

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'enseignement  
Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques Département de  
Biochimie – Microbiologie



# Mémoire



De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Biochimie de la Nutrition.

Thème

**Etude de l'impact des traitements thermiques sur trois marques de  
poudres de lait commercialisées en Algérie (dénaturation protéique)**

Proposé et Dirigé par : M<sup>me</sup> OUALI-ABDOUNE S.

Maître assistante « A », chargée de cours à l'UMMTO

Réalisé par :

M<sup>lle</sup> BOUCHAFA Mélissa

M<sup>lle</sup> HAMMAZ Dehbia

Devant le jury :

Président : Mr MOUALEK Idir

MCA

UMMTO

Examinatrice : Mme LEKSIR-MANSOUR Choubaila

MCB

UMMTO

Année universitaire :  
2022 – 2023

## *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions **Dieu** le tout puissant et le miséricordieux de nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour pouvoir réaliser ce Modeste travail.*

*D'abord, nous aimerions exprimer nos sincères remerciements à notre promotrice, Mme **Ouali-Abdoune Samia**, pour nous avoir suggéré ce thème, et pour ses encouragements et toutes ses corrections, qui nous ont grandement aidés à mener à bien notre mémoire de fin d'étude.*

*Nous sommes également reconnaissantes aux membres du jury Mr **Moualek Idir** et Mme **Leksir Choubaila**, pour avoir accepté de lire et évaluer notre travail.*

# Dédicace



Je dédie cet humble travail concrétisant plusieurs années d'efforts et de travail acharné dans mes études à :

À mes chers parents, qui m'ont tout donné depuis le début et qui ont veillé à ce que rien ne me manque tout au long de ces années.

À mon cher défunt grand père, que j'aurais aimé voir présent le jour de ma graduation et à mes deux grands mère **Dehbia** et **Fatma**.

À mon cher frère **Kamel** et ma chère sœur **Tinhinane**, qui ont su me motiver et me pousser à donner le meilleur de moi-même.

Une spéciale dédicace à **Dehbia**, ma chère amie avant d'être mon binôme.

À mon cher **Nounouche**, qui a toujours été à mes côtés, à me soutenir et à m'encourager.

A toute ma famille, mes tantes et mes oncles.

À toutes mes amies, **Yasmine**, **Thilleli**, **Wissem**, sans qui ces 5 ans d'études auraient été beaucoup moins intéressantes.

À tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce modeste travail,

Je vous remercie.

**Melissa**

# Dédicace



*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :*

*« Mes chers parents »*

*À qui je dois ma réussite, mes parents qui m'ont soutenue, encouragée et aidée tout au long de mon parcours. Aucun mot ne pourrait exprimer la gratitude et l'amour que je vous porte. "Yemma", "Baba", merci pour vos efforts, vos sacrifices et votre amour durant toute ma vie. Que Dieu vous protège et vous préserve, j'espère être à la hauteur de vos attentes et vous rendre, toujours, fiers de moi.*

*« Ma chère petite sœur "Sarah" »*

*Qui a toujours été à mes côtés, dans mes hauts et mes bas, je te dis merci pour ton soutien, ta patience et tes encouragements.*

*« Mes chers petits frères "Massinissa" et "Samir" »*

*Que j'espère voir, un jour, réussir dans leurs études et leurs vies.*

*« Ma meilleure amie "Louloucha" »*

*Ma confidente, et ma deuxième sœur qui a toujours été là pour moi.*

*« Mon cher binôme et avant tout, amie, "Melissa Bouchafa" »*

*À qui je souhaite la réussite, c'était un honneur de travailler ensemble.*

*« Ma très chère amie "Yasmine Akli" »*

*Que j'ai connue durant mes années universitaires, qui grâce à elle, ont été merveilleuses.*

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail,*

*Je vous remercie.*

**Dehbia**

# Sommaire

## Remerciements

## Dédicaces

## Liste des abréviations

## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Introduction générale..... 1

## Chapitre 1 : Les poudres de lait

### 1. Définition de la poudre de lait..... 2

### 2. Classification de la poudre de lait..... 2

#### 2.1 Selon le taux en matière grasse..... 2

##### 2.1.1 Le lait en poudre entier..... 2

##### 2.1.2 Le lait en poudre partiellement écrémé ..... 2

##### 2.1.3 Le lait en poudre écrémé ..... 3

#### 2.2 Selon le taux de dénaturation des protéines..... 3

### 3. Propriétés nutritionnelles et organoleptiques des poudres de lait..... 4

#### 3.1 Nutritionnelles ..... 4

#### 3.2 Organoleptiques..... 4

### 4. Propriétés des poudres de lait ..... 5

#### 4.1 Propriétés biochimiques et physico-chimiques ..... 5

##### 4.1.1 Teneur en eau (ou humidité) ..... 5

##### 4.1.2 Activité de l'eau ..... 5

##### 4.1.3 Masse volumique..... 5

##### 4.1.4 Granulométrie..... 5

##### 4.1.5 Ecoulement – éboulement ..... 6

##### 4.1.6 Propriétés de réhydratation..... 6

##### 4.1.7 La mouillabilité ..... 6

##### 4.1.8 La solubilité..... 6

##### 4.1.9 Propriétés microbiologiques..... 7

### 5. Procédés de fabrication de la poudre de lait..... 8

#### 5.1 Matière première : lait cru ..... 9

#### 5.2 La réception ..... 9

#### 5.3 La clarification..... 9

#### 5.4 Le refroidissement et le stockage ..... 9

#### 5.5 La normalisation ..... 9

#### 5.6 Le traitement thermique..... 9

5.7	Emballage et stockage .....	10
<b>6.</b>	<b>Utilisation des poudres de lait .....</b>	<b>10</b>
6.1	Poudre de lait entier .....	10
6.2	Poudre de lait écrémé.....	11

## **Chapitre 2 : Les traitements thermiques et leurs effets**

<b>1</b>	<b>Les différents types de traitements thermiques.....</b>	<b>12</b>
1.1	Pasteurisation.....	12
1.2	Stérilisation.....	13
1.3	Technique UHT (Ultra-haute-température).....	14
1.4	Séchage par atomisation (pulvérisation).....	14
1.5	Concentration par évaporation.....	15
<b>2</b>	<b>Effet des traitements thermiques .....</b>	<b>15</b>
2.1	Effet sur la structure des protéines.....	16
2.1.1	Protéines sériques .....	16
2.1.2	Les caséines.....	20
2.2	Effet sur la structure des lipides.....	20
2.3	Effet sur les vitamines .....	21
2.4	Effet sur les composants glucidiques.....	22
2.5	Effet sur les minéraux.....	22
2.6	Effet sur les enzymes .....	23

## **Matériels et méthodes**

<b>1.</b>	<b>Matériels.....</b>	<b>24</b>
1.1	Matière première.....	24
1.2	Appareillage.....	24
1.3	Produits chimiques .....	24
1.4	Matériel biologique.....	25
<b>2.</b>	<b>Méthode : Analyses physico-chimiques.....</b>	<b>25</b>
2.1	Mesure du pH .....	25
2.2	Acidité titrable .....	25
2.3	Détermination de la teneur en protéines .....	26
2.4	Calcul du taux de dénaturation des protéines .....	28

## **Résultats et discussion**

<b>1. Résultats des analyses physico-chimiques.....</b>	<b>30</b>
1. 1 Mesure du pH des laits en poudre.....	30
1. 2 Mesure de l'acidité titrable .....	31
1. 3 Teneur en protéines totales .....	32
<b>2. Evaluation de l'impact des traitements thermiques sur le complexe protéique.....</b>	<b>33</b>

<b>Conclusion.....</b>	<b>36</b>
------------------------	-----------

<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>37</b>
--	-----------

**Annexes**

**Résumé**

## Liste des abréviations

**ATP** : Adénosine Triphosphate

**BSA** : Sérum Albumine Bovine

**Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>** : Phosphate de calcium

**CN-κ / κ-caséine** : Caséine Kappa

**DLC** : Date Limite de Consommation

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**HTST** : High Temperature Short Time

**ISO** : Organisation Internationale de normalisation

**Jora** : Journal Officiel de la République Algérienne

**Pe** : Pression de vapeur de l'eau pure

**pH** : Potentiel Hydrogène

**Pp** : Pression de vapeur d'eau du produit

**SH** : Groupement thiol

**S-S** : Ponts disulfure

**UHT** : Ultra-haute-température

**UV** : Ultra-Violet

**USD** : Dollars des États-Unis

**WPNi** : Whey Protein Nitrogen Index

**β-Lg** : β-lactoglobuline

**α-La** : α-lactalbumine

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma général des étapes de la fabrication de la poudre de lait .....	8
<b>Figure 2</b> : Pasteurisateur pour produits laitiers.....	12
<b>Figure 3</b> : Stérilisateur tubulaire des produits laitiers .....	13
<b>Figure 4</b> : Lien disulfure entre la $\beta$ -lactoglobuline et la micelle de caséines .....	17
<b>Figure 5</b> : Schéma montrant les interactions de protéines possibles dans le lait soumis à un traitement thermique.....	18
<b>Figure 6</b> : Les différentes structures de la $\beta$ -lactoglobuline après traitement thermique .....	19
<b>Figure 7</b> : Courbe étalon $DO=f[BSA]$ du dosage des protéines par la méthode de <b>LOWRY et al (1951)</b> .....	28
<b>Figure 8</b> : représentation graphique des valeurs de l'acidité titrable des laits analysés.....	30
<b>Figure 9</b> : représentation graphique des valeurs de l'acidité titrable des laits analysés.....	31
<b>Figure 10</b> : représentation graphique des teneurs en protéines des trois poudres de lait analysées.....	32
<b>Figure 11</b> : représentation graphique du taux de dénaturation thermique des protéines des laits en poudre analysés .....	33

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Composition générale du lait en poudre entier .....	2
<b>Tableau II :</b> Composition générale du lait partiellement écrémé en poudre .....	3
<b>Tableau III :</b> Composition générale du lait écrémé en poudre .....	3
<b>Tableau IV :</b> Classification des poudres de lait écrémé en fonction de leur indice d'azote protéique de lactosérum non dénaturé « WPNi » .....	4
<b>Tableau V :</b> Résumé de quelques bactéries associées à la poudre de lait .....	7
<b>Tableau VI :</b> Exemple de barèmes de pasteurisation, établis pour différents produits alimentaires .....	12
<b>Tableau VII :</b> Exemple de produits déshydratés par atomisation .....	14
<b>Tableau VIII :</b> Avantages et inconvénients de la pulvérisation lors du séchage .....	15
<b>Tableau X :</b> Dénaturation complète par la chaleur des diverses fractions protéiques du lait de vache .....	20
<b>Tableau XI :</b> Effets de divers traitements thermiques sur certaines vitamines du lait .....	21
<b>Tableau XII :</b> Effets de divers traitements thermiques sur la qualité du lait .....	23
<b>Tableau XIII :</b> Préparation de la solution mère de BSA .....	27



# ***Introduction***

## **Introduction générale**

Les Algériens consomment des quantités énormes de lait chaque année. Ce niveau élevé de consommation oblige les organismes publics à importer à des prix élevés, des quantités importantes de lait afin de compenser le déficit de production laitière. Chaque année, l'Algérie importe 40% du lait qu'elle consomme, principalement sous forme de lait entier en poudre (**Imadalou,2020**). Ainsi, l'Algérie occupe la deuxième place mondiale en termes d'importations de lait et de produits laitiers, après la Chine. La facture d'importation de lait en poudre coûte à l'ensemble du pays 1,5 milliard USD/an (**Demmad, 2021**).

La production de la poudre de lait permet de réduire énormément le coût des transports et de stockage puisque, uniquement 100 à 150g de poudre de lait sont nécessaire pour reproduire 1 litre de lait, réduisant donc 80% de son volume, en plus de l'économie d'énergie lors des deux processus de transport et de stockage n'ayant pas recours à la réfrigération. La poudre de lait possède une durée de conservation plus longue, (3 fois plus longue que celle de l'UHT liquide). De plus, elle conserve les mêmes propriétés nutritionnelles que le lait liquide.

Pour sa fabrication, le lait subit plusieurs traitements thermiques présentant un impact mettant en doute sa qualité nutritionnelle. Les protéines sont thermosensibles, et il s'agit de la raison principale qui pousse à suspecter la qualité nutritionnelle des poudres de lait.

Notre travail se portera sur l'étude de la qualité de trois poudres de lait les plus consommées en Algérie. En étudiant certains paramètres physico-chimiques (pH et acidité), ainsi que sa teneur en protéines et le taux de dénaturation de ces dernières.

# **Chapitre 1 :**

Les poudres de lait

## 1. Définition de la poudre de lait

Le « lait sec » est le produit obtenu par dessiccation d'un lait (entier, partiellement ou totalement écrémé, additionné ou non de saccharose) propre à la consommation humaine. Sa teneur en eau ne doit pas dépasser 4% (Eeckhoutte, 1995).

Selon la norme **FAO (2018)**, le lait en poudre est divisé en trois catégories : entier, partiellement écrémé et totalement écrémé ; les additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants) peuvent être utilisés en suivant certaines conditions.

La matière grasse de la poudre s'oxyde très rapidement et est capable d'attribuer un goût désagréable aux produits reconstitués (Ghaoues, 2011).

## 2. Classification de la poudre de lait

Les poudres de lait sont classées en fonction de ses composantes :

### 2.1 Selon le taux en matière grasse

#### 2.1.1 Le lait en poudre entier

C'est un lait déshydraté contenant, en poids, au moins 26% de matières grasses (tableau I) :

**Tableau I** : Composition générale du lait en poudre entier (FAO, 2018)

Composants	Pourcentage % (m/m)
Teneur en matière grasse	Minimale 26% et inférieure à 42% m/m
Teneur maximale en eau	5% m/m
Teneur minimale en protéine du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

#### 2.1.2 Le lait en poudre partiellement écrémé

C'est un lait déshydraté dont la teneur en matière grasse est, en poids, supérieure à 1.5% et inférieure à 26% (tableau II) :

**Tableau II** : Composition générale du lait partiellement écrémé en poudre (FAO, 2018)

Composants	Pourcentage % (m/m)
Teneur en matière grasse	Plus de 1.5% et moins de 26% m/m
Teneur maximale en eau	5% m/m
Teneur minimale en protéine du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

### 2.1.3 Le lait en poudre écrémé

C'est un lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1.5% de matières grasses (tableau III) :

**Tableau III** : Composition générale du lait écrémé en poudre (FAO, 2018)

Composants	Pourcentage % (m/m)
Teneur en matière grasse	Inférieur à 1.5% m/m
Teneur maximale en eau	5% m/m
Teneur minimale en protéine du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

## 2.2 Taux de dénaturation des protéines

**Philip (2006)**, précise que les poudres peuvent être classées en fonction de l'intensité du traitement de déshydratation effectué et l'indice de dénaturation des protéines sériques : (« Low Heat », « Medium Heat », « High-Heat »). Le degré de dénaturation par l'indice d'Azote protéique (WPNi en anglais) est exprimé en milligrammes de protéines sériques non dénaturées par gramme de poudre cible (tableau IV).

Il ajoute que les poudres fabriquées avec un traitement thermique bas (Low Heat, WPNi 6 ou plus) contiennent de petites quantités de protéines dénaturées et sont utilisées dans des produits nécessitant des propriétés de solubilité, de gélification et d'émulsification. Il s'agit d'une poudre de haute qualité adaptée non seulement à la préparation du lait de consommation, mais également à la production de fromage et à la fortification du yaourt.

**Castro-Morel et Harper (2003)**, rapportent que les poudres de lait type « Médium Heat » (WPNi entre 1,5 et 5,9) ont une bonne capacité d'hydratation et une bonne activité de surface. Elles sont notamment utilisées dans la préparation des crèmes glacées...Etc.

Ils mentionnent également que les poudres de lait « High-Heat » (WPNi inférieur à 1,5) sont fortement dénaturées et ont une faible solubilité. Ce type de poudre de lait est utilisé dans les produits structurés (boulangerie, biscuiterie, et la confiserie).

**Tableau IV :** Classification des poudres de lait écrémé en fonction de leur indice d'azote protéique de lactosérum non dénaturé « WPNi » (**Schuck et al., 2012**)

Classe	Indice d'azote protéique de lactosérum non dénaturé (WPNi)
Poudre à fort traitement thermique « high heat »	$\leq 1.50$ g d'azote par kg de poudre
Poudre à moyen/fort traitement thermique « medium high heat »	1.51-4.49g d'azote par kg de poudre
Poudre à moyen traitement thermique « medium heat »	4.50-5.99g d'azote par kg de poudre
Poudre à faible traitement thermique « low heat »	6.00-7.99g d'azote par kg de poudre
Poudre à très faible traitement thermique « ultra low heat »	$\geq 8.00$ g d'azote par kg de poudre

WPNi = Whey Protein Nitrogen Index (indice d'azote des protéines de lactosérum).

### 3. Propriétés nutritionnelles et organoleptiques

#### 3.1 Nutritionnelles

La qualité nutritionnelle des poudres de lait dépend essentiellement de l'intensité du traitement thermique lors de la déshydratation (**Schuck et al., 2013**). Les traitements thermiques induisent à des modifications physico-chimiques et à la diminution de la disponibilité des nutriments (destruction de certaines vitamines, réduction de la teneur en lysine disponible, dénaturation des protéines solubles), ou à produire des composés d'intérêt nutritionnel comme le lactulose. D'un point de vue nutritionnel, les poudres obtenues par atomisation sont meilleures que celles obtenues sur cylindres chauffants (**Jeantet et al., 2008**).

#### 3.2 Organoleptiques

La qualité organoleptique d'une poudre de lait est un élément essentiel pour satisfaire le consommateur. Une bonne poudre de lait doit avoir une :

- **Couleur :** La poudre de lait est blanche ou légèrement crème, homogène et ne contient pas d'impuretés (**Jora, 1998**), sa couleur dépend de sa teneur en graisse.
- **Odeur :** Elle doit être fraîche et bonne.
- **Saveur :** Lors de sa réhydratation, la poudre de lait doit avoir une saveur propre, riche, douce, fraîche et agréable.

## 4. Propriétés des poudres de lait

### 4.1 Propriétés biochimiques et physico-chimiques

Les propriétés physico-chimiques et biochimiques des poudres dépendent principalement des paramètres technologiques utilisés lors de leur fabrication (**Schuck et al., 2012**).

#### 4.1.1 Teneur en eau (ou humidité)

La teneur en eau, d'une poudre de lait est définie par la perte de masse de ce produit lorsqu'il est soumis au séchage ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ) suivant le mode opératoire décrit par la norme **Afnor NF V04-348 (1978)**, elle est exprimée en pourcentage massique (**Schuck et al., 2012**).

#### 4.1.2 Activité de l'eau

L'activité de l'eau notée  $a_w$  est un concept introduit par **Lewis et Randall (1923)**, qui permet de mesurer la disponibilité globale moyenne de l'eau en tant que solvant ou réactif, et d'évaluer d'une certaine manière sa potentialité d'action.

Elle est définie par le rapport de la pression de vapeur d'eau du produit ( $P_p$ ) sur la pression de vapeur de l'eau pure ( $P_e$ ), à la même température  $\Theta$  :  $a_w = \frac{P_p}{P_e}$

D'après **Schuck (2011)**, l' $a_w$  de la poudre de lait est de 0.2.

#### 4.1.3 Masse volumique

La masse volumique des poudres de lait est une propriété importante : une poudre à masse volumique élevée permet de baisser les coûts massiques d'emballage, de transport et de stockage. De plus, elle a une forte influence sur certaines propriétés techno-fonctionnelles comme l'écoulement et la réhydratation (**Kelly et al., 2003 ; Schuck, 2011a**).

Elle est influencée par plusieurs facteurs tels : la composition, les propriétés techno-fonctionnelles et la viscosité du produit (**Schuck, 2011a**), la granulométrie, la quantité d'air interstitiel et occlus (**Westergaard, 2004**), la forme des particules de la poudre de lait (**Augustin et al., 2003**), l'état du lactose et de dénaturation des protéines (**Kelly et al., 2003**), et la configuration, le type et les paramètres du séchoir (**Augustin et al., 2003 ; Schuck, 2011a**).

#### 4.1.4 Granulométrie

La distribution granulométrique du lait en poudre est souvent un indicateur de sa qualité. La granulométrie de la poudre est influencée par la méthode de séchage, la concentration et la viscosité du concentré ainsi que la taille des gouttelettes avant le séchage (**Schuck, 2011a**).

La taille des particules de la poudre intervient dans : le processus de réhydratation (Gaiani *et al.*, 2006b), la masse volumique (Augustin *et al.*, 2003 ; Kelly *et al.*, 2003) et l'écoulement de la poudre (Augustin *et al.*, 2003 ; Schuck *et al.*, 2013).

#### 4.1.5 Ecoulement – éboulement

Il s'agit de l'aptitude d'une poudre à s'écouler librement (ne formant pas d'agrégats) (Schuck *et al.*, 2012). Il est influencé par : la cristallisation du lactose et le mottage de la poudre (Fitzpatrick *et al.*, 2007), le taux de matière grasse libre (Augustin *et al.*, 2003) et la forme et la taille des particules (Kelly *et al.*, 2003).

Les poudres réalisées par atomisation ont des qualités d'écoulement supérieures à celles réalisées à l'aide de cylindres chauffants (Jeantet *et al.*, 2007).

#### 4.1.6 Propriétés de réhydratation

Les propriétés de réhydratation dépendent de la constitution de la poudre et de l'affinité entre ses composants et l'eau, mais également de l'accessibilité stérique de l'eau (porosité et capillarité) aux composants de la poudre (Schuck *et al.*, 2012).

D'après Karam (2013), les propriétés de réhydratation regroupent un ensemble d'étapes conduisant à la dissolution totale de la poudre, leur avancement est déterminé par :

#### 4.1.7 La mouillabilité

La mouillabilité reflète l'aptitude d'une poudre à absorber après avoir été déposée à la surface d'un liquide (Karam, 2013).

Selon Schuck *et al* (2012), elle consiste à mesurer le temps mis par une quantité de poudre à pénétrer dans l'eau à travers sa surface libre au repos. Elle sera considérée mouillable si son indice de mouillabilité ne dépasse pas 120 secondes. Elle est influencée par la présence de grosses particules primaires et agglomérats, la masse volumique, la porosité et la capillarité des particules de poudre, la présence de matière grasse à la surface des particules ainsi que les conditions de reconstitutions.

#### 4.1.8 La solubilité

Selon Schuck *et al* (2012), la solubilité décrit une réhydratation complète : un critère essentiel dans le contrôle de la qualité des poudres destinées à être réincorporées en phase aqueuse. L'insoluble est défini comme le résidu résultant de la centrifugation.

Il ajoute qu'une poudre de lait est soluble si son indice de solubilité est supérieur à 99% ou si sa teneur en insoluble est inférieure à 1%. La majorité des matières insolubles mesurés sur

les poudres de lait sont constitués de protéines dénaturées (protéines essentiellement solubles) ou de précipités minéraux (phosphate de calcium).

Ainsi, il déclare que les différents traitements thermiques appliqués lors de la fabrication des poudres lui sont néfastes, en plus de l'augmentation de la viscosité du concentré et la taille des particules, ainsi que les conditions de reconstitution.

#### 4.1.9 Propriétés microbiologiques

Les propriétés microbiologiques d'une poudre de lait dépendent principalement de la qualité du lait cru et des opérations technologiques appliquées (**Jeantet et al., 2008**), pour cela, plus la charge bactérienne du lait cru est élevée plus la température de séchage est poussée (**Hachana et al., 2018**).

Les micro-organismes qui y prédominent sont sporogènes, car les spores qui survivent à la pasteurisation, l'évaporation et le séchage du lait. Les thermophiles et les thermophiles facultatifs y sont aussi prédominants, ils sont utilisés comme mesure d'hygiène et de contrôle des processus (**Lindsay et al., 2020**) (tableau V) :

A des niveaux inférieurs, il peut y avoir les sporogènes mésophiles et les bactéries anaérobies. Si les conditions du traitement ne sont pas optimales, d'autres micro-organismes peuvent être présents, comme des entérobactéries, des levures et moisissures (**Lindsay et al., 2020 ; Robinson, 2005**).

**Tableau V** : Résumé de quelques bactéries associées à la contamination de la poudre de lait (**Pramularsih, 2020**)

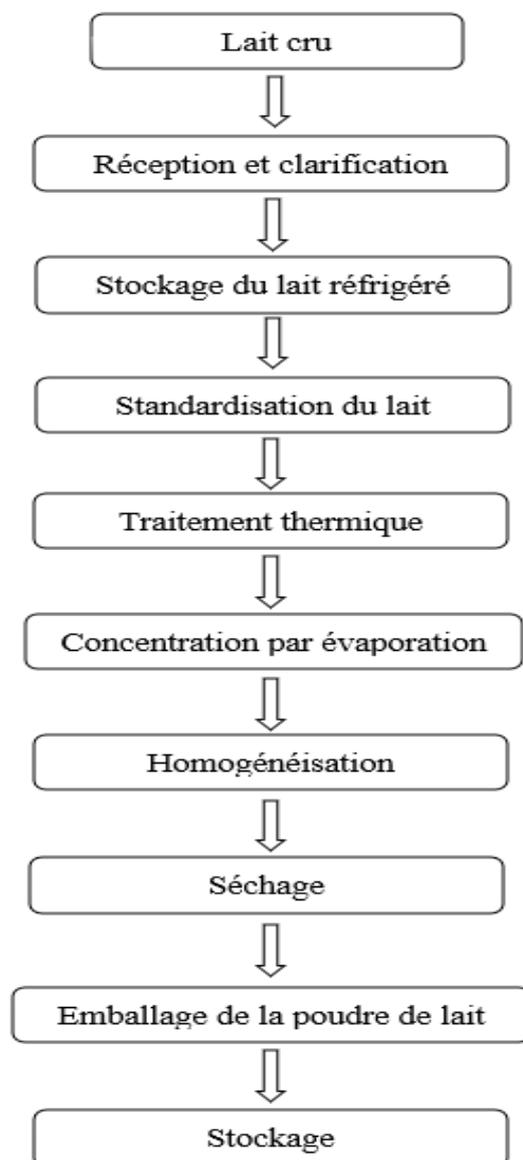
Nom des bactéries	Type de la poudre du lait	Température de croissance		
		min	Opt	max
<i>B.licheniformis</i>	Lait écrémé en poudre + concentré de protéine de lactosérum + poudre de lait entier + poudre de formule pour nourrisson	15	30-45	50-55
<i>B.cereus</i>	Lait écrémé en poudre + concentré de protéine de lactosérum	5-20	30-37	45-48
<i>B.subtilis</i>	Lait écrémé en poudre + concentré de protéine de lactosérum + poudre de lait entier	6-20	30-40	45-55
<i>Bacillus thuringensis</i>	Concentré de protéine de lactosérum	-	30	-

## 5. Procédés de fabrication de la poudre de lait

La technologie de production du la poudre de lait est simple, sa fabrication ainsi que sa commercialisation doivent respecter des normes pour éviter toute altération et tout risque pour le consommateur (Chouiti, 2013).

Sa fabrication est devenue un segment de plus en plus important de l'industrie laitière, qui devrait continuer à croître en raison de ses caractéristiques telles qu'une meilleure qualité de conservation, moins d'espace de stockage et des faibles coûts de transport (Kalyankar *et al.* (a), 2016).

La production de la poudre de lait comprend plusieurs étapes de traitement (figure 1) :



**Figure 1** : Schéma général des étapes de la fabrication de la poudre de lait (Kalyankar *et al.* (a), 2016)

**5.1 Matière première : lait cru**

N'ayant subi aucun traitement autre que la réfrigération mécanique immédiate après la traite à la ferme, le lait cru est conditionné sur place et acheminé quotidiennement aux points de vente (Noblet, 2012). Il doit être de haute qualité chimique, organoleptique et bactériologique pour avoir une poudre de lait de qualité (Kalyankar *et al.* (a), 2016).

**5.2 La réception**

A la réception, des tests chimiques et bactériologiques doivent être effectués avant la sélection du lait cru. Une charge microbienne élevée dans le lait cru a un effet négatif sur la poudre de lait (Kalyankar *et al.* (a), 2016).

**5.3 La clarification**

Le lait est clarifié ou traité par bactofugation après sa réception pour réduire la contamination par les particules et les bactéries. La microfiltration est utilisée pour la fabrication de poudre à faible chaleur avec de très faibles charges bactériennes (Kalyankar *et al.* (a), 2016).

**5.4 Le refroidissement et le stockage**

Le lait doit être stocké à des températures inférieures à 5°C dans des réservoirs ou silos isothermes, et son refroidissement se réalise grâce à des techniques telles que l'immersion des boîtes, le refroidissement en boîte, la congélation du rotor, le refroidisseur de lait en vrac, le refroidisseur à plaques, le refroidisseur tubulaire (Chavan, 2016).

**5.5 La normalisation**

La normalisation consiste à ajuster la teneur en matières grasses/solides non gras du lait ou des produits laitiers, en ajoutant de la crème ou du lait écrémé (Chavan, 2016).

**5.6 Le traitement thermique**

Les traitements thermiques détruisent toutes les flores pathogènes ainsi que les micro-organismes saprophytes, ils s'agissent donc de traitements d'assainissement. De plus, ils inactivent les lipases et active les groupes -SH des  $\beta$ -lactoglobulines, ce qui augmente la résistance à l'autoxydation pendant le stockage (Noblet, 2012 ; Kalyankar *et al.* (a), 2016 ; Park et Haenlein, 2013).

**❖ Concentration par évaporation : sous vide (ESV)**

Avant d'être séchés, la majorité des produits laitiers (exceptés les concentrés en protéines), sont préalablement concentrés par évaporation sous vide. La concentration par

évaporation permet de concentrer les éléments non volatiles d'un produit, en plaçant un liquide dans des conditions de température et de pression qui permettent la vaporisation du solvant (Boudier et Schuck, 2010).

### ❖ Séchage

Selon Schuck *et al* (2012), la déshydratation des produits alimentaires assure une bonne stabilité en abaissant l'*a<sub>w</sub>* et en réduisant les coûts de transport et de stockage. Plusieurs méthodes sont utilisées, mais dans la production industrielle de la poudre de lait, seuls les séchages par pulvérisation et au rouleau sont utilisés.

#### • Séchage au rouleau

Dans le cas du séchage au rouleau, le lait concentré est en contact direct avec la surface chaude du tambour entraînant des modifications irréversibles telles que la caramélisation du lactose, le brunissement de Maillard et la dénaturation des protéines, ce qui réduit la solubilité de la poudre (Kalyankar *et al.* (a), 2016).

Dans le séchage sur cylindre, le lait est distribué dans un tambour rotatif chauffé à la vapeur (Abdenouri *et al.*, 2008), à des températures de 143 -149°C (Penda et Sow, 2002).

#### • Séchage par pulvérisation (atomisation)

Il s'agit d'une déshydratation d'un produit liquide ou en suspension dans un flux de gaz chaud. Les gouttelettes obtenues sont projetées dans une enceinte avant d'être séchées par envoi d'air chaud à 200°C, où l'eau s'évapore dans la tour de séchage (Noblet, 2012 ; Park et Haenlein, 2013). C'est une technique facile à mettre en œuvre, rapide et n'a aucun contact direct avec la matrice à sécher (Schuck *et al.*, 2013).

## 5.7 Emballage et stockage

La poudre de lait entier se conserve 6 mois au maximum, tandis que la poudre de lait écrémé se conserve 3ans (Pal *et al.*, 2016).

## 6. Utilisation des poudres de lait

### 6.1 Poudre de lait entier

L'oxydation de la matière grasse et le coût élevé de la poudre de lait entier font qu'elle soit peu utilisée. Elle est additionnée au chocolat de lait en raison de la compatibilité de sa matière grasse avec le beurre de cacao qui est plus cher (Vuilleumard *et al.*, 1989). Ces poudres

sont également utilisées dans les formulations lactées pour enfants, des céréales prêtes à consommer des soupes et des sauces (**Vuillemand, 2018**).

## **6.2 Poudre de lait écrémé**

Le lait écrémé en poudre est largement utilisé. Une poudre de lait écrémé high heat a une faible solubilité et une capacité de rétention d'eau élevée et est utilisée dans l'industrie de la boulangerie pour empêcher l'affaissement des pâtes, dans les produits carnés et la confiserie. La poudre de lait écrémé medium heat convient aux crèmes glacées, certains produits de confiseries et aux desserts glacés où l'absorption d'eau et la saveur sont importantes. La poudre de lait écrémé low heat a une excellente solubilité et est utilisée pour ses qualités organoleptiques dans les produits laitiers et des boissons lactées. La poudre de lait écrémé a également des propriétés épaississantes, gélifiantes et émulsifiantes (**Vuillemand, 2018**).

**Chapitre 2 :**

Les traitements thermiques  
et leurs effets

## 1 Les différents types de traitements thermiques

### 1.1 Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique modéré qui permet la destruction des microorganismes pathogènes sous leur forme végétative uniquement et la plupart de microorganismes d'altération, ainsi que l'élimination des enzymes thermorésistants (lipases, protéases et oxydoréductases) qui altèrent le produit fini. La température du traitement est généralement inférieure à 100°C et dure quelques secondes à quelques minutes selon le barème utilisé (**tableau VI**) puis doit être suivie d'un refroidissement direct afin de ralentir le développement des germes restants (**Amiot *et al.*, 2002 ; Farkas 2007**), elle se réalise grâce à un pasteurisateur (**figure 2**) :



**Figure 2** : Pasteurisateur pour produits laitiers  
([www.DirectIndustry.fr](http://www.DirectIndustry.fr))

**Tableau VI**: Exemple de barèmes de pasteurisation, établis pour différents produits alimentaires (**Leyral et Vierling 2007**)

Exemple de barème de pasteurisation		
Produits	Température pasteurisation	Durée traitement
Lait	62°C	30 minutes
	72°C	15 secondes
Crème/crème dessert	71°C	30 minutes
	82°C	16 secondes
Jus de pomme en bouteille.	77°C	30 minutes
Boissons gazeuses à base de jus de fruit.	66°C	30 minutes
Bière.	82-88°C	1 à 2 minutes

(Cosentino *et al.*, 2016) ont prouvé qu'il n'y a pas de d'écart d'activité antimicrobienne entre un lait cru et un lait chauffé à des températures aux alentours de 72°C.

D'après Jeantet *et al* (2008), on distingue trois types de traitements :

- **Pasteurisation basse (62-65°C/30min)** : qui est abandonnée en laiterie ;
- **Pasteurisation haute (71-72°C/15-40s)** ou HTST (high temperature short time) : réservée aux laits de bonne qualité hygiénique. Elle n'a que peu d'effets sur le plan organoleptique et nutritionnel. Au niveau biochimique, la phosphatase alcaline est détruite mais la peroxydase reste active, et le taux de dénaturation des vitamines et des protéines sériques sont faibles. La date limite de consommation (DLC) des laits subissant une pasteurisation haute est de 7 jours après conditionnement.
- **Flash pasteurisation (85-90°C/1-2s)** : pratiquée sur les laits crus qui ont une qualité moyenne ; la phosphatase et la peroxydase sont détruites.

## 1.2 Stérilisation

La stérilisation est un traitement qui vise à atteindre l'état de stérilité, c'est-à-dire pouvoir garantir l'absence de toute forme de microorganisme (ISO 11139, 2001) y compris les endospores bactériennes ; la température de ce traitement dépasse 100°C (Hanna-Wakim, Yasukawa *et al.*, 2008).

Selon le procédé de stérilisation, on distingue le lait stérilisé et le lait stérilisé UHT. Ces laits doivent être stables jusqu'à la date limite de consommation (Leseur et Melik, 1999), et d'après Amiot *et al* (2002), pour la stérilisation commerciale du lait UHT, l'objectif est de réduire le nombre de thermophiles par un facteur de 10<sup>9</sup>. La destruction des microorganismes dépend de la durée du traitement thermique et la température.



**Figure 3** : Stérilisateur tubulaire des produits laitiers  
([www.DirectIndustry.fr](http://www.DirectIndustry.fr))

### 1.3 Technique UHT (Ultra-haute-température)

La technique UHT consiste à stériliser à 140°C pendant 4 à 5 secondes sur le produit en vrac par injection de vapeur, suivie d'un refroidissement immédiat sous vide afin que la vapeur extraite ait une quantité égale à celle utilisée. Le produit est ensuite placé dans un emballage aseptique pour obtenir un emballage sans microbes. Ce processus avec une rapidité du chauffage, donne un produit presque frais (Taibi et Boumendjel 2015).

### 1.4 Séchage par atomisation (pulvérisation)

C'est le moyen de séchage le plus universel, il s'agit d'un séchage par entraînement. En effet, lorsqu'un corps humide est placé dans un flux d'air assez chaud et sec, un gradient de température et de pression partielle d'eau s'établit spontanément entre ce corps et l'air : un transfert de chaleur s'effectue de l'air vers le produit sous l'effet de la différence de température, et un transfert d'eau en sens inverse du fait de la différence de pression partielle d'eau entre l'air et la surface du produit (Schuck *et al.*, 2012). Cette technique est utilisée pour plusieurs produits (tableau VII) :

**Tableau VII:** Exemple de produits déshydratés par atomisation (Schuck *et al.*, 2012)

Produits	Objectifs	Références
Produits pharmaceutiques	-Stabilité et/ou encapsulation du principe actif	(Broadhead <i>et al.</i> , 1992)
Lait et produits dérivés	-Reconstitution -Propriétés techno-fonctionnelles	(Schuck, 2014b)
Jus de Mangue	-Reconstitution	(Caparino <i>et al.</i> , 2012)
Jus d'orange	-Reconstitution	(Chegini and Ghobadian, 2005)
Jus de tomate	-Reconstitution Formulation	(Goula and Adamopoulos, 2005)
Les œufs	-Reconstitution -Propriétés techno-fonctionnelles	(Ayadi <i>et al.</i> , 2008)
Huile de poisson	-Encapsulation	(Fuchs <i>et al.</i> , 2006)

(Caric *et al.*, 2009 ; Westergaard, 2004) citent les avantages et les inconvénients de la pulvérisation lors du séchage (tableau VIII) :

**Tableau VIII:** Avantages et inconvénients de la pulvérisation lors du séchage (Caric et al., 2009 ; Westergaard, 2004)

Avantages	Inconvénients
- Production de gouttelettes fines à grande surface d'échange : évaporation instantanée - Transfert de chaleur et de masse rapide et intensif : principalement eau	-Augmentation rapide de la température des particules au cours du séchage de manière asymptotique à la température de sortie du séchoir -Conception coûteuse -Consommation énergétique élevée (électricité et production de vapeur)

Parmi les différentes méthodes de séchages par atomisation :

- **La Lyophilisation :**

Elle permet une déshydratation complète pour une très longue durée de conservation (Ndiaye, 2002). Lorsque l'eau est chauffée à l'état solide à très basse pression, elle devient sublime : un passage direct d'un état solide à un état gazeux (Culibaly et al., 2011).

Ce processus a été employé pour produire la poudre de lait d'une haute qualité, car la fraction protéique n'est pas affectée, mais elle est couteuse en énergie (Enzonga-Yoca et al., 2011)

### 1.5 Concentration par évaporation

La concentration par évaporation consiste à placer un liquide dans des conditions de température et de pression qui permettent la vaporisation du solvant, réalisant une concentration des éléments non volatils du produit traité. Il est utilisé pour éliminer de l'eau de solutions vraies, d'émulsions et/ou de solutions colloïdales. (Park et Haenlein, 2013).

Le produit est chauffé avec de la vapeur dans un échangeur de chaleur puis envoyé dans une enceinte qui peut être sous vide pour que l'ébullition se produise à une température qui sera bien inférieure à 100°C (Amiot et al., 2002).

## 2 Effet des traitements thermiques

Certaines composantes du lait sont affectées par la chaleur avec des intensités différentes contrairement à d'autres qui ne sont pas atteintes (Soustre, et al., 2017).

## 2.1 Effet sur la structure des protéines

### 2.1.1 Protéines sériques

La dénaturation d'une protéine résulte d'une modification des structures quaternaire, tertiaire et secondaire de la chaîne peptidique sans sa fragmentation. Elle passe par des structures éphémères qui peuvent aboutir à un déplissement total de la molécule.

À mesure que la température augmente, les liaisons de faible énergie (forces de Van Der Waals, ponts hydrogènes) sont rompues, les homopolymères natifs de  $\beta$ -lactoglobuline et les ponts hydrogènes intramoléculaires des différentes protéines sont détruits progressivement, où leur structure est dépliée exposant les sites actifs inaccessibles à l'état natif (**Kinsella et Whitehead, 1989 ; Morr et Ha, 1993**).

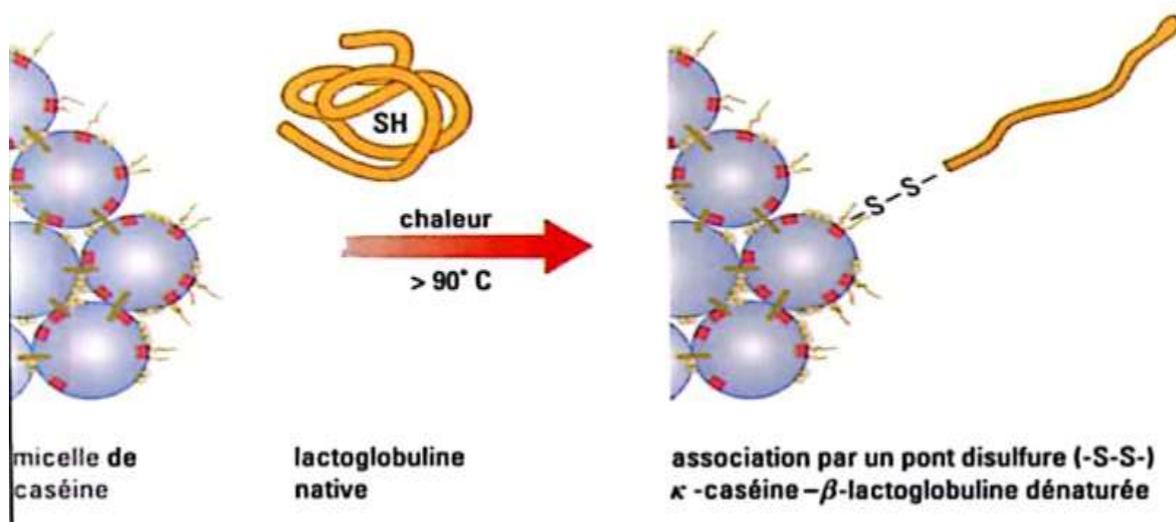
Les protéines globulaires sont dénaturées au cours des opérations impliquant des transferts thermiques. Cette dénaturation peut induire des changements conformationnels sans perte de solubilité. Mais également la gélification de la protéine ou la formation d'agrégats irréversibles inter-protéique par échange de liaisons disulfures et d'association hydrophobes modifiés, ce qui modifie donc la qualité des produits et causant l'encrassement des surfaces d'échange thermique qui conduit à une réduction des coefficients de transfert de chaleur. Ainsi, les protéines solubles du lait ont des températures de dénaturation comprises entre 65 et 75 °C ; au pH du lait et à la concentration protéique initiale, l'ordre de sensibilité à la chaleur des différentes protéines du lait est : Immunoglobuline > Bovine Sérum Albumine >  $\beta$ -lactoglobuline >  $\alpha$ -lactalbumine (**Schuck et al., 2012 ; Patel et Patel, 2016**).

**De la Fuente et al (2002)** rapportent que c'est lors de la pasteurisation et non pendant la concentration ou le séchage que la dénaturation est la plus importante. **Pierre et al (1977)**, ont réalisé des chauffages du lait à des températures comprises entre 60°C et 95°C, pendant 30 min et il en résulte que la dénaturation complète des protéines solubles est à 80°C dans le lait, avec une température de demi-dénaturation de 72°C, et selon **Amiot et al (2002)**, le chauffage d'un lait jusqu'à 60°C provoque uniquement des changements réversibles dans leur structure.

Ainsi d'après **Amiot et al (2002)**, des traitements supérieurs à 75 °C provoquent la dénaturation des protéines du sérum, ce qui entraîne dans un premier temps une augmentation de la propriété d'hydratation de ces protéines puisque la structure tertiaire de la protéine est étirée augmentant le nombre de groupements hydrophiles en contact avec l'eau et par conséquent le pouvoir d'adsorption d'eau. Mais également une coagulation de ces protéines qui se manifeste par une perte de solubilité. De plus, il est important de noter que lors du chauffage

du lait à une température de 90 °C, la  $\beta$ -lactoglobuline se dénature et se fixe à la caséine k par un pont disulfure (-S-S-), augmentant alors le volume des micelles de caséines ainsi que la viscosité du produit laitier (**figure 4**).

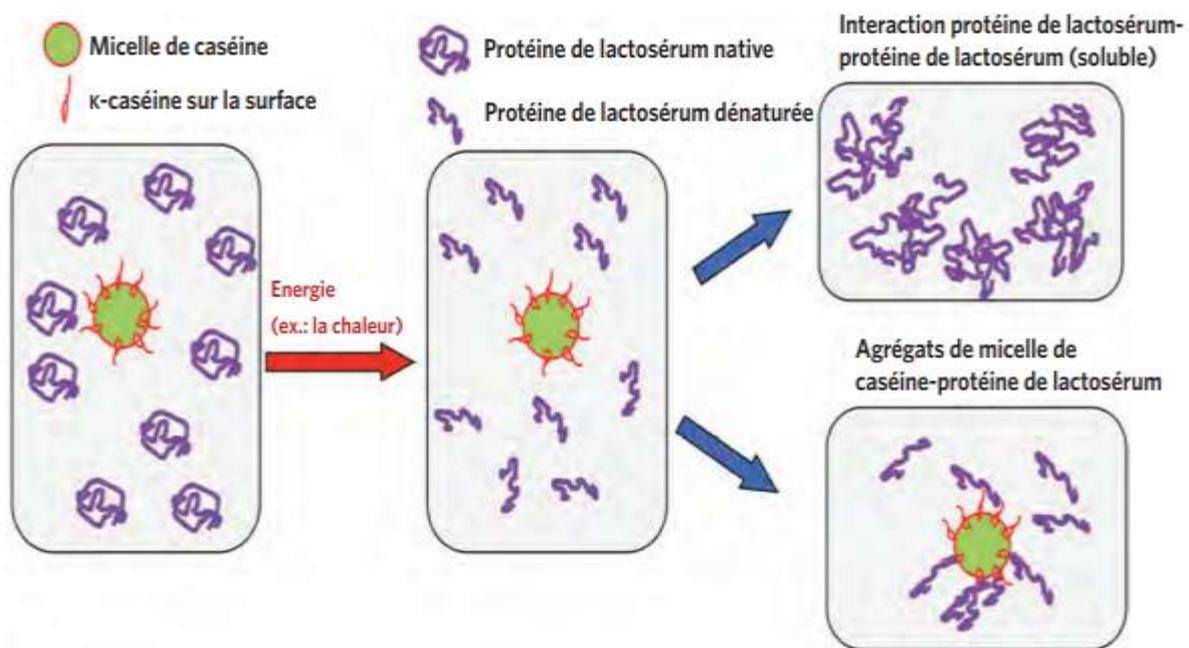
A de hautes températures, il y a modification de l'équilibre du calcium micellaire et du calcium solubilisé faisant perdre aux micelles de caséines leur stabilité. Le phosphate de calcium micellaires quitte la micelle et précipite sous forme de phosphate tricalcique  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ . Ce nouvel équilibre ionique ne se produit pas instantanément, par conséquent, il est préférable de procéder par étapes lors des traitements thermiques à température élevée.



**Figure 4 :** Lien disulfure entre la  $\beta$ -lactoglobuline et la micelle de caséines (Amiot et al., 2002)

**Patel et Patel (2016)** rapportent que les différents traitements thermiques subis par le lait mènent à différents degrés d'interactions des protéines, d'agrégation et de dénaturation : la dénaturation partielle des immunoglobulines, de la lactoferrine et de la BSA, a lieu durant la pasteurisation commerciale (72°C/15 secondes), par contre, la B-Lg et la a-La sont largement dénaturés lors des traitements UHT (140°C/3 à 20 secondes) et les opérations de préchauffage (80 à 120°C/2 à 10 minutes) lors de la fabrication des laits en poudre, formant des agrégats (**figure 5**).

A des températures plus élevées (>100-125°C), des transformations chimiques se produisent avec la formation de liaisons covalentes entre la lysine de la  $\beta$ -Lg et d'autres composants de la matrice alimentaire complexe (les sucres réducteurs et leurs dérivés dicarbonylés, ainsi qu'avec les lipides oxydés) (**Soler-Rivas et Wichers, 2001**).

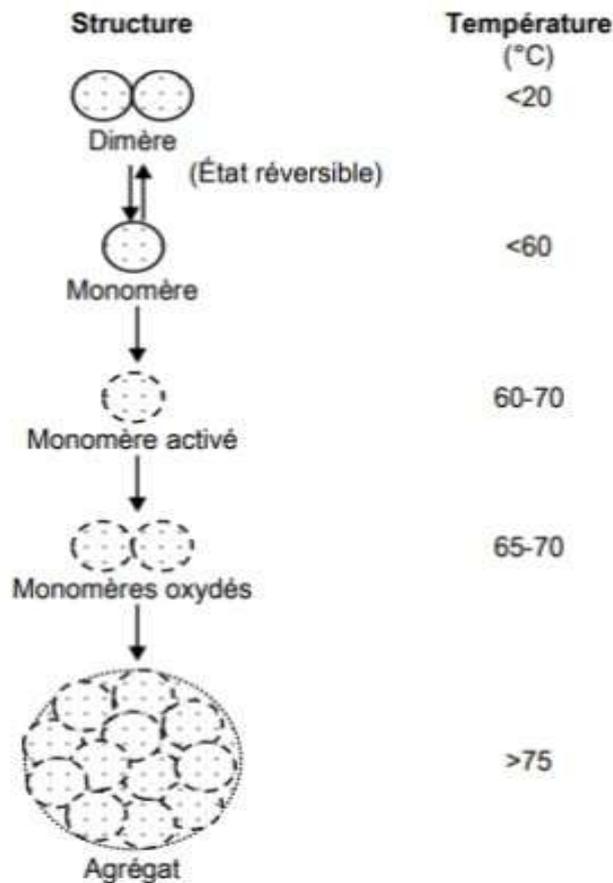


**Figure 5 :** Schéma montrant les interactions de protéines possibles dans le lait soumis à un traitement thermique (Patel et Patel, 2016).

Le degré de dénaturation de la lactoferrine dépend de son taux de saturation en fer. La fraction protéose-peptone résiste très fortement à la chaleur (FAO, 1998).

### 1. Influence du chauffage sur la $\beta$ -Lg

La dénaturation de la  $\beta$ -Lg se déroule en deux étapes, la molécule étant sous forme de dimère se dissocie en monomère, puis la chaîne moléculaire se déploie (figure 6). Le degré de dénaturation dépend de la durée et de l'intensité du traitement thermique. En prolongeant l'exposition de la  $\beta$ -Lg aux températures supérieures ou égales à 65°C, le dépliement des structures tertiaires et secondaires est accentué, rendant le sulfhydryle encore plus réactif (De la Fuente *et al.*, 2002), pour une durée égale d'exposition à la chaleur, les températures plus élevées entraînent une dénaturation plus importante (De Wit, 2009).



**Figure 6 :** Les différentes structures de la  $\beta$ -lactoglobuline après traitement thermique (De Wit, 2009).

## 2. Influence du chauffage sur l' $\alpha$ -la

Elle est peu réactive, et pour cela, elle a besoin d'un catalyseur tel une protéine portant un groupement sulfhydryle libre pour former des homopolymères (Havea *et al.*, 2001). Ainsi, Morr et Ha (1993) rapportent qu'après avoir été chauffée pendant 15min à 95°C, elle pourra, après refroidissement, retrouver 40% de son état natif. Les températures de dénaturation des fractions protéiques sont montrées dans le **tableau X**.

La qualité des protéines sériques varie en fonction du traitement thermique subi : la pasteurisation dénature de 10 à 20% des protéines du lactosérum, le traitement UHT direct de 40 à 60% et le processus indirect de 60 à 80%. Enfin, la stérilisation classique les dénature, mais pas totalement.

**Tableau X :** Dénaturation complète par la chaleur des diverses fractions protéiques du lait de vache (FAO 1998)

Protéines	Dénaturation	
	Température °(C)	Durée
Immunoglobulines	74	15 secondes
Sérum-albumine	84	15 secondes
$\beta$ -lactoglobuline	86	15 secondes
$\alpha$ -lactalbumine	100	5 minutes
Caséine	125	>60 minutes

### 2.1.2 Les caséines

Les caséines ne présentent pas d'importants changements de leurs structures secondaires et tertiaires face à des augmentations de température : elles sont généralement très stables à la chaleur (Huppertz et Nieuwenhuijse, 2021).

Elles deviennent instables que lors d'un traitement thermique à des températures supérieures à 120°C (Dumpler, *et al.*, 2020 ; Huppertz, 2016). Elle coagule seulement après un chauffage d'une heure à 125 °C. Les chauffages moins intenses peuvent déplier l'arrangement spatial des chaînes peptidiques (FAO, 1998).

La caséine  $\beta$  est plus stable que la caséine  $\alpha$ . La fraction  $\alpha$ s protège la caséine  $\kappa$  offrant une grande sensibilité. Les chauffages provoquent une déphosphorylation à 80% des caséines  $\alpha$  et  $\beta$ . Ainsi, au cours du processus de la stérilisation, le taux de phosphore non-protidique de la caséine entière et de la fraction  $\kappa$  est multiplié par 5, tandis que celui de la caséine  $\alpha$ s est augmenté de 8,5 fois. Par ailleurs, la caséine  $\beta$  est pratiquement inchangée dans ces mêmes conditions (Wong *et al*, 1998).

La digestibilité des protéines dénaturées à la chaleur se voit supérieure à celle des protéines natives. Les protéines chauffées précipitent dans le milieu acide de l'estomac en particules plus fines et plus dispersées, ce qui les rend plus accessibles aux enzymes hydrolytiques. Le traitement à la chaleur neutralise certains inhibiteurs naturels du lait comme les antitrypsines (FAO 1998).

## 2.2 Effet sur la structure des lipides

Au cours des traitements thermiques, les lipides de lait étant dispersés sous forme de globules gras (stabilisé par une membrane protéique), subissent des modifications sur la

structure physique (état cristallin, la taille des globules gras), et sur la structure chimique (formes libre des acides gras ou formes combinés telles que les glycérides, degré d'insaturation et d'oxydation) (Lorient, 2001).

Le chauffage ne modifie pas la qualité des lipides lors de la pasteurisation, la stérilisation ou le processus UHT. Lors du chauffage du lait, les acides cétoniques et hydroxylés naturels sont convertis respectivement en méthyl-cétones et en lactones, modifiant les propriétés organoleptiques du lait. La pasteurisation n'altère pas les acides gras essentiels : la décomposition de l'acide linoléique ne survient qu'après un chauffage d'une heure à 180 °C. Mais la stérilisation et l'UHT réduisent la teneur en acides gras essentiels. (FAO 1998).

### 2.3 Effet sur les vitamines

Selon Lorient (2001), les vitamines hydrosolubles (riboflavine, acide pantothénique, biotine, acide nicotinique) et liposolubles (A, D et E) sont stables durant la pasteurisation et les traitements UHT, tandis que les vitamines B1, B6, B12, C, et l'acide folique sont beaucoup plus sensibles à la chaleur et à l'oxydation. Seule la thiamine, la cyanocobalamine et l'acide ascorbique sont réellement très thermosensibles. La pyridoxine et les folates subissent également l'effet de la chaleur. D'autres vitamines sont peu ou ne sont même pas détruites lorsque l'exposition à la chaleur survient à l'abri de l'air (oxygène) et de la lumière.

Les techniques de pasteurisation et UHT et du processus de séchage par pulvérisation ne modifient que peu la teneur vitaminique du lait (<20%). Par contre, le séchage sur cylindre entraîne des pertes importantes de folates, de thiamine et de vitamine B12 ainsi qu'une non-biodisponibilité de la vitamine B6.

La destruction des vitamines peut être réduite par dégazage du lait en diminuant fortement la teneur en oxygène ambiant (FAO 1998).

**Tableau XI:** Effets de divers traitements thermiques sur certaines vitamines du lait (FAO 1998)

Procédés	Pertes (%)				
	Thiamine	Pyridoxine	Cobalamine	Acide folique	Acide ascorbique
Pasteurisation	10	0-8	10	10	10-25
UHT	0-20	10	5-20	5-20	5-30
Ebullition	10-20	10	20	15	15-30
Stérilisation	20-50	20-50	20-100	30-50	3-100

## 2.4 Effet sur les composants glucidiques

Le lactose est impliqué dans deux types de réactions de dégradation dans le lait : l'isomérisation qui est plus importante d'un point de vue quantitatif à des températures supérieures à 100 °C, et la réaction de Maillard qui prédomine à des températures inférieures (**van Boekel, 1998 ; Berg et van Boekel, 1994**).

La réaction de Maillard est un ensemble d'interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur et un groupement aminé (le lactose et la lysine dans le cas du lait) (**Machiels et Istasse, 2002**). Ce brunissement non enzymatique est influencé par la température, le pH, l'activité de l'eau et la présence de certains sels et vitamines (**Walstra et Jenness, 1984**).

D'après **van Boekel (1998)**, il apparaît dans le lait lors de cette réaction des aldéhydes, des cétones et des substances réductrices qui interagissent avec certains acides aminés, amines et protéines. Cette réaction intervient principalement entre le lactose et la  $\beta$ -lactoglobuline, mais aussi avec les caséines (les résidus lysine des caséines sont plus réactifs que les protéines sériques et la  $\kappa$ -CN semble être la caséine la plus réactive). La lysine piégée dans ces composés n'est plus biodisponible. Sa perte est estimée à 1-2% dans le lait pasteurisé, à 2-4% dans le lait UHT, à 5% dans le lait bouilli, à 5-10% dans le lait stérilisé et à 20% dans le lait évaporé. L'intensité de cette réaction dépend fortement du degré d'humidité du milieu de conservation, mais aussi de la forme physique du lactose.

Il rapporte aussi que la présence de hydroxyméthylfurfural (absent le lait cru) est un indicateur de cette réaction dans le lait. Sa teneur augmente du lait pasteurisé au lait UHT direct et indirect pour être encore plus élevée dans le lait stérilisé.

La réaction de Maillard dans le lait induit la perte de valeur nutritive car les résidus lysine sont bloqués et non assimilés, une digestibilité réduite et l'inhibition d'enzymes, la production de saveur, la formation de composés antioxydants mais aussi de composés mutagènes, antimutagènes et anticancérigènes, la formation possible des composés antibactériens, la diminution de l'allergénicité, la polymérisation des protéines du lait ainsi que le développement de coloration brune causé par des mélanoïdines (**van Boekel, 1998**).

## 2.5 Effet sur les minéraux

Comme le rapportent **Huppertz et Nieuwenhuijse (2022)**, la solubilité du phosphate de calcium diminue avec l'augmentation de la température et de la concentration du calcium et du phosphate dans le lactosérum, induisant la précipitation du Ca et du P en excès.

## 2.6 Effet sur les enzymes

Selon (FAO, 1998), la disparition des enzymes endogènes sert d'indice d'efficacité du traitement thermique car elles sont thermosensibles. Les phosphatases acides supportent la pasteurisation, mais pas le traitement UHT et la xanthine-oxydase n'est détruite qu'à des températures supérieures à 85°C. Le traitement que le lait a subi peut être déduit en établissant son profil enzymatique.

Elle rapporte également que parfois, il faut chauffer le lait longtemps à de haute température pour détruire les lipases et les protéases thermostables produites par la souche *Pseudomonas psychrotrophe*, ce qui l'abîme. Leur persistance fait apparaître des acides gras dans le lait UHT, ce qui cause son acidité et son rancissement. Un chauffage préalable et modéré permet de se débarrasser, en partie au moins, de ces enzymes.

**Tableau XII:** Effets de divers traitements thermiques sur la qualité du lait (FAO 1998)

Procédés	Effets sur la qualité du lait
Pasteurisation basse et stérilisation UHT	Pas de modification nutritionnelle ou organoleptique.
Stérilisation classique	Apparition du goût cuit
	Brunissement du lait
	Pertes notables de thiamine
	Pertes élevées de vitamine B12
Ebullition domestique	Destruction de la vitamine C
	Diminution de la digestibilité
	(Modification des protéines solubles)
Pasteurisation haute, non à l'abri de l'air	Altération de l'équilibre minéral
	Dégagement de CO <sub>2</sub>



***Matériels et  
méthodes***

Notre travail consiste en une étude de la qualité physico-chimique de trois marques de poudres de lait, et l'évaluation de l'impact des traitements thermiques subis (dénaturation protéique).

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique commun II de la faculté de Sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou durant la période s'étalant du mois d'Avril au mois de Juin 2023.

### **1. Matériels**

#### **1.1 Matière première**

Les échantillons utilisés dans le cadre de cette étude sont des poudres de lait de 03 marques différentes commercialisées en Algérie.

#### **1.2 Appareillage**

- Spectrophotomètre UV visible (Biotechnology Engineering Management CO. LTD, Angleterre) ;
- pH mètre (inoLab, Algérie) ;
- Agitateurs variés (de tubes « VORTEX » et à barreaux magnétiques) ;
- Balances de précision (0.1g et 0.1mg) ;

#### **1.3 Produits chimiques**

- **Sels et tampons** : Carbonate de sodium anhydre, sulfate de cuivre, tartrate de sodium et potassium, hydroxyde de sodium.
- **Colorants et réactifs spécifiques** : phénolphtaléine, réactif de Folin-Ciocalteu.

#### **1.4 Matériel biologique**

Sérum Albumine Bovine (BSA).

## **2. Méthode : Analyses physico-chimiques**

Pour la réalisation de ces analyses, chacune des poudres de lait concernées sont reconstituées séparément en diluant 10g de poudre de lait dans 100ml d'eau distillée, ce qui nous donne la concentration du lait liquide initiale.

### **2.1 Mesure du pH**

Les pH des échantillons ont été mesuré à l'aide d'un pH-mètre, par l'immersion de l'électrode du pH-mètre directement dans un bécher contenant 10ml de lait.

Le pH-mètre indique une valeur qui reflète le degré d'acidité ou d'alcalinité du lait. Son principe consiste à mesurer la concentration en ions hydrogène chargés positivement ( $H^+$ ) : plus cette concentration est élevée, plus le lait est acide.

Les mesures des pH sont effectuées à des températures de 21°C, et les valeurs sont directement lues sur le pH-mètre. Elles sont réalisées deux fois pour chaque échantillon avec rinçage de l'électrode entre chaque mesure avec de l'eau distillée.

### **2.2 Acidité titrable**

L'acidité titrable (ou dornic) résulte de l'ensemble de l'acidité naturelle du lait (liée à sa richesse en protéines et en minéraux) et de l'acidité développée, grâce à l'action des ferments lactiques qui transforment le lactose du lait en acide lactique :



La détermination de l'acidité titrable du lait consiste à neutraliser l'acidité d'une certaine quantité du lait à l'aide d'une solution alcaline telle que l'Hydroxyde de Sodium (NaOH) à 0.1N, réagissant comme tel :



La phénophtaléine est utilisée comme un indicateur coloré, indiquant la limite de la neutralisation par un virage de couleur vers du rose pale.

L'acidité titrable est exprimée en degré Dornic (°D) : 1°D représente 0.1g d'acide lactique dans un litre de lait.

➤ **Mode opératoire**

- Dans 03 béchers de 100ml, verser à l'aide d'une éprouvette 10ml du lait reconstitué et ajouter 03 gouttes de l'indicateur de couleur « la phénolphtaléine » ;
- Remplir une burette avec la solution de soude NaOH de 0.1N ;
- Ouvrir la burette et verser la solution de NaOH goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'un virage de couleur vers un rose pâle persistant.

❖ L'expression des résultats se font comme suit :

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Or:

$$C_2 = \frac{C_1 \times V_1}{V_2}$$

❖ Le calcul de la concentration massique :

$$m = n \times M$$

Or :

$$\frac{m}{V} = \frac{n \times M}{V} \Leftrightarrow C_m = C_2 \times M$$

❖ Expression des résultats en degré Dornic (°D) :

$$1^\circ\text{D} = 0.1\text{g D'acide lactique}$$

**C<sub>1</sub>** : Concentration molaire du NaOH (mol/l)

**C<sub>2</sub>** : Concentration molaire du lait reconstitué (mol/l)

**V<sub>1</sub>** : Volume titré de NaOH (ml)

**V<sub>2</sub>** : Volume du lait reconstitué à titrer (ml)

**m** : Masse (g)

**M** : Masse molaire de l'acide lactique (90g/l)

**C<sub>m</sub>** : Concentration massique (g/l)

### 2.3 Détermination de la teneur en protéines

Le dosage des protéines a été réalisé par spectrométrie suivant la méthode de **LOWRY *et al* (1951)** : elle est basée sur la méthode de Biuret avec une étape supplémentaire. Elle s'agit d'une méthode colorimétrique et basée sur une réaction d'oxydo-réduction entre le

réactif phosphomolybdique phosphotungstique et les acides aminés tyrosine, tryptophane et la cystéine des protéines. L'intensité de la couleur développée après ajout d'une solution alcaline contenant du cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) est proportionnelle à la concentration en protéines, dont l'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 750nm (Delobette *et al.*, 1991 ; Fumex, 2019).

Le spectrophotomètre donne une valeur de densité optique (DO) permettant de déterminer la concentration en protéine de l'échantillon analysé qui se fait par le biais d'une courbe d'étalonnage  $\text{DO}=\text{f}(\text{C})$ , où est utilisée l'Albumine Sérique Bovine comme protéine étalon.

➤ **Mode opératoire**

❖ **Préparation des solutions**

- **Solution A** :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anhydre 2 % dans NaOH, 0,1 M ;
- **Solution B** : 2 ml de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,5% + 2 ml de tartrate de Na et K, 1 % ;
- **Solution C** : 50 ml A + 1ml B.

❖ **Gamme étalon**

**Tableau XIII**: Préparation de la solution mère de BSA

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

❖ **Réactions et mesure des absorbances**

A 0,5 ml de la solution d'échantillon contenant entre 25 et 100 $\mu\text{g}$  de protéines :

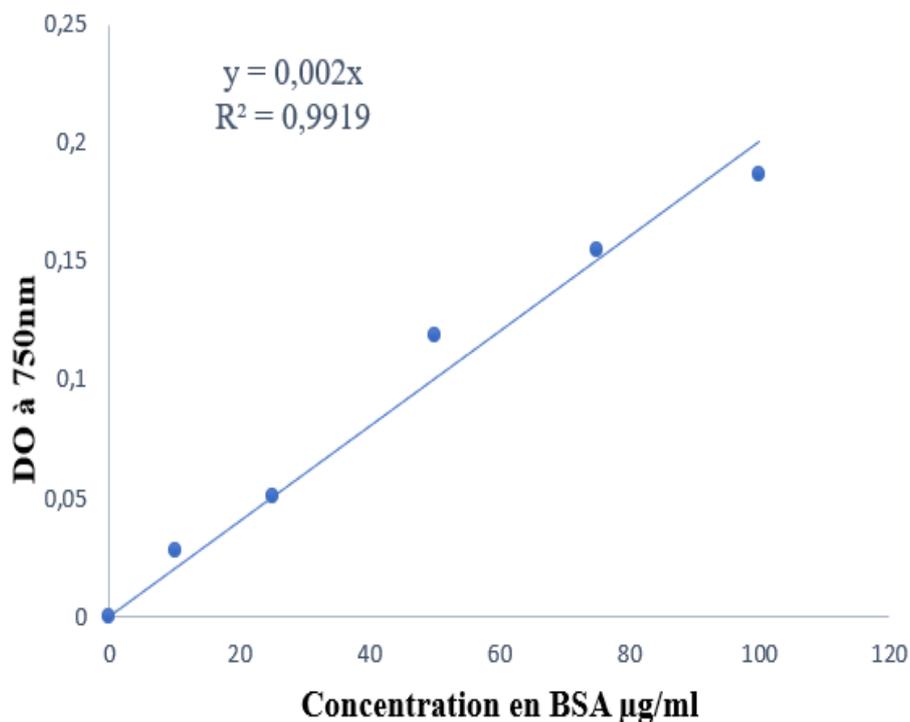
- Ajouter 2,5 ml de la solution C et mélanger ;
- Laisser 5 à 10 min à température ambiante ;
- Ajouter 0,25 ml de réactif de Folin –Ciocalteu ;
- Homogénéiser rapidement et mettre les tubes 30 min à l'obscurité ;
- Après 30 min, homogénéiser les solutions rapidement et lire la DO à 750 nm.

❖ **Expression des résultats**

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

La concentration des protéines inconnues X, Y et Z sont déterminées en portant les valeurs des DO correspondantes sur l'axe des ordonnées qui sont ensuite projetées sur l'axe des abscisses.

La courbe de la gamme étalon est représentée dans la **figure 7** :



**Figure 7 : Courbe étalon DO=f[BSA] du dosage des protéines par la méthode de LOWRY et al (1951)**

**BSA= Albumine Sérique Bovine utilisée comme protéine étalon ;**

**R= Coefficient de corrélation.**

**2.4 Calcul du taux de dénaturation des protéines**

L'objectif étant d'étudier l'effet des traitements technologiques, à savoir, l'ensemble des traitements thermiques sur les échantillons de poudres de lait en calculant le taux de dénaturation des protéines.

Le pourcentage des protéines dénaturées (**PrD**) est déterminé par l'équation suivante :

$$\mathbf{PrD} = (\mathbf{Pr} - \mathbf{PrT}) \times 100/\mathbf{Pr}$$

**Pr** : Quantité de protéines (en g/l) avant chauffage ;

**PrT** : Quantité de protéines (en g/l) après chauffage à la température T pour une durée déterminée.

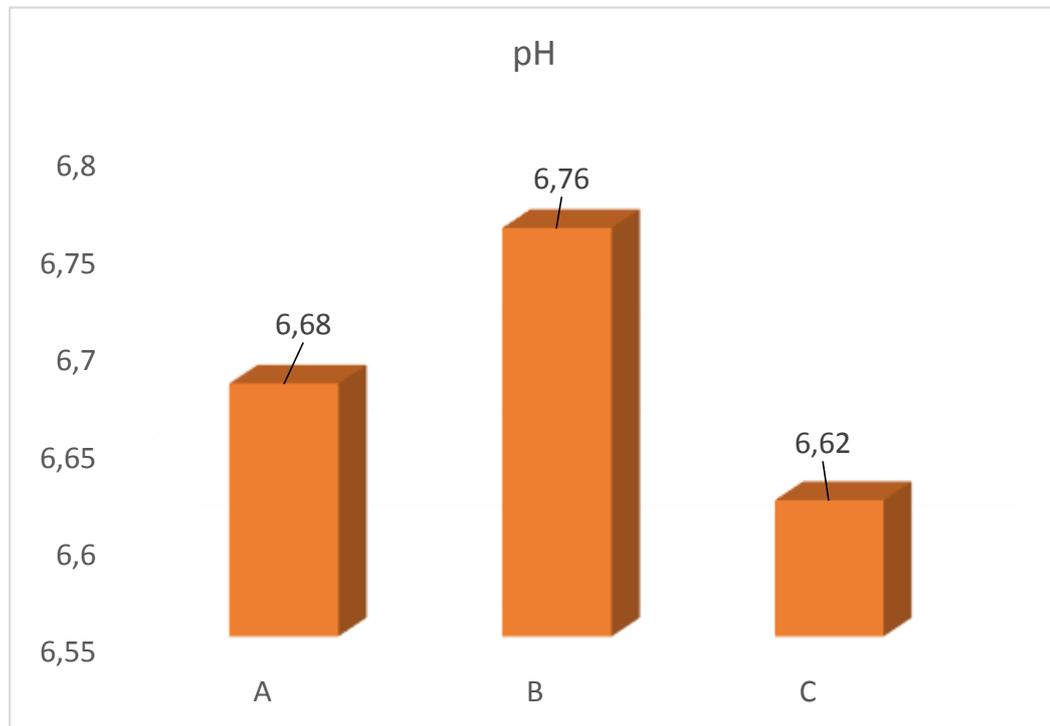


***Résultats et  
discussion***

## 1. Résultats des analyses physico-chimiques

### 1.1 Mesure du pH des laits en poudre

Les valeurs moyennes du pH mesurées sur les échantillons du lait en poudre étudiés sont représentés dans le **tableau (annexe 2)** :



**Figure 8** : représentation graphique des valeurs de l'acidité titrable des laits analysés

Les valeurs de pH mesurées donnent des indications fondamentales sur le lait : elles représentent son état de fraîcheur, particulièrement sa stabilité puisque le pH influence la solubilité des protéines.

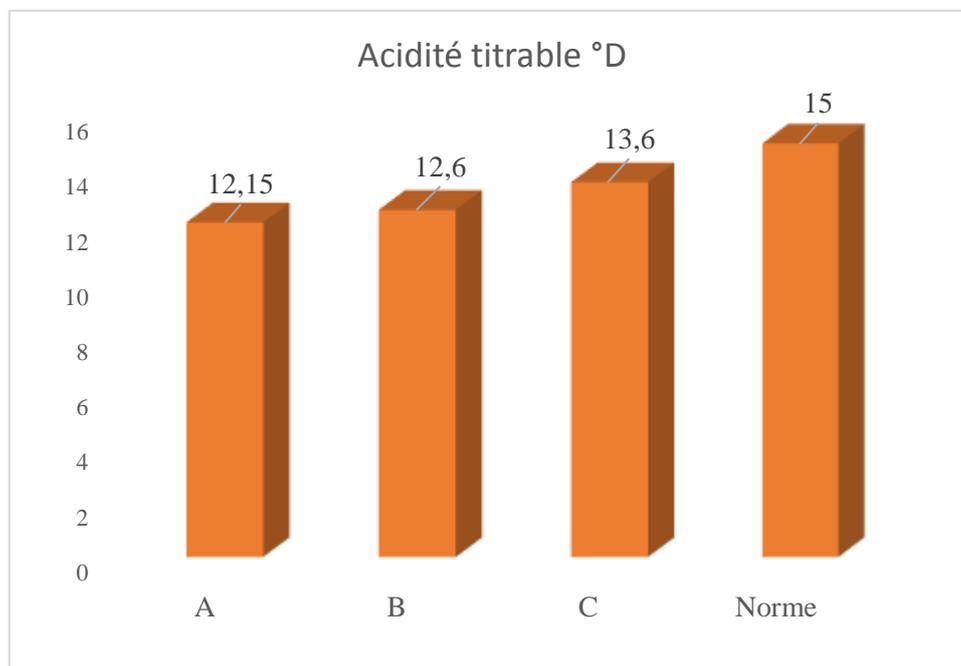
Les valeurs moyennes de pH enregistrées à température du lait à +21°C, pour les trois laits en poudre, varient de 6.62 ( $\pm 0,01$ ) à 6.76 ( $\pm 0,002$ ) (**figure 8**), qui correspondent aux normes de pH d'un lait frais se situant dans un intervalle allant de 6.5 à 6.8 pour le lait de vache cru comme rapporté par plusieurs auteurs (**Kanwal et al., 2004 ; Enb et al., 2009 ; Vuillemand, 2018**).

Selon **Benheddane (2012)**, un lait de vache collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et ayant subi une réfrigération rapide juste après sa traite, a un pH est de 6,7. Dans le cas d'une présence de bactéries lactiques, elles dégradent une partie du lactose du lait

en acide lactique, entraînant l'augmentation de la concentration du lait en ions hydronium ( $H_3O^+$ ) induisant la diminution du pH.

### 1. 2 Mesure de l'acidité titrable

Les résultats de la mesure de l'acidité titrable des trois différents laits en poudre analysés sont représentés dans le **tableau (annexe 3)** :



**Figure 9** : représentation graphique des valeurs de l'acidité titrable des laits analysés

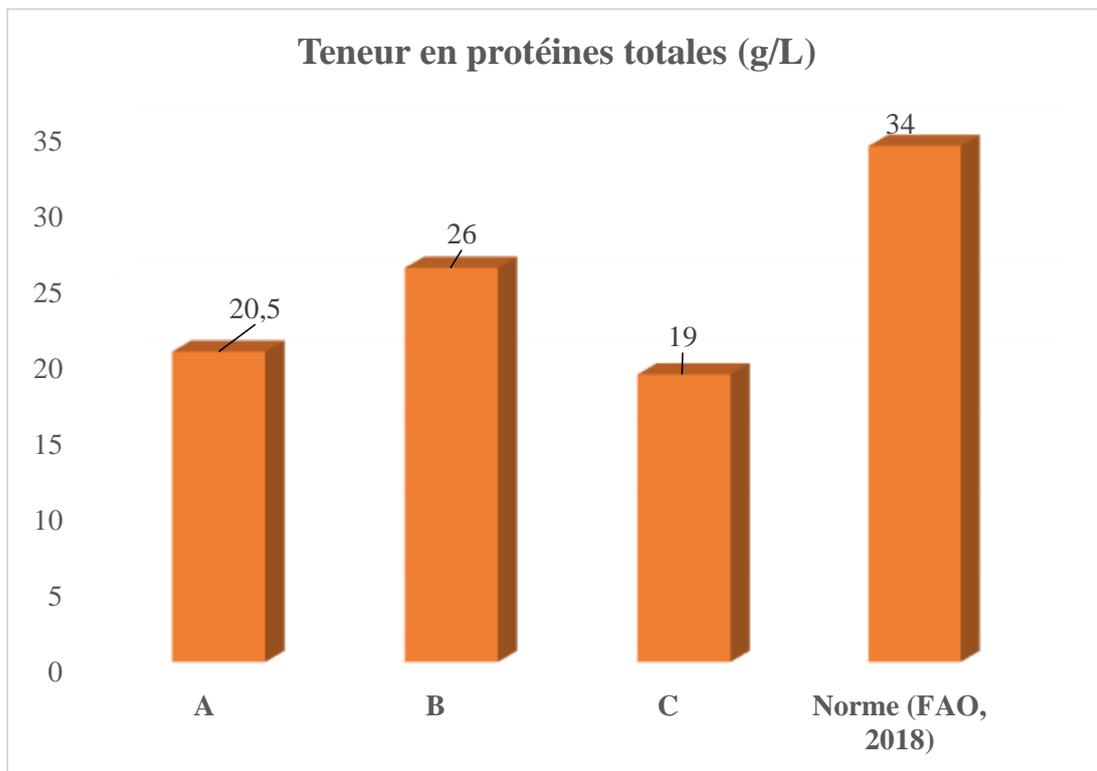
Les valeurs de l'acidité titrable des laits en poudre analysés illustrées dans la (**figure 9**) varient entre 12.15°D et 13.6°D. Ces valeurs sont conformes à la norme établie par la **FAO (2018)** qui doit être inférieure à 18°D pour les différents types de (entier, écrémé et partiellement écrémé).

Selon l'arrêté ministériel n°80 du 14 Novembre 1999 (**Journal officiel**), la teneur en acide lactique se doit d'être inférieure à 0.15%, ce qui confirme la conformité de nos résultats.

D'après **Vuillemard (2018)**, l'acidité titrable d'un lait est influencée par sa teneur en protéines et en minéraux : plus la concentration en ces éléments est élevée, plus l'acidité titrable du lait sera élevée. Comme elle peut être due à une acidité développée sous l'effet des bactéries lactiques par dégradation du lactose en acide lactique.

### 1. 3 Teneur en protéines totales

Les protéines représentent 95% de la quantité totale d'azote dans le lait, possédant des qualités nutritionnelles importantes ainsi que des fonctionnalités technologiques incontestables (Snappe *et al.*, 2010 ; Vuillemand, 2018).



**Figure 10** : représentation graphique des teneurs en protéines des trois poudres de lait analysées

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **tableau (annexe 4)**, indiquent les teneurs moyennes en protéines totales des échantillons des laits en poudres analysés. Ces derniers varient de 19 à 26g/L.

On constate que ces teneurs obtenues lors de l'analyse illustrées par la (**figure 10**) sont variables par rapport aux normes rapportées par la **FAO (2018)**. Cette différence est due probablement aux différents traitements subis par le lait lors de sa transformation en poudre.

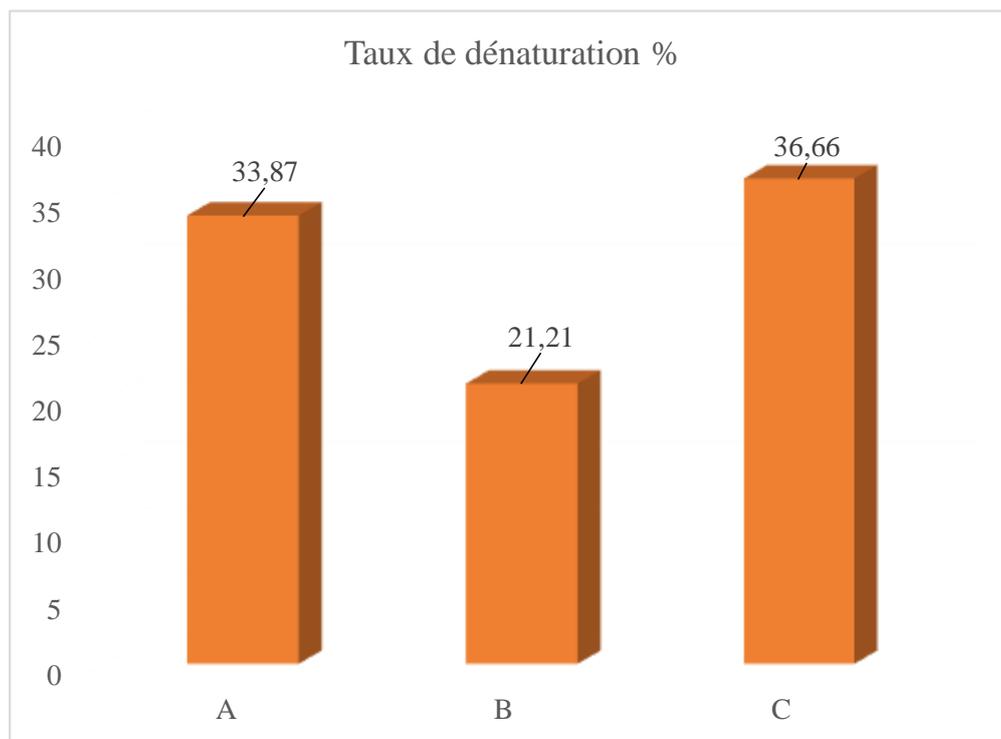
Selon **Jeantet *et al* (2007)**, le lait de vache contient 32 à 35g/L de protéines.

Par contre, **Patel et Patel (2016)**, indiquent qu'il peut contenir entre 30 à 35g/Kg de protéines classées en deux catégories : les caséines et les protéines sériques.

D'après **Kasmi (2022)**, La teneur en protéine est en relation avec la race de la femelle laitière, la santé de la mamelle, le stade de lactation, la saison et surtout de l'alimentation du bétail laitier.

## 2. Evaluation de l'impact des traitements thermiques sur le complexe protéique

Les résultats obtenus lors du dosage des protéines des 3 différents laits en poudre, nous ont aussi permis de déceler un abaissement remarquable de la teneur en protéines par rapport à la teneur en protéines des laits initiaux, mettant en évidence l'impact des différents traitements thermiques subis (**figure 11**) :



**Figure 11** : représentation graphique du taux de dénaturation thermique des protéines des laits en poudre analysés

Les taux protéiques des laits initiaux nous ont été communiqués par les responsables des locaux du conditionnement respectifs des laits en poudre analysés (**annexe 4**).

La diminution de la teneur en protéines peut avoir plusieurs causes :

- formation d'agrégats par polymérisation d'une protéine (cas de la b-Lg) ;
- formation d'agrégats entre les protéines du sérum ( cas de l' $\alpha$ -La et la  $\beta$ -Lg) ;

- interaction entre les protéines du sérum et les caséines, par liaisons hydrophobes, et surtout par l'intermédiaire des résidus thiols (**Ouali, 2004**).

Les taux de dénaturation illustrés dans la (**figure 11**), varient entre 21.21 et 36.66%, laissant déduire que les laits en poudres ont subi d'intenses traitements thermiques au cours de leur fabrication.

Selon **Patel et Patel (2016)**, la dénaturation des protéines est le résultat de la rupture ou de la modification des forces stabilisantes dans la structure native. Ainsi, plusieurs facteurs dont la chaleur, peuvent mener les protéines à perdre leur structure native : la protéine à l'origine compacte, commence à se déplier en une structure aléatoire et désordonnée, d'où l'apparition d'agrégats de protéines liés par des liaisons intermoléculaires et intramoléculaires (covalentes ou non-covalentes), comme le montre la (**Annexe 6**) :

Ainsi, d'après **Zouari (2019)**, durant le séchage par atomisation, les protéines du lait subissent une légère dénaturation thermique, par formation d'agrégats insolubles par des interactions hydrophobes.

Selon **Liu (2022)**, une température de 65 à 70 °C, presque tous les dimères de  $\beta$ -Lg sont dissociés en monomères à pH neutre. En effet, il a été rapporté qu'à 70 °C, il y a apparition irréversible de la plupart des changements conformationnels de la  $\beta$ -Lg. De plus importants changements sont détectés dans la structure secondaire à des températures supérieures à 70°C, décrits comme une perte progressive des feuillet  $\beta$  et la formation de structures désordonnées. A une température supérieure à 85 °C, les structures secondaires de la  $\beta$ -Lg continuent à se décomposer, puis, se dénature complètement avec la rupture des liaisons disulfures à des températures de 125°C.

D'après **Croguennec et al (2008)**, la dénaturation de l' $\alpha$ -La fait augmenter son hydrophobicité de surface, qui est réversible en fonction de la température appliquée. Par contre, un traitement thermique supérieur à 90 °C combiné à un pH inférieur à 5.5 provoqueraient pour leur part une dénaturation irréversible de cette protéine. Durant la dénaturation thermique, il peut y avoir des réactions d'échanges de ponts disulfures

intermoléculaires avec la  $\beta$ -Lg, étant donné que la dénaturation thermique de ces deux protéines provoque l'exposition de leurs groupements hydrophobes, initialement cachés en leur centre, provoquant une agrégation mixte, ce qui rend leur séparation complexe.

Selon **Snappe et al (2010)**, pour le cas des caséines, pour un chauffage inférieur à 90°C, qui dure quelques minutes, il y a un transfert des ions calcium et phosphate de la phase aqueuse vers la phase micellaire : il s'agit d'un phénomène réversible lors du refroidissement. Pour un traitement thermique plus sévère, à des températures supérieures à 90°C, allant de 0 jusqu'à 120 minutes, le phosphate de calcium (associé aux protéines sous forme de phosphate tricalcique, phosphate de calcium amorphe et phosphate dicalcique) précipite. Ces changements sont irréversibles dans la structure et la répartition des sels entre la micelle et la fraction soluble (**Annexes 7 et 8**).

Par contre, les protéines solubles, quant à elles, se dénaturent en ayant la possibilité d'interagir entre elles (formation de complexes solubles) ou avec la caséine Kappa (formation de complexes stables en surface des micelles) sous l'effet de températures supérieures à 70 °C (**Annexe 9**).

**Liu (2022)** rapporte que les effets d'une température plus élevée ( $\leq 90$  °C), ne provoquent pas la désorganisation de la structure de base des micelles ou une déstabilisation colloïdale, malgré la présence d'une importante dissociation de la  $\kappa$ -caséine des micelles induite par la chaleur, quelle que soit la présence ou l'absence de protéines de lactosérum. Cependant, à des températures extrêmes comme celle appliquées dans l'UHT ( $\geq 120$  °C), la dissociation des caséines augmente en fonction de la température et de la durée du traitement thermique.

La  $\beta$ -Lg dénaturée par la chaleur interagit avec la  $\kappa$ -caséine et la caséine  $\alpha_s2$  peuvent interagir avec la  $\beta$ -Lg dénaturée par la chaleur par le biais de réactions intermoléculaires d'échanges thiol-disulfure.



***Conclusion***

## Conclusion générale

La qualité d'un lait en poudre comme tout autre produit alimentaire, dépend de multiples facteurs dont : la nature et la qualité de la matière première utilisée, le procédé de fabrication suivi et les ingrédients incorporés aux différents stades de l'élaboration du produit. Ainsi une bonne connaissance de toutes les normes joue un rôle important pour obtenir un produit de haute qualité

La production du lait en poudre occupe une place importante, c'est un produit de base parmi les autres produits laitiers, cependant les quantités produites localement ne parviennent pas à satisfaire les besoins du consommateur.

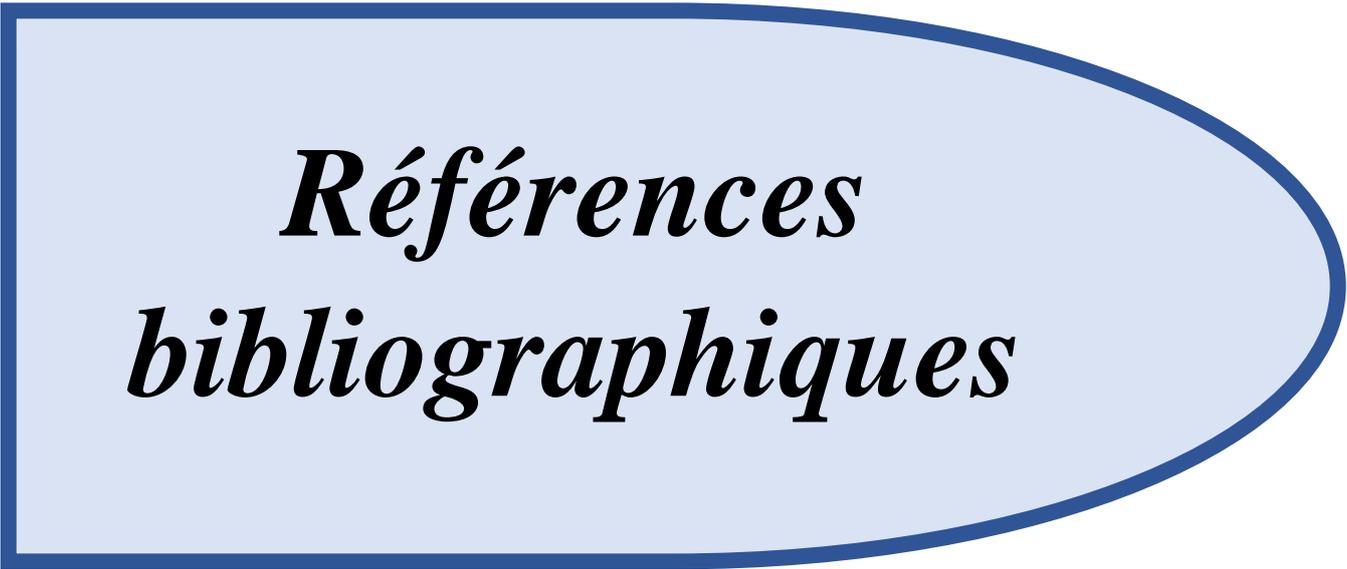
La présente étude est réalisée dans le but de contribuer à l'évaluation de la qualité de cette matière et à une meilleure connaissance de l'impact des traitements thermiques sur le complexe protéique du lait en poudre durant sa production (dénaturation protéique), notamment sur les séroprotéines qui sont les plus thermosensibles. Ces effets sont évalués par spectrométrie suivant la méthode de **LOWRY *et al* (1951)** et par estimation des pourcentages de leur dénaturation.

Trois marques de poudres de lait des plus consommées chez nous ont fait l'objet de notre étude, les analyses physico chimiques qui ont portés sur le pH, l'acidité et le dosage du taux protéique du produit fini (la poudre), ont révélés que :

Les valeurs de pH et de l'acidité titrable sont conformes aux normes, En effet le pH varie entre 6.6 et 6.8, et une acidité titrable inférieure à 15°D.

En second lieu, le dosage protéique de ces poudres de lait par spectrométrie, a révélé en moyennes des teneurs faibles (entre 19 et 24g/L) qui sont au-dessous de la norme 34g/L, reflétant leur faible valeur nutritionnelle. Le calcul des pourcentages de dénaturation des protéines de ces poudres de lait a révélé des taux importants (de 21,21% à 36,66%).

De ce fait, on constate que l'ensemble des poudres de lait ont subis des traitements thermiques excessifs, réduisant leurs qualités nutritionnelles.



*Références  
bibliographiques*

## A

**Abdenouri N., Ildimamet A., Kouhila K. (2008).** Etude hygroscopique du lait en poudre. Revue des Energies Renouvelables. Alger. P : 35-44.

**AFNOR (1978).** Détermination de la teneur en eau – méthode par étuvage, No : V04-348.  
Akalaïn, A.S., Unal, G., Dinkci, N. Hayaloglu, A.A., (2008). Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. Journal of Dairy Science 95(7), 3617-3628.

**Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R., Turgeon H. (2002).**  
Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. In VIGNOLA C.L. Science et technologie du lait - Transformation du lait. École polytechnique de Montréal, ISBN : 3-25-29, 600 p.

**Augustin, Mary-Ann, Clarke P-T, Craven H. (2003).** POWDERED MILK | Characteristics of Milk Powders. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 4703-4711.

## B

**Benhedane N. (2012).** Qualité microbiologique du lait cru destinier à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'Est Algérien. Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, p 71.

**Berg, van Boekel HE, M.A.J.S. (1994).** Degradation of lactose during heating of milk. 1. Reaction pathways Neth. Milk Dairy J. 48: 157–175.

**Boudier JF., Schuck P. (2010).** Les laits en poudres. Sciences des Aliments 29, 51-60.

## C

**Cosentino C., Labella C., Elshafie HS., Camele I., Musto M., Paolino R., D'Adamo C., Freschi P. (2016).** Effects of different heat treatments on lysozyme quantity and antimicrobial activity of jenny milk. Journal of Dairy Science, 99, 5173-5179.

**Caric M., Akkerman JC., Milanović S. (2009).** Dairy Powders and Concentrated Products. ResearchGate 99-148.

**Castro M. et Harper WJ. (2003).** Effect of retentate heattreatment and spray dryer inlet temperature on the properties of milk protein concentrates (MPC's). *Milchwissenschaft* 58:13–15.

**Chavan RS., Sehrawat R., Mishra V., Bhatt S. (2016).** Milk: Processing of Milk. *Encyclopedia of Food and Health* 729–735.

**Chouiti F. (2013).** Recherche et caractérisation des bacilles thermophiles dans le lait pasteurisé de vache et le lait recombinaé. Mémoire de master en microbiologie : université Aboubekr Belkaid Tlemcen, Algérie. 62p.

## D

**De la Fuente MA., Hemar Y., Tamehana M., Munro PA., Singh H. (2002).** Process induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein concentrates, *International Dairy Journal*, 12,361-369.

**Delobette JB., Ormerod OJ. (1991).** Mise au point de procédé de traitement des lactosérums et effluents de fromageries en production fermière. *Compte rendu sur les techniques d'élevage et qualité Institut d'élevage. INRA.*

**De Wit JN. (2009).** Thermal behaviour of bovine  $\beta$ -lactoglobulin at temperatures up to 150 °C. a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20(1), 27–34.

**Dumpler J., Huppertz T., Kulozik U. (2020).** Heat stability of milk and concentrated milk: Past, present, and future research objectives. *Journal of Dairy Science*, 103 (12), 10986-11007.

## E

**Eeckhoutte M. (1995).** Technologie et inspection du lait des produits laitiers Toulouse, E.N.V. -Chaire d'HIDAOA, 184p.

**Enb A., Abou Donia MA., Abd-Rabou NS., Abou-Arab AAK., El-Senaity MH. (2009).** Chemical composition of raw milk and heavy metals behavior during processing of milk products. *Global Veterinaria*, 3(3), 268-275.

**Enzonga-Yoca JA., Nitou JG., Allou Kippré V., Niamayoua RK., Mvoula-Tsieri M., Silou T. (2011).** Caractérisation chimique et évaluation de la température de conservation du

lait des graines de cucurbitacées : Cucumeropsis mannii et Citrullus lanatus. Journal of Animal & Plant Sciences, 10 (1), 1232-1238.

## **F**

**Famelart MH., Guyomarc'h F., Morand M., Novales B. (2011).** Agrégation protéique et propriétés gélifiantes et moussantes des protéines laitières – quoi de neuf sur le plan des connaissances ? Innovations Agronomiques, 13(13), 117–132.

**FAO, INPHO (1998).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine [en ligne]. Rome : FAO, 1998.

**FAO. (1999).** Norme pour les laits en poudre et la crème en poudre (Codex Alimentarius CXS 207-1999) amendé en 2018.

**Farkas J. (2007).** Physical methods of food preservation. Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers, Third Edition, American Society of Microbiology: 685-712.

**Fitzpatrick JJ., Barry K., Cerqueira PSM., Iqbal T., O'Neill J., Roos YH. (2007).** Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. International Dairy Journal, 17 (4), 383-392.

**Fumex M. (2019).** Les différentes méthodes d'analyse quantitative des protéines dans le domaine pharmaceutique : description, comparaison et nouvelles perspectives. Thèse de doctorat. Université de Lorraine, France

## **G**

**Ghaoues S. (2011).** Evaluation de la qualité physico-chimique et organoleptique de cinq marques de laits reconstitués partiellement écrémés commercialisés dans l'est Algérien. Mémoire de Magister en Sciences Alimentaires option Technologie Alimentaire. Université MENTOURI – Constantine, p 129.

## **H**

**Hachana Y., Aouini W., Lanouar L., Guider M. (2018).** Influence of raw milk quality on skimmed milk powder quality. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 50(2), 3015- 3024.

**Hanna-Wakim R., Yasukawa LL. (2008).** "Immune responses to mumps vaccine in adults who were vaccinated in childhood." *Journal of Infectious Diseases* 197(12), 1669- 1675.

**Havea P., Singh H., Creamer LK. (2001).** Characterization of heat-induced aggregates of  $\beta$ -lactoglobulin,  $\alpha$ -lactalbumin, and bovine serum albumin in a whey protein concentrate environment. *J. Dairy Res.* 68:483–497.

**Huppertz T., Nieuwenhuijse H. (2021).** Invited review: Constituent fouling during heat treatment of milk. *International Dairy Journal*, 126, 105236.

## I

**ISO 11139. (2001).** Ne spécifie pas d'exigences relatives à la validation et au contrôle de routine d'un procédé de stérilisation, mais son but est d'apporter une contribution fondamentale au développement d'une compréhension mutuelle entre les personnes qui préparent les Normes internationales et celles qui les utilisent dans le domaine des technologies de stérilisation.

## J

**Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brule G. (2007).** *Science des aliments-technologie des produits alimentaires tec et doc*, Lavoisier : 17, 456.

**Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P., Brule G. (2008)** *Les produits laitiers*, 2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier : 1-3-13-14-17, 185.

**JORA (Journal Officiel de la République Algérienne) N°80 du 14 Novembre 1999.** Arrêté du 27 octobre 1999 relatif aux spécifications du lait en poudre industriel et aux conditions et modalités de sa présentation, sa détention, son utilisation et sa commercialisation.

## K

**Kalyankar SD., Deshmukh MA., Chopde SS., Khedkar CD., Lule VK., Deosarkar SS. (a). (2016).** Milk Powder. *Encyclopedia of Food and Health*, 724–728.

**Karam MC. (2013).** Réhydratation des protéines lactières dans un milieu complexe : influence de l'état d'hydratation sur les propriétés texturales des gels acides. Thèse Doctorat. Université de Lorraine, France.

**Kasmi H. (2023).** Efficacité compare de plusieurs tests dans l'évaluation de la qualité de lait. Thèse de Doctorat. Université Ibn Khaldoun, Tiaret.

**Kaouche-Adjlane S., Benhacine R., Ghozlane F., Mati A. (2014).** Nutritional and Hygienic Quality of Raw Milk in the Mid-Northern Region of Algeria: Correlations and Risk Factors. *The Scientific World Journal*, 7, 131593.

**Kelly AL., O'Connell JE., Fox PF. (2003).** Manufacture and Properties of Milk Powders. Dans: FOX PF, MCSWEENEY PLH, éditeurs *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins*. 3<sup>ème</sup> édition. New York, NY: kluwer Academic/Plenum Publishers, 1027-1061

**Kinsella JE. et Whitehead DM. (1989).** Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. In *Advances in food and nutrition, research*, 33, 343-438.

## L

**Leseur R., et Melik N. (1999).** Lait de consommation In LUQUEE F.M, *Laits et produits laitiers vache brebis chèvre*, Tec et Doc, Lavoisier, Paris : 5, 637.

**Lewis GN. et Randall M. (1923).** *Thermodynamics and the free energy of chemical substances*. 1st edition, McGraw Hill book, New York, USA.

**Leyral G. et Vierling E. (2007).** *Microbiologie et toxicologie des aliments : Hygiène et sécurité alimentaires*. 4<sup>ème</sup> édition; 287.

**Li F., Hunt K., Jordan K., Tobin JT., Van Hoorde K., Butler F. (2019).** Occurrence and identification of spore-forming bacteria in skim-milk powders [Article].

**Lindsay D., Collin R., Van Hekezen R. (2020).** *Microorganisms in Milk Powders*. Reference Module in Food Science.

**Liu W. (2022).** Rôle de la micelle de caséine sur la dénaturation thermique des solutions de protéines de lactosérum et les mécanismes d'encrassement. Thèse de Doctorat. Université de Lille, France.

**Lorient D. (2001).** Influence des traitements technologiques sur les propriétés nutritionnelles du lait In: *lait, nutrition et santé*. Debry G. Lavoisier. Tec et Doc. Paris, 192-224.

## M

**Machiels D., Istasse L. (2002).** La réaction de Maillard : importance et application en chimie des aliments. In Annales de Médecine Vétérinaire, 146 (6), 347-352.

**Morr CV. et HA EYW. (1993).** Whey protein concentrates and isolates processing and Functional properties. Critical reviews in food science and nutrition, 33 (6), 431- 476.

## N

**Ndiaye NP. (2002).** Contrôle de qualité de différentes marques de laits en poudre commercialisés au Sénégal. Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

**Nieuwenhuijse H., Huppertz T. (2022).** Heat-induced changes in milk salts: A review International Dairy Journal, 126.

**Nieuwenhuijse H., (2016).** Concentrated Dairy Products: Sweetened Condensed Milk. Reference Module in Food Science.

**Noblet B. (2012).** Le lait : produits, composition et consommation en France. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 47(5), 242–249.

## P

**Pal M., Alemu J., Mulu S., Karanfil O., Parmar B., Nayak JB. (2016).** Microbial and Hygienic aspects of Dry Milk Powder. Beverage and Food World. 43. 28-31.

**Park YW., Haenlein GFW. (2013).** Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health. Wiley Blackwell.

**Patel H. et PATEL S. (2016).** Rapport technique « comprendre le rôle des productions laitières » Université d'état du Dakota du Sud « National Dairy Council, 16p.

**Philip M. (2006).** Innovation in milk powder technology. International Journal of Dairy Technology. Ireland, 59 (2), 69-75.

**Pierre A., Brule G., Fauquant J., Piot M. (1977).** Lait. Dairy Science and Technology, 57, 569-570.

**Pramularsih I. (2020).** Testing for total bacteria in dairy powder-comparison of test incubation temperatures (a case study). Thèse de Doctorat. Université de Massey, Manawatū, New Zealand.

## O

**Ouali Samia (2004).** Qualité du fromage à pâte molle type Camembert fabriqué à la laiterie de Draa Ben Khedda : nature de la matière première et évaluation de l'activité protéolytique au cours de l'affinage et de l'entreposage réfrigéré du fromage. Mémoire de Magister en Sciences Alimentaires option Nutrition Appliquée. Université des frères Mentouri, Constantine, p 88.

## R

**Robinson RK. (2005).** Dairy Microbiology Handbook: The Microbiology of Milk and Milk Products 3rd ed. John Wiley & Sons.

**Ronimus RS., Parker LE., Turner N., Poudel S., Ruckert A., Morgan HW. (2003).** A RAPD-based comparison of thermophilic bacilli from milk powders. *International Journal of Food Microbiology*, 85(1-2), 45–61.

**Ruckert A., Ronimus RS., Morgan HW. (2004).** A RAPD-based survey of thermophilic bacilli in milk powders from different countries. *International Journal of Food Microbiology*, 96(3), 263– 272.

## S

**Sadiq FA., Li Y., Liu T., Flint S., Zhang G., He G. (2016).** A RAPD based study revealing a previously unreported wide range of mesophilic and thermophilic spore formers associated with milk powders in China. *International Journal of Food Microbiology*, 217, 200– 208.

**Schuck P., Floch-Fouere C., Jeantet R. (2013).** Changes in Functional Properties of Milk Protein Powders: Effects of Vacuum Concentration and Drying, *Drying Technology*, 31:13-14, 1578-1591.

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

**Schuck P., Dolivet A., Jeantet R. (2012).** Les poudres laitières et alimentaires : techniques d'analyses. Lavoisier, Paris

**Skanderby M., Westergaard V., Partridge A. (2009).** Dried Milk Products. In A. Y. Tamime (Ed.), Dairy powders and concentrated products (pp. 180-234). WileyBlackwell.

**Snappe J-J, Lepoudere A., Sredzinski N. (2010).** Protéines laitières. Ref : TIP700WEB - "Agroalimentaire".

**Soler-Rivas C., Wichers HJ. (2001).** Review in Impact of (bio)chemical and physical procedures on food allergen stability. *Allergy*, 56 (67), 52-55.

## T

**Taibi, F. et Boumendjel M. (2015).** Conservation et stockage des denrées alimentaires, Éditions universitaires européennes.

## V

**Van Boekel MAJS. (1998).** Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry* 1998;62:403–14.

**Vuillemard JC. (2018).** Science et technologie du lait. Presses de l'Université Laval, 546.

**Vuillemard JC., Gauthier S., Paquin P. (1989).** Les ingrédients à base de protéines laitières : obtention, propriétés et utilisations. *Le Lait*, 69(4), 323-351.

## W

**Walstra P., Jenness R. (1984).** Dairy chemistry and physics. New York : Wiley, 467 p.

**Westergaard V. (2004).** Milk Powder Technology: Evaporation and Spray Drying. Niro A/S. Copenhagen, Denmark.

**Wong KF., Middleton N., Montgomery M., Dey M., Carr RI. (1998).** Immunostimulation of murine spleen cells by materials associated with bovine milk protein fractions. *Journal of Dairy Science*, 81, 1825-1832.

**Y**

**Yang M., Zhang W., Wen P., Zhang Y., Liang Q. (2014).** Heat stability of yak micellar casein as affected by heat treatment temperature and duration. *Journal of Dairy Science*, 94, 469-481.

**Z**

**Zain SNM., Flint SH., Bennett R., Tay H-S. (2016).** Characterisation and biofilm screening of the predominant bacteria isolated from whey protein concentrate 80. *Dairy Science & Technology: Official journal of the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)Formerly 'Le Lait'*, 96(3), 285.

**Zouari A. (2019).** Etude physique et biochimique de la poudre de lait de chamelle séchée par procédé d'atomisation : étude comparative avec le lait de vache. Thèse de Doctorat. Université de Sfax, Tunisie.

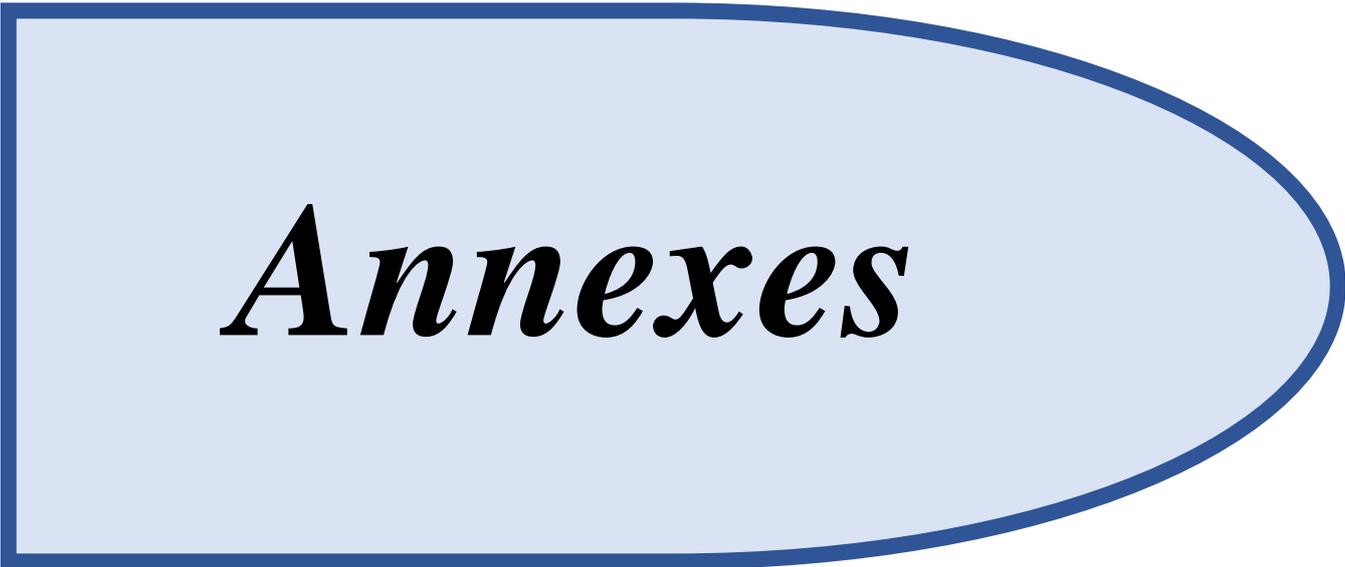
## *Références webographiques*

**Ecofin, 2020**, Algérie : les importations de produits laitiers ont atteint 1,2 milliard \$ en 2019.

<https://www.agenceecofin.com/agro-industrie/1612-83591-algerie-les-importations-de-produits-laitiers-ont-atteint-1-2-milliard-en-2019>.

**Chalabi B. 2020**, Poudre de lait : 600 millions de dollars d'importation en 2021.

<https://www.reporters.dz/poudre-de-lait-600-millions-de-dollars-dimportation-en-2021/>



# ***Annexes***

**Annexe 1 : Matériels**

- Verrerie de différents types : Bêchers (10ml, 50ml, 100ml et 250ml), fiole jaugée (50ml et 100ml), éprouvettes (20ml, 500ml), burette de titration (25ml), tubes à essais, porte tube, cuve à spectrophotomètre ;
- Micro-seringue 1ml ;
- Micropipette à volume fixe (250 $\mu$ l) ;
- Gants et masques.

**Annexe 2 : Moyennes des valeurs de pH des trois poudres de lait analysées**

<b>Lait en poudre</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>pH</b>	6,68 $\pm$ 0,03	6,76 $\pm$ 0,002	6,62 $\pm$ 0,01

**Annexe 3 : Valeurs des acidités titrables des trois poudres de lait analysées**

<b>Lait en poudre</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Acidité titrable °D</b>	12.15	12.6	13.6

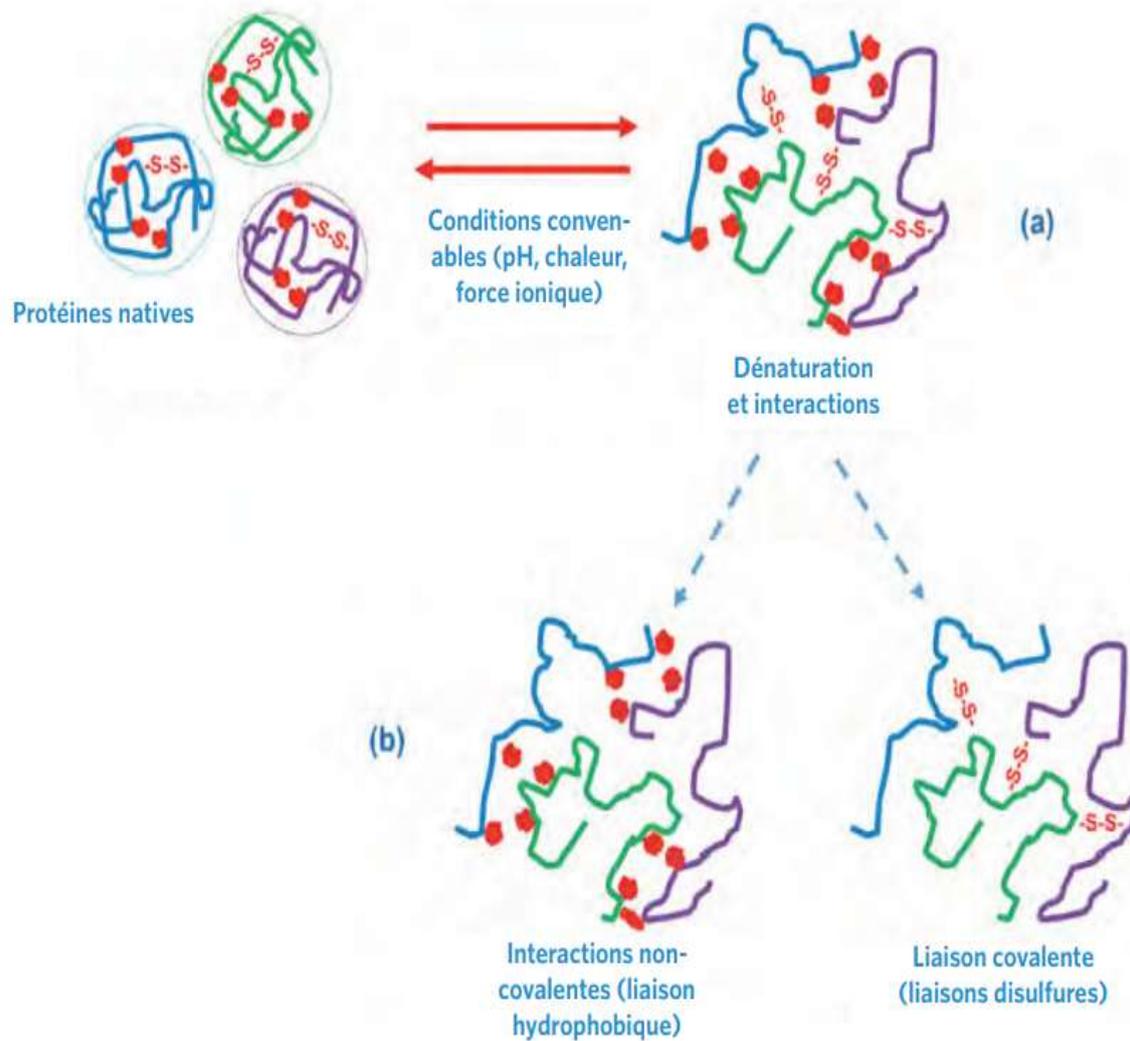
**Annexe 4 : Teneurs en protéines totales des poudres analysées**

<b>Lait en poudre</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Teneurs en protéines totales (g/L)</b>	20.5	26	19

**Annexe 5 : Taux de dénaturation thermique des protéines des laits en poudre analysés**

<b>Lait en poudre</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Taux protéique du lait initial (g/L)</b>	31	33	30
<b>Taux de dénaturation (%)</b>	33.87	21.21	36.66

**Annexe 6** : Les changements induits par la chaleur dans la structure native des protéines : **a)** la dénaturation des protéines, **b)** la formation d'interactions protéiques covalentes et non-covalentes (**Patel et Patel, 2016**)

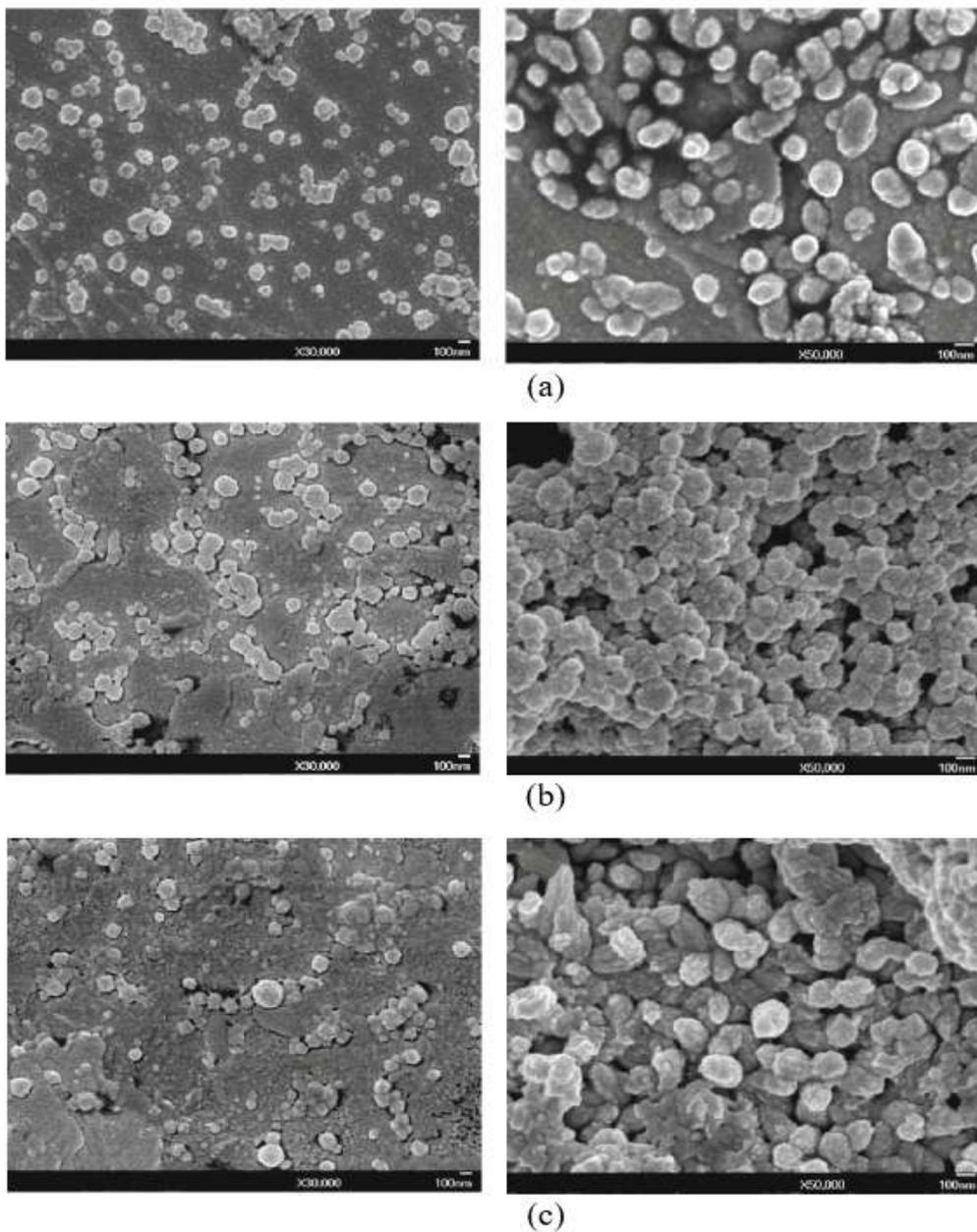


**Annexe 7** : La topographie des micelles de caséine dans le lait écrémé après traitements thermiques à différentes températures pendant 15 minutes (Yang et al., 2014) ;

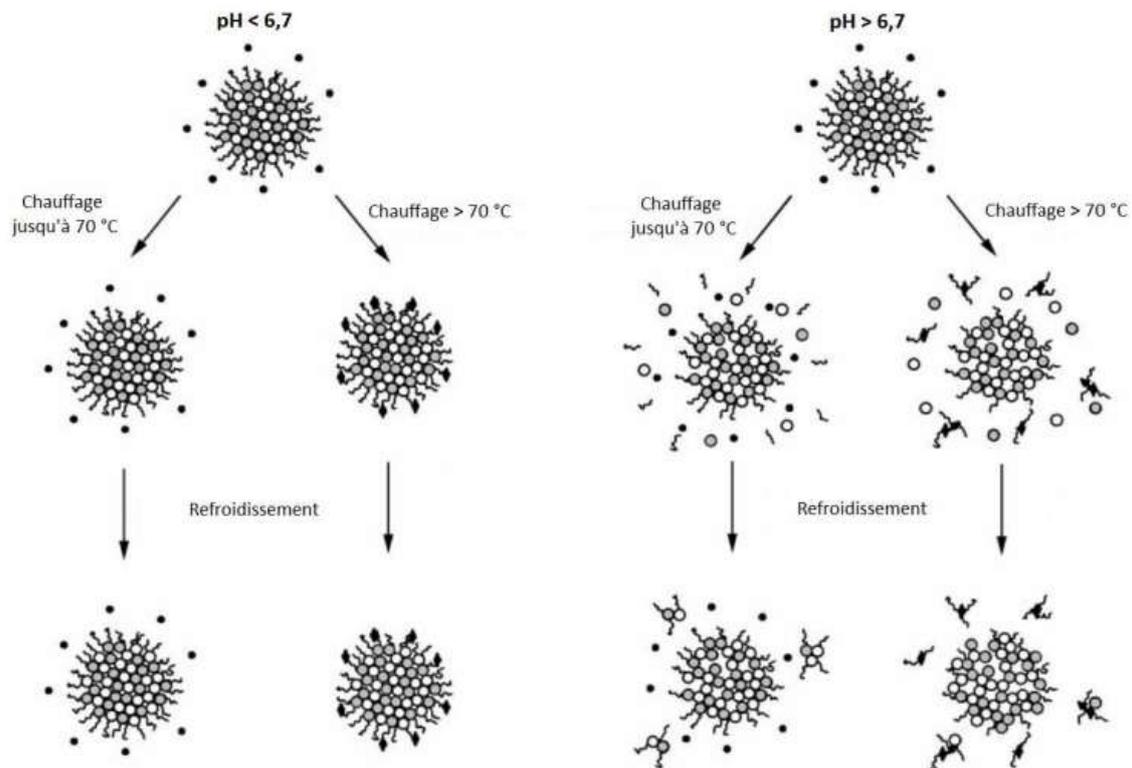
(a) : Micelles de caséine dans du lait écrémé lors d'un traitement thermique de 15 minutes à 30°C ;

(b) : Micelles de caséine dans du lait écrémé lors d'un traitement thermique de 15 minutes à 70°C ;

(c) : Micelles de caséine dans du lait écrémé lors d'un traitement thermique de 15 minutes à 90°C.



**Annexe 8** : Représentation schématique de l'effet du pH et de la température sur les micelles de caséine et les protéines de lactosérum dans le lait écrémé chauffé (Liu, 2022)



**(a)** Valeurs de pH inférieures à 6,7 ; **(b)** Valeurs de pH supérieures à 6,7 ;

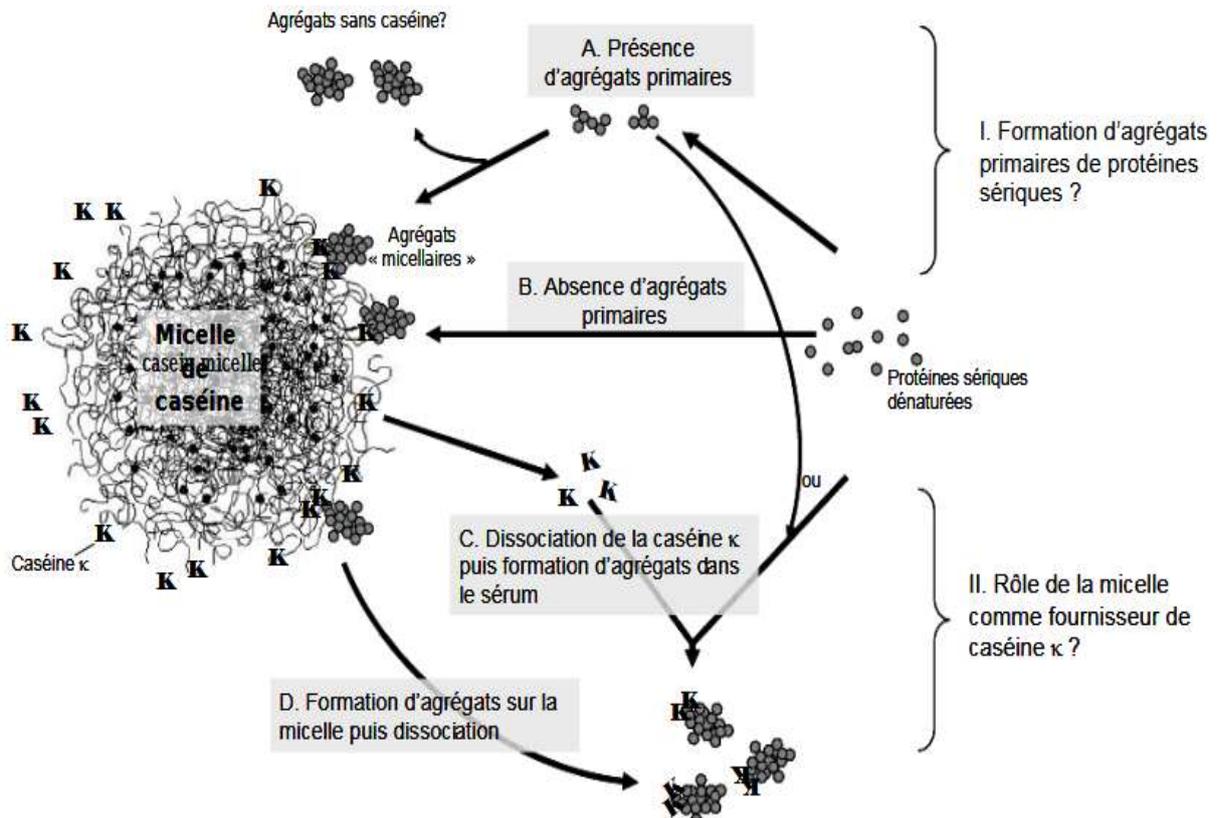
**(i)** peu de changements dans les micelles de caséine lors du chauffage et du refroidissement ;

**(ii)** les protéines sériques se dénaturent et s'associent à la  $\kappa$ -caséine à la surface des micelles de caséine ;

**(iii)** toutes les caséines se dissocient des micelles lors du chauffage, mais lors du refroidissement ultérieur, les caséines dissociées forment des petits agrégats qui sont stabilisées par la  $\kappa$ -caséine ;

**(iv)** toutes les caséines se dissocient des micelles lors du chauffage. Les protéines de lactosérum se dénaturent et s'associent à la  $\kappa$ -caséine dissociée. Lors d'un refroidissement ultérieur, les  $\alpha$ s/ $\beta$ -caséines dissociées se réassocient aux micelles d'origine, mais les complexes  $\kappa$ -caséine/protéines de lactosérum restent dans le sérum.

Annexe 9 : Effets des traitements thermiques sur les protéines du lait (Famelart et al., 2011).



## ملخص

الجزائر هي الدولة الرائدة في استهلاك الحليب في منطقة المغرب العربي. وأمام الطلب الكبير تلجأ البلاد إلى استيراد الحليب المجفف.

تهدف دراستنا إلى دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية والغذائية لثلاث ماركات من الحليب المجفف الأكثر تسويقاً في الجزائر (A, B, C) وتقييم تأثير المعالجات الحرارية على بروتيناتها من خلال تقدير نسب التفكك.

وفقاً لنتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية التي تم إجراؤها، فإن الرقم الهيدروجيني والحموضة يتوافقان مع المعايير. الرقم الهيدروجيني للعلامات التجارية الثلاثة لمسحوق الحليب A و B و C هو على التوالي  $6.68 (\pm 0.03)$ ،  $6.76 (\pm 0.002)$ ،  $6.62 (\pm 0.01)$ ، والتي تتوافق مع معايير الرقم الهيدروجيني للحليب الطازج التي تتراوح من 6.5 إلى 6.8. بالنسبة للحموضة القابلة للمعايرة، فإن القيم التي تم الحصول عليها من مساحيق الحليب الثلاثة (A، B، C) هي على التوالي 12.15 درجة عمق، 12.6 درجة عمق و13.6 درجة عمق. ووفقاً للمعايير يجب أن تكون درجة حرارة أنواع المسحوق المختلفة (الكامل، منزوع الدسم، ومنزوع الدسم جزئياً) أقل من 15 درجة مئوية.

أما بالنسبة لجرعة البروتين: فإن بروتينات المادة الأولية تتوافق مع معايير العلامات التجارية الثلاثة للمسحوق، ولكن من ناحية أخرى، أثناء تصنيعها وتحويلها إلى مسحوق، كشفت لنا جرعة مستوى البروتين أن هناك من المحتمل أن يكون الانخفاض الكبير بسبب المعالجة المفرطة وهذا ما يسمى بالتسخين الحراري

**الكلمات المفتاحية:** الحليب المجفف، جودة، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، المعالجة الحرارية، التفكك الحراري.

## **Abstract**

Algeria is the biggest consumer of milk in the Maghreb. To keep up with demand, the country imports milk powders.

The goal of our study is to evaluate the physicochemical and nutritional quality of three of the most popular brands of milk powder marketed in Algeria (A; B; C), and to estimate the effects of heat treatment on their proteins by measuring denaturation percentages.

According to the results of the physicochemical analyses carried out, pH and acidity were in conformity with standards. The pH of the three brands of milk powder, A, B and C, are respectively 6.68 ( $\pm 0.03$ ), 6.76 ( $\pm 0.002$ ) and 6.62 ( $\pm 0.01$ ), which correspond to the pH standards for fresh milk varying from 6.5 to 6.8. For titratable acidity, the values obtained for the three milk powders (A; B; C) are 12.15°D, 12.6°D and 13.6°D respectively. And according to the standards, the different types of powder (full-fat, skimmed and part-skimmed) must be below 15°D.

As for protein dosage: the protein content of the initial milk complies with the standards for all the three milks powder, but during their production and transformation into powder, the values of the dosage of the protein content were significantly reduced, probably due to excessive processing, known as thermal denaturation.

**Key words:** milk powder /quality /physicochemical analysis /heat treatment /thermal denaturation.

## **Résumé**

L'Algérie est le premier pays consommateur de lait au Maghreb. Et face à la grande demande, le pays a recours à l'importation des poudres de lait.

Notre étude a pour but d'étudier la qualité physicochimique et nutritionnelle de trois marques de lait en poudre les plus commercialisées en Algérie (A ; B ; C) et d'évaluer les effets des traitements thermiques sur leurs protéines par estimation des pourcentages de dénaturation.

D'après les résultats des analyses physicochimiques réalisées, le pH et l'acidité sont conformes aux normes. Le pH des trois marques de laits en poudre A, B et C, sont respectivement 6,68 ( $\pm 0,03$ ), 6,76 ( $\pm 0,002$ ), 6,62 ( $\pm 0,01$ ), qui correspondent aux normes de pH d'un lait frais allant de 6.5 à 6.8. Pour l'acidité titrable, les valeurs obtenues des trois poudres de lait (A ; B ; C) sont respectivement 12.15°D, 12,6°D et 13.6°D. Et selon les normes les différents types de poudre (entier, écrémé et partiellement écrémé) doivent être inférieurs à 15°D.

Pour ce qui est du dosage des protéines : les protéines de la matière première sont conformes aux normes pour les trois marques de poudre mais par contre lors de leurs fabrications et de leurs transformations en poudre le dosage du taux protéique nous a révélé qu'il y a eu une baisse importante ceci est dû probablement à un traitement excessif c'est ce qu'on appelle la dénaturation thermique.

**Mots Clés :** lait en poudre /qualité /analyses physicochimiques /traitement thermique /dénaturation thermique.