos matras dans le digesteur et lance l'opération , on attend jusqu'à obtention d'une solution limpide de couleur vert clair.

• **Distillation :**

Diluer le contenu du matras par addition de 30 a 40ml d'eau distillé dans une fiole de 50ml .verser le contenu dans un matras de distillation alcaliniser le contenu du ballon en introduisant 50ml de NaOH (35%).

Introduction dans un bécher 25ml d'acide borique (H_3BO_3) a 40g par litre et 2 a3gouttes de rouge de méthyle , distille jusqu'à ce que l'indicateur tourne a sa couleur alcaline .

Titrage :

On remplis notre burette, après l'avoir nettoyer avec l'eau distillé avec du HCL a 0.2N et on tire jusqu'à décoloration du rose présent pendant 30s.

IV-3-7- Dosage des protéines de la poudre de lactosérum par la méthode de Lowry (Lowry et al, 1951)

➤ **Principe :**

Le réactif de folinciocalteu est un mélange d'acide phosphomolybdique. En présence de protéines, il est réduit en un complexe de coloration bleu.

Les acides aminés, tyrosine, tryptophane, cystéine et dans une moindre mesure d'histidine, sont partiellement responsable de l'apparition de la coloration qui met en jeu un mécanisme plus complexe, mal connu. L'intensité de la coloration variera en fonction de la structure primaire de la protéine, donc d'une protéine à l'autre.

La méthode de Lowry qui fait précéder la réaction colorée par une action de sels de cuivre, en milieu basique, sur la liaison peptidique augmente la sensibilité.

La mesure de l'absorbance se fait à 600 ou 750 nm. La linéarisation de la réponse n'est obtenue que pour des concentrations inférieures à 10 mg/dm³.

➤ **Mode opératoire**

Réalisation de la gamme d'étalonnage (AnnexV) :

- Diluer précisément la solution mère d'albumine à 2g /l pour l'amener à 0,5 g/l ;
- Dans une série de tubes à essais, réaliser le tableau de dilution

[BSA] µl	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Solution mère(µ%)	0	200	400	600	800	1000
Eau distillée(µ)	1000	800	600	400	200	0
Solution réactive(ml)	5	5	5	5	5	5

- Agiter, attendre 10 ml

Réactif de folin ou 1 /3 (ml)	← 0,5 →
--------------------------------------	---------------------

- Agiter immédiatement chaque tube ;
- Laisser la coloration se développer 30min à l'obscurité ;
- Lire l'absorbance contre le blanc de gamme à 630min ;
- Tracer la courbe de ces absorbances en fonction de la concentration.

➤

➤ **Préparation de l'échantillon :**

Pour les échantillons de lactosérum brut, culot du sérum, une dilution au 1 /10 est réalisée

- Prélever 400µl de l'échantillon et ajouter 600µl d'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de solution C et traiter dans les mêmes conditions que les tubes de la gamme ;
- Les échantillons seront lus contre le blanc de la gamme.

IV-3-8- Dosage du lactose par la méthode de Bertrand

Principe :

Le lactose contenu dans la prise d'essai de solution à doser réduit partiellement un volume de liqueur cupro-alkaline. L'oxyde de cuivre formé est dosé par manganimétrie. La quantité d'oxyde de cuivre formé dépend de la quantité de sucre contenu dans l'échantillon. Le lactose est dosé sur le filtrat après défécation des échantillons par l'hexacyanoferrate II de zinc.

La quantité de Lactose est déterminée à partir du volume de permanganate de potassium mentionné dans la table de correspondance de Bertrand (Annexe 7.)

➤ Mode opératoire

1 –Défécation du lait :

Dans une fiole jaugée de 200 ml introduire dans l'ordre ;

- 20 ml de lait
 - 2 ml de solution d'hexacyanoferrate II de potassium à 15 %.
 - 2 ml d'acétate de Zinc à 30 %.
 - Environ 100 ml d'eau distillée.
- Agiter , puis ajuster à 200 ml .

Ajouter 2 ml d'eau distillée (afin de tenir compte du volume du précipité), agiter , laisser reposer 15 mn .

Filtrer sur filtre sans cendre.

2 –Précipitation du Cu_2O :Oxydation du lactose ou réduction de la L.F.

Dans une fiole conique de 150 ml introduire :

- 10 ml de filtrat obtenu + 10 ml d'eau distillée
- 20 ml de sol. De fehling A
- 20 ml de sol. De fehlingB , agiter

3 – Porter à ébullition modérée pendant 3 mn exactement , après les 3 mn laisser refroidir la fiole .

Remarque :

Le précipité ne doit jamais être en contact avec l'air (→réoxydation de Cu_2O)

3-Lavage du précipité de Cu_2O :

Laisser décanter Cu_2O ,le liquide surnageant doit être bleu ,sinon il y avait trop de sucre et il faudrait recommencer avec une prise d'essai plus faible.

Filtrer le liquide surnageant sur un filtre spécial monté sur une fiole à succion, il est conseillé de ne pas entraîné trop de Cu_2O sur le filtre.

Conserver toujours sur le filtre une mince couche de liquide, quand tout le liquide a été séparé du Cu_2O dans l'Ellen par décantation, délayer le précipité dans un peu d'au distillée récemment bouillie et refroidie, laisser reposer et décanter comme précédemment.

Recommencer 3 fois ce lavage ou bien 4 ,puis vider et rincer soigneusement la fiole à succion jusqu'à ce que les eaux de lavage soient incolores.

4 – Oxydation du Cu_2O :

- Dans la fiole contenant le précipité de Cu_2O (sous une couche d'eau) ajouter 20 ml de sulfate ferrique , Cu_2O se dissout .
- Agiter jusqu'à dissolution totale , la solution présente une coloration verte.
= (FeSO_4).
- Agiter et verser la solution sur le filtre pour dissoudre au passage le peu de Cu_2O retenu sur le filtre.

5 – Dosage du sel ferreux formé par KMnO_4 à (0,1 N):

- Titrer la solution de sulfate ferreux aussi obtenue par une solution titrée de KMnO_4 jusqu'à teinte rose stable quelques secondes (10 à 20 s).
- Soit v la chute de burette de KMnO_4 .

- Evaluation sensorielle

- Tests sensoriels :

Les tests sensoriels ont été réalisés sur les cinq échantillons de fromage fondu et ont porté sur deux critères le gout et la texture.

Les produits ont été numérotés comme suit :

A : fromage fondu à 25% de poudre de lactosérum

B : fromage fondu à 20% de poudre de lactosérum

C : fromage fondu à 15% de poudre de lactosérum

D : fromage fondu à 10% de poudre de lactosérum

E : fromage fondu à 0% de poudre de lactosérum

Pour le présent travail le nombre de panélistes retenu est de 10 (non professionnels) et le nombre de produits 5. Les panélistes doivent attribuer des notes de 1 à 5 pour chaque produit et chaque critère. Afin qu'ils ne soient pas influencés par des facteurs extrinsèques aux produits les échantillons doivent être homogènes (récipients, quantité et température) et présentés aux sujets d'une manière aléatoire et disposés en ligne.



La méthode de notation utilisée est la suivante :

Texture	Note	Gout
Fermeté très bonne brillante lisse	5	très Agréable
Fermeté bonne brillante lisse	4	agréable
Fermeté moyenne lisse	3	moyennement agréable
Fermeté mauvaise	2	Mauvais
Fermeté très mauvaise	1	très mauvais

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau V-6 où nous remarquons qu'il existe des réponses ex-aequo. Nous devons classer ces résultats de manière à ce que la somme des rangs soit la même pour tous les sujets

Chapitre V:

Résultats et discussions

V-1-Résultats des analyses physico-chimiques :

V-1-1-Matières première :

Les résultats des analyses physico-chimiques de la matière première (Cheddar, Poudres de lait à 26 et 0% de MG et la poudre de lactosérum) sont portés dans les tableaux N°V-1, V-2, V-3 et V-4

Tableau N° V-1 : analyses physico-chimique du cheddar :

paramètre	Cheddar	Norme AFNOR
pH	5.80	5.1-5.5
EST(%)	63.5	61-69%
MG (%)	33	30-38%

Les résultats portés sur le tableau V-1 nous montrent que les valeurs du pH; le taux en MG et le taux en EST ; du cheddar utilisé dans les essais de fabrication du fromage fondu, sont respectivement de 5.8 ; 33% et 63.5% et sont conforme a la norme AFNOR.

Tableau N° V -2 : les résultats physico-chimiques de la poudre de lait a 26% de matière grasse :

paramètre	Poudre de lait à 26%	Norme AFNOR
EST(%)	96.67	>96
MG(%)	25.6±1	26
H (%)	3.33	<4
Lactose(%)	38±4	39±3%
Les cendres(%)	6.74±1	7±1
Protéines(%) $\cdot(N \times 6,38)$	25±2.25	26±2%/

Les résultats des analyses physicochimiques de la poudre de lait, à26% de matière grasse, sont regroupés dans le tableau N° V -2 et nous révèlent que l'EST, la MG, le taux d'humidité, lactose, cendres et protéines sont conformes à la norme AFNOR.

Tableau N° V -3 : les résultats physico-chimiques de la poudre de lait a 0% de matière grasse :

Paramètre	Poudre de lait a 0%	Norme AFNOR
EST(%)	95.8	≥96
MG(%)	0	0
H (%)	4.2	<4%
Lactose(%)	54.5±2.6	53±3%
Les cendres(%)	6.8.±1.2	7±1
Protéines(%)	31.25±2	Min. 34%/ESM

Les résultats, mentionnés dans Le tableau N° V -3, nous montrent que les valeurs de l'EST, MG, Humidité, Lactose, cendres et protéines sont respectivement de 95.8%, 0%, 4.2%, 54.5%, 6.8% et 31% et ils sont conforme a la norme.

Les résultats physico-chimiques de la poudre de lactosérum sont regroupés dans le tableau N° V-4.

Tableau N° V -4 : les résultats physico-chimiques de la poudre de lactosérum:

Paramètres	Poudre de lactosérum	Norme AFNOR
EST(%)	97.3	>96
MG(%)	0	0
H (%)	2.7	<4%
Lactose(%)	90	-
Les cendres(%)	0.2	-
Protéines(%)	1.5	-

Les résultats montrés dans le tableau V-4 mettent en évidence la richesse de la poudre de lactosérum en lactose constituant prépondérant de la matière sèche où il représente en moyenne 90% de EST Cette valeur est très différente à celle obtenu par **Butylina 2006**) (77,26%). La teneur en protéines est de 1.5% et elle est très inférieur à celle rapportée par **Barba. (2002)** qui est de 7.69

g/l soit 12.40% de l'EST . La matière minérale du lactosérum en poudre représente 0.2% de la matière sèche, et elle est largement inférieure à 12.69%. Ces résultats mettent en évidence que le lactosérum, avant son séchage, a subi un traitement de déprotéinisation puis un second traitement de déminéralisation réalisé sur le lactosérum déprotéiné Les résultats nous montrent aussi que le taux en matière grasse est de 0% donc nous pouvons conclure que la faible quantité en matière grasse du lactosérum liquide a été récupérée avant les différents traitements cités auparavant.

V 1-2- Analyses physico-chimiques des produits

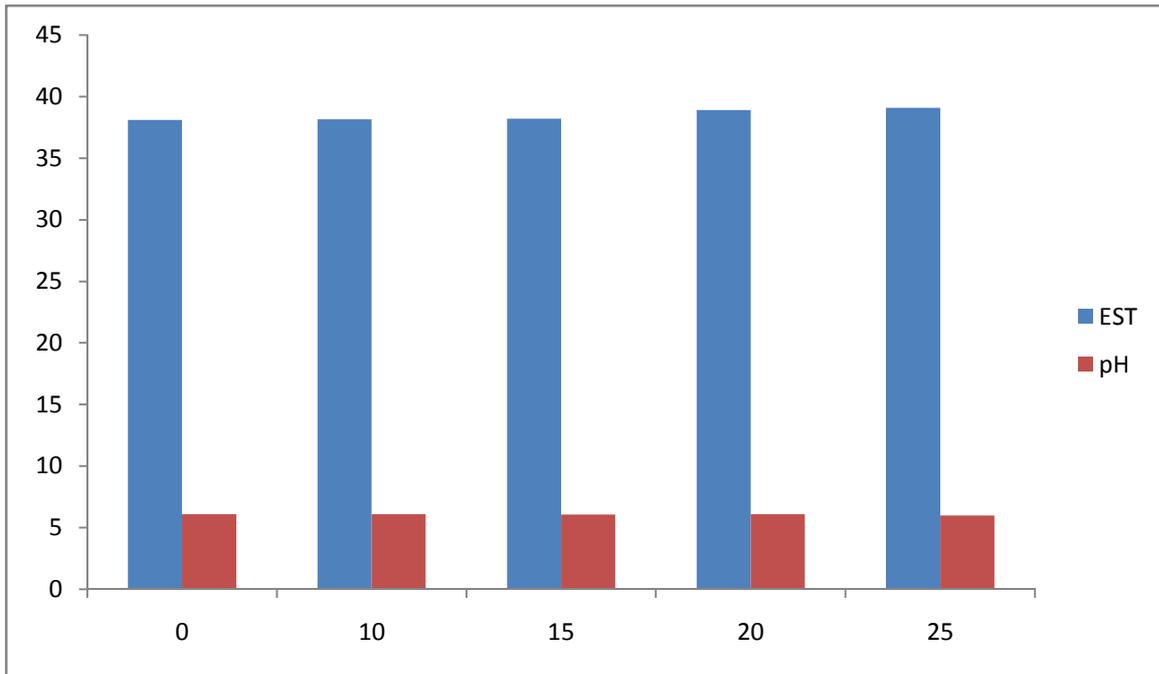
les résultats des analyses physico-chimique des produits A, B, C et D sont montrés dans le tableau V -5 et les figures V-1 et V-2

Tableau N° V-5 : Analyses physico-chimique des produits finis

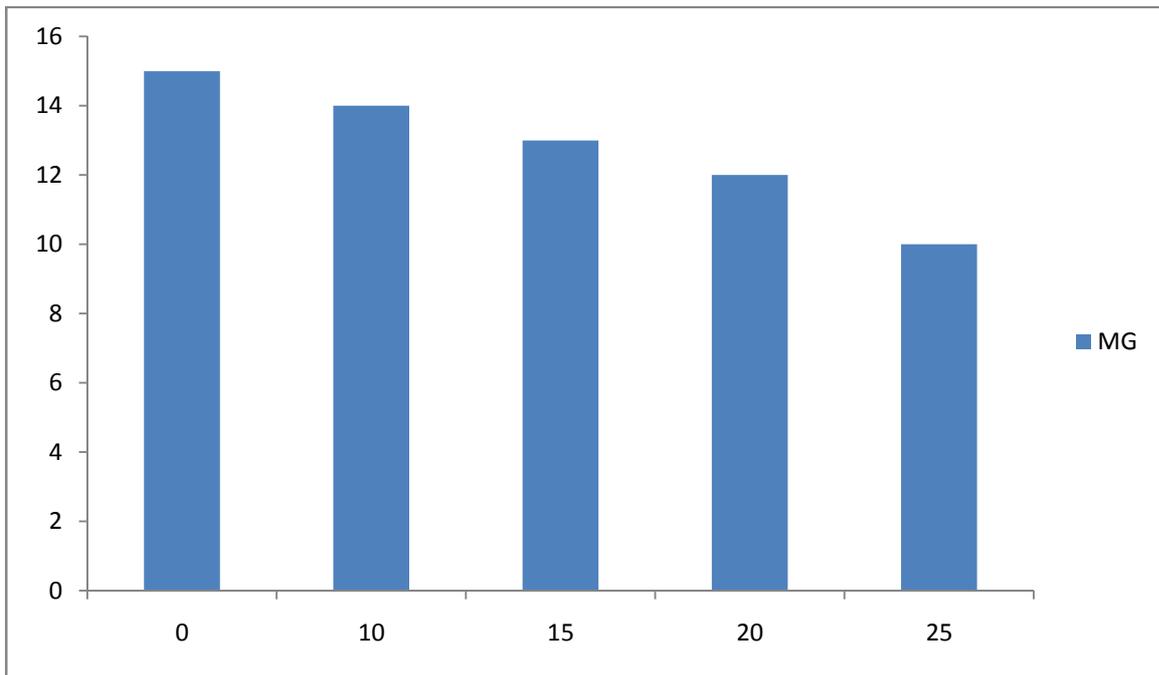
Paramètres Echantillons	pH	EST (%)	MG (%)
Produit à 0% (A)	6.08	38.10±1.5	15±0.1
Produit 10% (B)	6.08	38.15±1.5	14±0.1
Produit à 15% (C)	6.06	38.2±0.85	13±0.1
Produit à 20% (D)	6.10	38.9±1	12±0.1
Produit à 25% (E)	6.07	39.1±0.5	10±.1

Les résultats nous révèlent que le taux de matière grasse diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre de lactosérum dans la préparation des cinq essais du fromage fondu (figure V-1). Ce résultat peut être expliqué par le fait que le lactosérum en poudre est écrémé (0% de MG). En effet le taux de la matière grasse est de 0% (voir tableau V-4)

La figure V-2 nous montre que l'EST et le pH sont presque identiques pour les cinq essais de fromage (A, B, C, D et E).



La figure N^oV-1 – L'extrait sec total en % et le p H des différents essais du fromage fondu



La figure N^oV-2 La concentration MG des différents essais du fromage fondu

V 1-2- Evaluation sensorielle

V 1-2-1- Tests sensoriels :

Tableau N° V-6 : Résultats des scores des critères gout et texture

Produit / Panélistes	gout					texture				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	3	2	4	2	3	5	5	5	3	2
2	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	5	5	5	5	5
3	3	3	5	4	5	5	5	5	5	5
4	1	2	3	4	5	5	4	3	4	2
5	3	3	4	4	3	3	3.5	4	4	3
6	4	3	3	3	3	3	4	2	4	2
7	3	2	3	4	5	3	3	4	4	5
8	3	1	4	4	4	5	5	4	3	1
9	2	2	3	3.5	4.5	2	3	4	3.5	3
10	2	2.5	3	3.5	5	3.5	3.5	4	4	5

Dans notre cas la somme des rangs est égale à 15 les rangs ont été déterminés à partir des scores données par les panélistes. La somme des rangs par produit et par l'ensemble des sujets a été calculée. Les résultats sont consignés sur le tableau V-8 pour la texture et sur le tableau V-7 pour le gout

Tableau N° V 7 : Résultats de classement du critère Gout

sujet	Produits					SOMME
	A	B	C	D	E	
1	2.5	4.5	1	4.5	2.5	15
2	3.5	3.5	3.5	3.5	1	15
3	4.5	4.5	1.5	3	1.5	15
4	5	4	3	2	1	15
5	4	4	1.5	1.5	4	15
6	1	3.5	3.5	3.5	3.5	15
7	3.5	5	3.5	2	1	15
8	4	5	2	2	2	15
9	4.5	4.5	3	2	1	15
10	5	4	3	2	1	15
Σ Rang	37.5	42	25.5	26	19.5	30*

Tableau N° V 8 : Résultats de classement du critère texture

sujet	Produits					SOMME
	A	B	C	D	E	
1	2	2	2	4	5	15
2	3	3	3	3	3	15
3	3	3	3	3	3	15
4	1	2.5	4	2.5	5	15
5	4.5	3	1.5	1.5	4.5	15
6	3	1.5	4.5	1.5	4.5	15
7	4.5	4.5	2.5	2.5	1	15
8	1.5	1.5	3	4	5	15
9	5	3.5	1	2	3.5	15
10	4.5	4.5	2.5	2.5	1	15
Σ Rang	32	29	27	26.5	35.5	30*

V 1-2-2. Interprétation statistique des résultats (test de friedman)

L'interprétation statistique des résultats s'inspire du test de friedman basé sur le calcul de F.

Test de friedman :

C'est le test non paramétrique le plus employé en évaluation sensorielle car il correspond à une expérience équilibrée où n sujets ont noté chacun les p produits de l'étude. Les données sont donc appariées et la statistique du test utilise les rangs des produits.

Ces rangs peuvent être calculés à partir des notes données par les panélistes

Le test de Friedman est un test à X^2 d'écart entre la somme des rangs obtenus par chaque produit et une somme des rangs moyenne (celle qu'auraient tous les produits s'ils étaient classés ex-aequo soit $n(p+1)/2$)

$$Fr = \frac{12}{n * k * (k + 1)} * \sum SR_k^2 - 3 * n * (k + 1)$$

R_i désigne la somme des rangs affectés au produit i.

On calcule F sous la forme suivante :

F=nombre de sujets

P=nombre de produits

R_1, R_2, \dots, R_p = somme des rangs calculés à partir des scores donnés aux produits par les p-1 degré de liberté au niveau 5% (seuil de signification choisi $\alpha=0.05$) ou 1% ($\alpha= 0.01$) voir annexe ,tableau N°

Si F est supérieur à la valeur (s) on peut conclure à l'existence d'une différence significative globale entre les échantillons

Si F est inférieure à la valeur (s) lue sur la table (annexe N°III) on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les produits.

Calcul de la valeur de F du test de friedman pour le critère texture :

$$F = 12 \frac{[(32)^2 + (29)^2 + (27)^2 + (26.5)^2 + (35.5)^2]}{[5 \cdot 10 \cdot (5+1)] - 3 \cdot 10 \cdot (5+1)}$$

$$F = 1.83$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de :

$$L = 9.49$$

$F < L \longrightarrow$ les produits sont perçus comme étant significativement identiques.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère goût :

$$F = 12 \frac{[(37.5)^2 + (42)^2 + (25.5)^2 + (26)^2 + (19.5)^2] - 3 \cdot 10 \cdot (5+1)}{[5 \cdot 10 \cdot (5+1)] - 3 \cdot 10 \cdot (5+1)}$$

$$F = 15.07$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de :

$$L = 9.49$$

$F > L \longrightarrow$ les produits sont perçus comme étant significativement différents.

• Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux :

Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs. La plus petite différence significative est égale à :

$$\delta = Z \sqrt{\frac{n \cdot p \cdot (p + 1)}{6}}$$

Où Z est la valeur lue dans le tableau gaussien au niveau

$$[2 \alpha / p \times (p - 1)] \text{ c'est-à-dire } [(2 \cdot 5\%) / 5 \cdot (5-1)] = 0.5\%$$

$$\text{Donc : } Z = 2.80$$

$$\delta = 2.80 \sqrt{\frac{10 \cdot 5 \cdot (5+1)}{6}}$$

$$\delta = 19.79 ; \text{ dans notre cas :}$$

$|A-B| = |42-37.5| = 4.5 < 19.79$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A - C| = |37.5 - 25.5| = 12 < 19.79$: les produits A_1 et C_1 sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A - D| = |37.5 - 26| = 11.5 < 19.79$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement identiques

$|A - E| = |37.5 - 19.60| = 17.9 < 19.79$: les produits A et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B - C| = |42 - 25.5| = 16.5 < 19.79$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

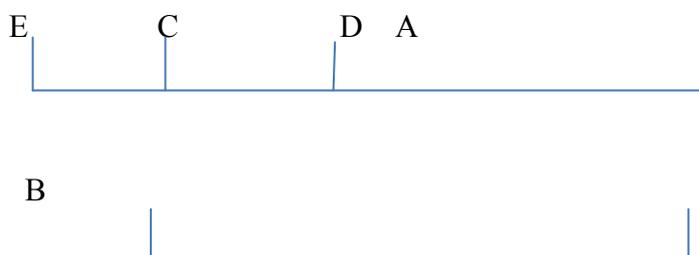
$|B - D| = |42 - 26| = 16 < 19.79$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B - E| = |42 - 19.6| = 22.4 > 19.79$: les produits B et E sont perçus comme étant significativement différents.

$|C - D| = |25.5 - 26| = 0.5 < 19.79$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C - E| = |26 - 19.6| = 6.4 < 19.79$: les produits C et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D - E| = |26 - 19.6| = 6.4 < 19.79$: les produits D et E sont perçus comme étant significativement identiques



L'analyse sensorielle des différents produits et l'interprétation statistique des résultats n'ont montré aucune différence significative entre les textures des cinq produits testés. Par contre du point de vue goût le test de Friedman a révélé qu'il y a une différence significative entre le produit E (0%), et le produit B (20%). Cependant les produits E (0%), C (15%), D(10%) et A (25%) sont perçus

comme étant significativement identiques. Et les produits A, B, C et D sont aussi significativement identiques. Nous pouvons conclure que le taux de substitution de la poudre de lait par la poudre de lactosérum, dans la recette du fromage fondu, peut atteindre 25% (produit A).

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de cette étude est l'utilisation du lactosérum sous forme de poudre comme substitut de poudre de lait dans la fabrication d'un fromage fondu.

La poudre de lactosérum utilisée dans notre travail est importée et commercialisée en Algérie. Alors que des quantités énormes de lactosérum, produites par les unités fromagères nationales, sont rejetées, provoquant ainsi une perte d'éléments nobles du lait et une pollution de notre environnement.

Les analyses physicochimiques réalisées sur la poudre de lactosérum ont montré que cette poudre est très riche en lactose (90%), est très pauvre en protéines et en minéraux. Par conséquent la poudre de lactosérum importée a subi, avant sa déshydratation, un traitement de déprotéinisation et de déminéralisation.

L'analyse sensorielle des différents produits et l'interprétation statistique des résultats n'ont montré aucune différence significative entre les textures des cinq produits testés. Cependant du point de vue goût le test de Friedman a révélé qu'il y a une différence significative entre le produit E (0%), et le produit B (20%), mais les produits E (0%), C (15%), D (10%) et A (25%) sont perçus comme étant significativement identiques au niveau 5%. Nous pouvons conclure que le taux de substitution de la poudre de lait par la poudre de lactosérum, dans la recette du fromage fondu, peut atteindre 25% (produit A).

Au vu des résultats encourageants obtenus, il apparaît clairement que l'aboutissement de ce travail apportera quelques réponses positives sur le plan écologiques, économique et nutritionnel.

Références bibliographique :

- **AFNOR 1986** : Méthodes d'analyses du lait et ses produits laitiers recueil des norms françaises 2eme edition ,580p.
- **Abdenouri N.,Idlimam A et. Kouhila M**: Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger (2008) 35 – 44 Etude hygroscopique du lait en poudre
- **ARIE. F, SriKumalaningsh et Ariesta .W (2012)**Process engineering of drying milk powder withFoam mat dryning method.journal of basic and appliedscientificresearch 2(4) :3588-3592
- **Apria; 1980** colloque les industries alimentaires et la restauration collective, Paris 80.
- **AZZA.M.M.Deeb.Al Hawary. Aman et Doaa M H Shahine(2010)**Bactériologicalin vestigation on milkpowder in the Egyptien mark et with emphasis on its safety.journal Global veterinaria .4(5) :424-433.
-
- **Berrocal. R, 2000**. Le lait aliment de santé. Résumés des conférences. INPL, pp : 1-14.
- **Boudier.J.F, F.M.Luquet ; 1981**. Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale ; Apria, paris
- **Bourgogne.A ; 2001** technologie propre appliquées aux industries agroalimentaire ; dijon France 26.
- **Boutonnier J.L 2000** .Fabrication du fromage fondu Technique de l'ingénieur,F6310
- **Castro-MOREL M ,HARPER WJ.(2003)**.Effect of retentateheattreatment and spray dryerinlet température on the properties of milk protein concentrates (MPC'S) Milch wissen schaft 58 :13-15.
- **Chagnon.N ; 1997**. Développement d'un bio réacteur à écoulement radial pour la production d'acide propionique ; canada 156.
- **Codex Alimentaire Standard,286,178**
- **Eck.A, Cillis.G.C.1997** Le fromage (2ème édition, 3ème édition) Lavoisier Tec & Doc)
- **Eugenia.Lucena.M ; Alvarez Silivia ; Menendez Carlos Francisco A ; Riera et Alvarez Ricardo. B, 2006**. lactoglobuline removal form whey protein concentrates production of milk derivatives as a base for infant formulas, separation and purification technology 52.
- **Gassi.J.Y, Camier-Caudron.B., Schuck.P, Goudédranche.H, 2002**. Procédé de Transformation Fromagère (partie 3). Technique de l'ingénieur.
- **Gaucheron.F.2004** .Minéraux et Produit, Quebec (2ème édition). Edition Tec &Doc

- **Jacques.D , 1993** valorisation des sous-produits de l'industrie de transformation du lait ; cahier technique réalisé pour le centre québécois de valorisation de la biomasse, Ste-foy canada
- **KAREN Smith. (2008)** . Dried Dairy Ingredients. 60p
- **Kim, H. J., Feng, H., Kushad, M. M., & Fan, X. (2006).**Effects of ultrasound, irradiation and acidicelectrolyzed water on germination of alfalfa and broccoliseeds and Escherichia coli O157:H7. Journal of Food Science, 71(6), m168em173.
- **Luquet. M ; 1985.** Laits et produits laitiers : vaches, brebis, chèvres : transformations et technologies, Ed Lavoisier, paris 637.p.
- **Linden et Lorient, 1994.** Biochimie, Agro-industrielle: Valorisation alimentaire de la production agricole. Masson Paris Milan Barcelone, 392p.
- **Membrez. Y, Fruteau de Laclos. H, 2004.** Energie à partir de petit-lait. Comparaison des filières biogaz et bioéthanol, N° 100203, p 15-103.
- **Moletta.R et Torrijos.M ; 2001.** Traitement des effluents de la filière laitière. Techniques de ingénieur, traité de génie de procédés, F 1501
- **Noznick. P.P (1982).** Dairy Ingredients in food. Bulletin de la Fédération Internationale Laiterie 60-66.
- **Rons ,Ronimus, Lynne.E,Parker ,Nicola Turner ,Sushma Poudel, Andreas, Ruckert et Hugh.W Morgan.(2002).**A RAPD basedcomparison of thermophilic bacilli from milk powders,international journal of food Microbiologie.96:263-272
- **Sottiez, 1985.** Laits et produits laitiers Tech et Doc.Lavoisier,
- **Violleau. V-J, 1999.** Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse.

Annexe I

Préparation des solutions

❖ *Réactifs Lowry*

- **Réactif de Folin commercial** : à diluer 3 fois dans l'eau distillée au moment de l'ampoli.

- **Solution alcalin A**

Soude 0.1N (0.4g/100ml)100ml

Carbonate de sodium Na_2CO_3 à 2g.....100ml

- **Solution B**

Tartrate double de Na et K 1g.....100ml

- **Solution C**

Sulfate de cuivre 0.5g.....50ml

- **Solution réactive**

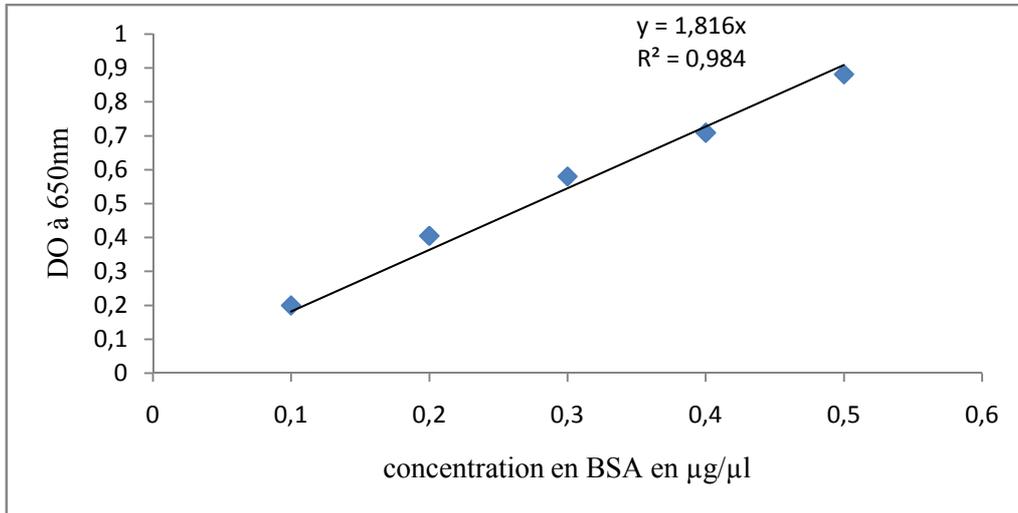
Préparer extemporanément la solution réactive en respectant l'ordre d'addition des réactifs en agitant bien après chaque addition

Solution C.....0.5ml

Solution B.....0.5ml

Solution A.....50ml

Annexe II



Courbe d'étalonnage

Annexe III

Tableau N°1

KMnO ₄ 0.1N	Lactose hydraté	KMnO ₄ 0.1N	Lactose Hydraté	KMnO ₄ 0.1N	Lactose hydraté
5.0	23.6	9.0	43.5	13.0	64.1
5.1	24.1	9.1	44.0	13.1	64.7
5.2	24.6	9.2	44.5	13.2	65.2
5.3	25.1	9.3	45.0	13.3	65.7
5.4	26.1	9.4	45.5	13.4	66.2
5.5	26.6	9.5	46.0	13.5	66.8
5.6	27.1	9.6	46.5	13.6	67.3
5.7	27.6	9.7	47.1	13.7	67.8
5.8	27.6	9.8	47.6	13.8	68.4
5.9	28.0	9.9	48.1	13.9	68.9
6.0	28.5	10.0	48.6	14.0	69.4
6.1	29.0	10.1	49.1	14.1	69.9
6.2	29.5	10.2	49.6	14.2	70.5
6.3	30.0	10.3	50.1	14.3	71.0
6.4	30.5	10.4	51.2	14.4	71.5
6.5	31.0	10.5	51.6	14.5	72.0
6.6	31.5	10.6	51.7	14.6	72.6
6.7	32.0	10.7	52.2	14.7	73.1
6.8	32.5	10.8	52.7	14.8	73.6
6.9	33.0	10.9	53.2	14.9	74.1
7.0	33.5	11.0	53.7		
7.1	34.0	11.1	54.2		
7.2	34.5	11.2	54.8		
7.3	35.0	11.3	55.3		
7.4	35.5	11.4	55.8		
7.5	36.0	11.5	56.3		
7.6	36.5	11.6	56.8		
7.7	37.0	11.7	57.4		
7.8	37.5	11.8	57.9		
7.9	38.0	11.9	58.4		
8.0	38.5	12.0	58.9		
8.1	39.0	12.1	59.9		
8.2	39.5	12.2	60.0		
8.3	40.0	12.3	60.5		
8.4	40.5	12.4	61.0		
8.5	41.0	12.5	61.5		
8.6	41.5	12.6	62.1		
8.7	42.0	12.7	62.6		

Tableau N°2
Table de $Kh^i X^2$

DDL α	10%	5%	2.5%	1%	1‰
1	2.71	3.84	5.02	6.63	10.83
2	4.61	5.99	7.38	9.21	13.82
3	6.25	7.81	9.35	11.34	16.27
4	7.78	9.49	11.14	13.28	18.47
5	9.24	11.07	12.83	15.09	20.52
6	10.64	12.59	14.45	16.81	22.46
7	12.02	14.07	16.01	18.47	24.32
8	13.36	15.51	17.53	20.09	26.13
9	14.68	16.92	19.02	21.67	27.88
10	15.99	18.31	20.48	23.21	29.59
11	17.27	19.67	21.92	24.72	31.26
12	18.55	21.03	23.34	26.22	32.91
13	19.81	22.36	24.74	27.69	34.53
14	21.06	23.68	26.12	29.14	36.12
15	22.31	25.00	27.49	30.58	37.70
16	23.54	26.30	28.84	32.00	39.25
17	24.77	27.59	30.19	33.41	40.79
18	25.99	28.87	31.53	34.80	42.31
19	27.20	30.14	32.85	36.19	43.82
20	28.41	31.41	34.17	37.57	45.32
21	29.61	32.67	35.48	38.93	46.80
22	30.81	33.92	36.78	40.29	48.27
23	31.01	35.17	38.08	41.64	49.73
24	33.20	36.41	39.37	42.98	51.18
25	34.38	37.65	40.64	44.34	52.62
26	35.56	38.88	41.92	45.64	54.05
27	36.74	40.11	43.19	46.96	55.48
28	37.92	41.34	44.46	48.28	56.89
29	39.09	42.56	45.72	49.59	58.30
30	40.26	43.77	46.98	50.89	59.70

Tableau N°3

Tables of the normal distribution

<i>z</i>	α	<i>z</i>	<i>A</i>								
0.00	0.5000	1.00	0.1587	2.00	0.0228	0.00	1.0000	1.00	0.3174	2.00	0.0456
0.02	0.4920	1.02	0.1539	2.02	0.0217	0.02	0.9840	1.02	0.3064	2.02	0.0434
0.04	0.4840	1.04	0.1492	2.04	0.0207	0.04	0.9680	1.04	0.2984	2.04	0.0414
0.06	0.4761	1.06	0.1446	2.06	0.0197	0.06	0.9522	1.06	0.2892	2.06	0.0394
0.08	0.4681	1.08	0.1401	2.08	0.0188	0.08	0.9362	1.08	0.2802	2.08	0.0376
0.10	0.4602	1.10	0.1357	2.10	0.0179	0.10	0.9204	1.10	0.2714	2.10	0.0358
0.12	0.4522	1.12	0.1314	2.12	0.0170	0.12	0.9044	1.12	0.2628	2.12	0.0340
0.14	0.4443	1.14	0.1271	2.14	0.0162	0.14	0.8886	1.14	0.2542	2.14	0.0324
0.16	0.4364	1.16	0.1230	2.16	0.0154	0.16	0.8728	1.16	0.2460	2.16	0.0308
0.18	0.4286	1.18	0.1190	2.18	0.0146	0.18	0.8572	1.18	0.2380	2.18	0.0292
0.20	0.4207	1.20	0.1151	2.20	0.0139	0.20	0.8414	1.20	0.2302	2.20	0.0278
0.22	0.4129	1.22	0.1112	2.22	0.0132	0.22	0.8258	1.22	0.2224	2.22	0.0264
0.24	0.4052	1.24	0.1075	2.24	0.0125	0.24	0.8104	1.24	0.2150	2.24	0.0250
0.26	0.3974	1.26	0.1038	2.26	0.0119	0.26	0.7948	1.26	0.2076	2.26	0.238
0.28	0.3897	1.28	0.1003	2.28	0.0113	0.28	0.7794	1.28	0.2006	2.28	0.0226
0.30	0.3821	1.30	0.0968	2.30	0.0107	0.30	0.7642	1.30	0.1936	2.30	0.0214
0.32	0.3745	1.32	0.0934	2.32	0.0102	0.32	0.7490	1.32	0.1868	2.32	0.0204
0.34	0.3669	1.34	0.0901	2.34	0.0096	0.34	0.7338	1.34	0.1802	2.34	0.0192
0.36	0.3594	1.36	0.0869	2.36	0.0091	0.36	0.7188	1.36	0.1738	2.36	0.0182
0.38	0.3520	1.38	0.0838	2.38	0.0087	0.38	0.7040	1.38	0.1676	2.38	0.0174
0.40	0.3446	1.40	0.0808	2.40	0.0082	0.40	0.6892	1.40	0.1616	2.40	0.0164
0.42	0.3372	1.42	0.0778	2.42	0.0078	0.42	0.6744	1.42	0.1556	2.42	0.0156
0.44	0.3300	1.44	0.0749	2.44	0.0073	0.44	0.6600	1.44	0.1498	2.44	0.0146
0.46	0.3228	1.46	0.0721	2.46	0.0069	0.46	0.6456	1.46	0.1444	2.46	0.0138
0.48	0.3156	1.48	0.0694	2.48	0.0066	0.48	0.6312	1.48	0.1388	2.48	0.0132
0.50	0.3085	1.50	0.0668	2.50	0.0062	0.50	0.6170	1.50	0.1336	2.50	0.0124
0.52	0.3015	1.52	0.0643	2.52	0.0059	0.52	0.6030	1.52	0.1286	2.52	0.0118
0.54	0.2946	1.54	0.0618	2.54	0.0055	0.54	0.5892	1.54	0.1236	2.54	0.0110
0.56	0.2877	1.56	0.0594	2.56	0.0052	0.56	0.5754	1.56	0.1188	2.56	0.0104
0.58	0.2810	1.58	0.0571	2.58	0.0049	0.58	0.5620	1.58	0.1142	2.58	0.0098
0.60	0.2743	1.60	0.0548	2.60	0.0047	0.60	0.5486	1.60	0.1096	2.60	0.0094
0.62	0.2676	1.62	0.0526	2.62	0.0044	0.62	0.5352	1.62	0.1052	2.62	0.0088
0.64	0.2611	1.64	0.0505	2.64	0.0041	0.64	0.5222	1.64	0.1010	2.64	0.0082
0.66	0.2546	1.66	0.0485	2.66	0.0039	0.66	0.5092	1.66	0.0970	2.66	0.0078
0.68	0.2483	1.68	0.0469	2.68	0.0037	0.68	0.4966	1.68	0.0930	2.68	0.0074
0.70	0.2420	1.70	0.0446	2.70	0.0035	0.70	0.4840	1.70	0.0892	2.70	0.0070
0.72	0.2358	1.72	0.0427	2.72	0.0033	0.72	0.4716	1.72	0.0854	2.72	0.0066
0.74	0.2296	1.74	0.0409	2.74	0.0031	0.74	0.4592	1.74	0.0818	2.74	0.0062
0.76	0.2236	1.76	0.0392	2.76	0.0029	0.76	0.4472	1.76	0.0784	2.76	0.0058
0.78	0.2176	1.78	0.0375	2.78	0.0027	0.78	0.4354	1.78	0.0750	2.78	0.0054
0.80	0.2119	1.80	0.0359	2.80	0.0026	0.80	0.4238	1.80	0.0718	2.80	0.0052
0.82	0.2061	1.82	0.0344	2.82	0.0024	0.82	0.4122	1.82	0.0688	2.82	0.0048

0.94	0.2005	1.84	0.0329	2.84	0.0023	0.94	0.4010	1.84	0.0658	2.84	0.0046
0.96	0.1949	1.86	0.0314	2.86	0.0021	0.96	0.3898	1.86	0.0628	2.86	0.0042
0.98	0.1894	1.88	0.0301	2.88	0.0020	0.98	0.3788	1.88	0.0602	2.88	0.0040
0.90	0.1841	1.90	0.0287	2.90	0.0019	0.90	0.3682	1.90	0.0574	2.90	0.0038
0.92	0.1788	1.92	0.0274	2.92	0.0018	0.92	0.3556	1.92	0.0548	2.92	0.0036
0.94	0.1736	1.94	0.0262	2.94	0.0016	0.94	0.3472	1.94	0.0524	2.94	0.0032
0.96	0.1685	1.96	0.0250	2.96	0.0015	0.96	0.3370	1.96	0.0500	2.96	0.0030
0.98	0.1635	1.98	0.0239	2.98	0.0014	0.98	0.3270	1.98	0.0478	2.98	0.0028

Résumé :

L'objectif de cette étude est l'utilisation du lactosérum sous forme de poudre comme substitut de poudre de lait dans la fabrication d'un fromage fondu. Les analyses physicochimiques réalisées sur la poudre de lactosérum ont montré que cette poudre est très riche en lactose (90%), et il s'agit d'une poudre de lactosérum déminéralisé et déprotéiné. L'évaluation sensorielle portant sur le gout et la texture des produits A,B,C,D et E testés ont révélé qu'il n'y a pas de différence significative, au niveau 5%, entre les différents produits. Mais il existe une différence significative entre le produit E et le produit B. Par conséquent le taux de substitution de la poudre de lait par la poudre de lactosérum, dans la recette du fromage fondu, peut atteindre 25% (produit A).

Résumer :

The objective of this study is to use powdered whey as a milk powder substitute in the manufacture of a processed cheese. The physicochemical analyzes carried out on the whey powder showed that this powder is very rich in lactose (90%), and is a demineralized and deprotected whey powder. The sensory evaluation of the taste and texture of the products A, B, C, D and E tested revealed that there was no significant difference at the 5% level between the different products. But there is a difference between the products B and E, the substitution rate of milk powder by the whey powder in the recipe for processed cheese can reach 25% (product A).

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استخدام مصلى اللبن مسحوق كبديل الحليب المجفف في صناعة الجبن المطبوخ. وأظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية من مسحوق مصلى اللبن أنه مسحوق غني باللاكتوز (90٪). كشف التقييم الحسي من الطعم والملمس من المنتجات A، B، C، D و E أنه لا يوجد فرق كبير في مستوى 5٪، وبين المنتجات المختلفة ولكن هناك فرق إلى حد كبير بين المنتج E والمنتج B. ولذلك، فإن معدل استبدال مسحوق الحليب مسحوق مصلى اللبن في وصفة الجبن، يمكن أن تصل إلى 25٪ (المنتج A).