



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

MEBARKI Ali

ZOUANI Abdenour

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : BIOTECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

THÈME

**Effet de réchauffement par micro-onde sur la qualité
physicochimique et microbiologique du lait cru**

Soutenue publiquement le 18/06/2017

DEVANT LE JURY

Président	M. BOUDEROUA. K	Professeur	Univ de Mostaganem
Encadreur	Mme. BENMAHDI. F	M.A.A	Univ de Mostaganem
Examineur	M. BEKADA. A	Professeur	Univ de Tissemsilt

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions « **ALLAH** » tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pendant toutes ces années d'études pour concrétiser ce travail.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à :

Mme BENMAHDI.F ; notre directrice de mémoire, pour sa gentillesse, sa disponibilité, son aide précieuse et son optimisme à toute épreuve. Nous lui en sommes reconnaissants de nous avoir donné la magnifique opportunité de réaliser ce travail. Merci pour toute madame.

Mr BOUDEROUA.K ; directeur de laboratoire de Technologie Alimentaire et de Nutrition à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, permettez-nous de vous exprimer nos plus vifs remerciements et notre plus profonde gratitude de nous avoir accueillis dans votre laboratoire et de nous avoir ainsi facilité la tâche pour la réalisation de ce travail. Encore merci pour l'honneur que vous nous faites en acceptant tout volontiers de présider le jury de ce mémoire.

Mr BEKADA.A ; enseignant à l'université de Tissemsilt qui nous a fait l'honneur d'examiner notre travail et ainsi assister au jury de soutenance.

Mr Benabdelmoumene.Dj ; chef de département d'Agronomie à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour ses conseils scientifiques judicieux et son suivi durant la réalisation de ce travail.

Nous tenons également à remercier **Mme fatima** ; la technicienne du laboratoire de Technologie Alimentaire et de Nutrition à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour sa disponibilité et son aide précieuse lors des analyses biochimiques des échantillons.

Enfin, à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et notre réussite. Que chacun veuille trouver ici le témoignage de notre grand respect.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse-t-il t'honorer.

A mon Père

Le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jours et nuits pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices.

A tous mes frères et sœurs.

A tous mes nièces et neveux.

A toute ma famille paternelle et maternelle.

A tous mes amis.

A mes collègues de promotion de Biotechnologie Alimentaire 2016-2017.

A tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui m'aident pour arriver ici.

Ali

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à
Mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour
Ma réussite et ils m'ont éclairé le chemin par
Leurs conseils judicieux.*

*J'espère qu'un jour,
Je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont
Fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.*

*Je dédie aussi ce travail à mes frères et
Sœurs, ma famille et mes amis,
Tous mes professeurs qui nous ont enseigné
Et à tous qui nous sont chers.*

Ninou

Liste des abréviations

% : pourcentage

µm: Micro-mètre

Abs: absence

AG: Acide gras

C° : degré Celsius

Ca/P: Calcium/Phosphore

CF : Coliformes fécaux

Cm² : Centimètre carré

CSR : Clostridium-sulfito-réducteur

CT : Coliformes totaux

d : densité

D° : degré Dornic

EPT : Eau peptonnée tamponnée

EST : Extrait Sec Total

F.A.O : Food agronomique organisation

g/l : gramme sur litre

GHz : Gigahertz

HS : Effet hautement significatif du facteur étudié

Hz : Hertz

Kcal: kilo calories

Kg : kilogramme

Km : Kilomètre

MG : matière grasse

mg : milli gramme

Mg: Magnésium

MHz : Mégahertz

Min : minute

ml : milli litre

n : Nombre de répétitions

NS : Effet non significatif du facteur étudié

PCA: Plant count agar

pH : potentiel Hydrogène

S : seconde

Staph : Staphylococcus aureus

TCA: Acide trichloroacétique

Tr : Traces

UFC : unité formant colonie

VF : gélose glucosée viande- foie

Vit : vitamine

VRBL : gélose lactosé billée au cristal violet et au rouge neutre

μ g : Microgramme

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition moyenne du lait de vache. (Carole.V, 2002).....	3
Tableau 02 : Constituants lipidiques du lait de vache (g/100g de matière grasse).....	4
Tableau 03 : Composition vitaminique moyenne du lait cru (Aminot et coll, 2002).....	6
Tableau 04 : composition du lait en minéraux (Juillard, V, J, Le lait 1996).....	7
Tableau 05 : Les prélèvements du lait.....	22
Tableau 06 : programme de chauffage par micro-ondes.....	30
Tableau 07 : Résultats des analyses microbiologiques des prélèvements du lait.....	32
Tableau 08 : pH du lait avant et après chauffage.....	36
Tableau 09 : Taux butyreux du lait avant et après chauffage.....	37
Tableau 10 : Taux de lactose avant et après chauffage.....	38
Tableau 11 : Acidité du lait (°D).....	39
Tableau 12 : Taux des protéines du lait.....	40
Tableau 13 : L'extrait sec total du lait.....	41
Tableau 14 : Teneur en minéraux du lait.....	42

Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique de la différence de sélectivité lors de la synthèse de (meth) acrylamides par chauffage conventionnel et assistée par micro-ondes (M. Iannelli and H. Ritter, 2005).....12

Figure 2 : Spectre électromagnétique.....13

Figure 3: Schéma d'un four micro-ondes monomode (A) et multimode (B).....14

Figure 4 : Comportements de la matière vis à vis d'une onde électromagnétique.....15

Figure 5 : Frissonnement des dipôles soumis à une irradiation micro-ondes.16

Figure 6 : Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage.....17

Figure 7: Séchage des fruits tropicaux sous vide assisté par micro-ondes (Virot, 2009).....19

Figure 8: Décongélation de viande et poissons assisté par micro-ondes (Virot, 2009).....20

Figure 9: Situation géographique du site de prélèvement (Ferme ITA).....21

Figure 10: Principales étapes de la démarche générale.23

Figure 11: Diagramme température/pression de l'eau.....29

Figure 12: Profil de température lors du chauffage.....30

Figure 13: FTAM (Photo originale).....33

Figure 14: Coliformes totaux et fécaux (Photo originale).....34

Figure 15: Staphylococcus aureus (Photo originale).....34

Figure 16: Clostridium Sulfito-réducteurs (Photo originale).....35

Figure 17: Absence de Salmonelle (Photo originale).....35

Figure 18: pH du lait avant et après chauffage.36

Figure 19: Taux butyreux du lait avant et après chauffage37

Figure 20: Taux de lactose avant et après chauffage.....38

Figure 21: Acidité du lait (°D).....39

Figure 22: Taux des protéines du lait.....40

Figure 23: L'extrait sec total du lait.41

Figure 24: Teneur en minéraux du lait.....42

Résumé

Le lait et les produits laitiers sont des aliments les plus populaires dans le monde entier en particulier pour les nourrissons, plus récemment, et presque la plupart utilise le micro-onde dans la préparation des aliments en particulier le lait. Ainsi, l'objectif de cette étude est vise à voir l'effet des micro-ondes sur les propriétés physico-chimiques et microbiologique du lait cru en particulier sur la teneur en minéraux afin d'apprécier la qualité du lait. Les résultats obtenus ont montré que la moyenne de la teneur en matière grasse, protéines, lactose et extrait sec a diminué au cours de l'exposition aux micro-ondes surtout à 2 minutes, alors que l'acidité a augmenté un peu. Contrairement aux minéraux (calcium, magnésium, phosphore) qui sont resté stable, même après 2 minutes de chauffage. Nous concluons que les paramètres physicochimique, et microbiologique, sont des indicateurs sensibles de la qualité du lait.

Mots clés : lait cru, micro-ondes, analyses physicochimiques et microbiologiques.

Abstract

The milk and dairy products are the foods most popular in the world in particular for infants, more recently, and almost most uses the micro-wave in the preparation of foods in particular the milk. As well, the objective of this study was to investigate the effect of microwaves on the physico-chemical properties and microbiological of raw milk in particular on the mineral content in order to assess the quality of the milk. The results obtained showed that the average fat content, protein, lactose and dry extract has decreased in the course of the exhibition microwave especially in 2 minutes, while the acidity has increased a little. Unlike minerals (calcium, magnesium, phosphorus) which are remained stable, even after 2 minutes of heating. We conclude that the parameters physicochemical and microbiological are sensitive indicators of the quality of the milk.

Mots clés : Raw Milk, microwave , physicochemical and microbiological analyzis.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction.....01

Partie bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur le lait

I.	Définition	03
II.	La composition	03
III.	Valeur nutritionnelle	03
IV.	Composition de lait de vache	03
V.	Caractéristiques physico-chimiques du lait	08
VI.	Qualités du lait	09

Chapitre 02 : Généralités sur le micro-onde

I.	Historique	11
II.	Chimie et micro-ondes	11
III.	Techniques et mise en œuvre des micro-ondes	13
	1. Les ondes électromagnétiques	13
	2. Description et fonctionnement du four à micro-ondes	13
IV.	Principe et mécanisme de chauffage par micro-ondes	15
	1. Interaction onde-matière	15
	2. Transfert de chaleur	16
V.	Avantages spécifique des micro-ondes	18
VI.	Applications industrielles des micro-ondes	18
	1. Séchage	18
	2. Décongélation	19
	3. Traitement des déchets	20
	4. Pasteurisation	20

Partie pratique

Chapitre 03 : Matériels et méthodes

I.	L'objectif	21
II.	Lieu du travail	21
III.	Echantillonnage	21
	1. Préparation des échantillons	22
	2. Principe du Lactoscan	22
	3. Principe de Spectrophotométrie d'absorption atomique	22
IV.	Analyse et contrôle de lait cru	23
	1. Analyses physicochimiques	24
	a) Appareillage et produit chimique et réactifs utilisés	24
	2. Analyses bactériologique	25
	a) Recherche des bactéries pathogènes	26
V.	La lyophilisation	27
VI.	Dosage des minéraux.....	29
VII.	Analyse statistique	31

Chapitre 04 : Résultats et discussion

A.	Résultats	32
	I. Résultats des analyses microbiologiques du lait	32
	1. Flore mésophile aérobie totale	32
	2. Coliformes totaux et fécaux	33
	3. Staphylococcus aureus	34
	4. Clostridium Sulfito-réducteurs	35
	5. Salmonelle	35
	II. Résultats des analyse physico-chimique du lait.....	36
	1. Le pH	36
	2. Matière grasse	37
	3. Lactose	38
	4. L'acidité	39
	5. Le taux des protéines	40
	6. L'extrait sec total	41
	7. Analyse des minéraux	42

B. Discussion des résultats43

Conclusion45

Références bibliographiques

Introduction

Le lait est considéré comme une émulsion lipidique dans une solution aqueuse contenant de nombreuses autres substances, certaines sous forme colloïdale (substances de protéine) et d'autres à l'état dissous (lactose, minéraux, vitamines et enzymes solubles dans l'eau). quantitativement, l'élément prédominant de lait est de 87,5 % de l'eau et de matière sèche totale est de 12,5 %, ce qui est la valeur nutritive du lait. Si un litre de lait est chauffé à 100 °C jusqu'à ce que l'eau s'évapore, il restera un résidu brun jaune. La composition chimique du lait varie selon l'espèce animale et d'autres facteurs, y compris la race, le régime alimentaire, l'âge etc. (*Constantin et Csatlos, 2010*). Traitement thermique du lait peut être atteint grâce à l'utilisation de la technologie des micro-ondes, l'inhomogénéité de champs électromagnétiques conduit à une répartition inégale de la température dans les produits alimentaires, excluant donc leur utilisation dans l'industrie (*peter korzenszky et al., 2013*).

Le chauffage par micro-ondes est une procédure rapide et commune pour la préparation des aliments et la fabrication. Le lait et produits laitiers généralement subissent différents changements au cours de leur préparation, qui peut inclure un traitement thermique modéré ou grave qui peut conduire à des changements indésirables. Comme diminution de graisses, protéines et les concentrations de lactose du lait cru. (*Dumuta et al., 2011*)

Bien que le four est largement utilisé comme un moyen de préparer la nourriture, le manque d'informations est disponible sur les séquences de chauffage par micro-ondes sur la composition et la qualité nutritive des aliments .Pendant ce temps, **Albert et al., (2009)** ont analysé l'effet de traitement aux micro-ondes sur les acides aminés, les acides aminés libres par rapport au contenu technique de traitement thermique classique. Ils ont établi que le total des acides aminés libres ont diminué dans le lait cru pasteurisé de la manière traditionnelle.

La teneur en protéines peut aussi diminuer au cours de l'exposition micro-ondes en raison du fait que la protéine peut être impliqué dans la réaction de Maillard avec le lactose .parmi les protéines, la lysine est le plus impliqué dans cette réaction et sa

diminution dans le temps de devient un indicateur nutritionnel pour l'appréciation de l'effet des traitements thermiques sur l'alimentation. (**Florea et Chimia , 2001**) .

Les effets du chauffage conventionnel et du chauffage par micro-ondes sur la valeur nutritionnelle du lait cru ont été estimée par mesure de la rétention de la vitamine B1. Le chauffage par micro-ondes ne détruit pas cette vitamine alors que le chauffage conventionnel entraine sa perte (**Sierra et al., 1999**).

Cependant, il existe peu d'études concernant l'impact des micro-ondes sur la composition du lait.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'effet de chauffage par micro-ondes sur les qualités physicochimique et microbiologique du lait cru.

Le mémoire est structuré en trois principales parties, en plus de l'introduction et de la conclusion générale.

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique :

- Des rappels concernant le lait, caractéristique physicochimique et microbiologique, les facteurs qui influencent la qualité du lait.
- Généralités sur les micro-ondes.

La deuxième partie expérimentale comporte :

- Evaluation de l'effet du chauffage sur la variation des qualités Physicochimiques et microbiologique du lait.

La troisième partie regroupe les principaux résultats obtenus et leurs discussions.

I. Définition

Le lait est le produit intégral de la traite total et interrompu d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée, il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum. (J.O.R.A.N° 69,1993).

II. La composition

Varie suivant les espèces animales et les races au sein d'une même espèce ; elle varie également chez une même vache laitière en fonction de la période de la lactation et de l'alimentation. C'est pour cette raison qu'on ne peut parler que de compositions moyennes des principales femelles laitières.

III. Valeur nutritionnelle

Le lait est défini comme étant un aliment complet, est un liquide de haute valeur nutritionnelle, assure à l'organisme une part majeure de ses besoins en énergie, en apportant les constituants indispensables. Il est une excellente source de calcium, phosphate, de riboflavine et relativement riche en thiamine, en cobalamine et vitamine A (cheftel, 1977)

IV. Composition de lait de vache

Les quantités des différents constituants principaux du lait peuvent varier considérablement d'une race à l'autre et d'un individu à l'autre et d'une région à l'autre. (Tableau 1)

Tableau 01 : Composition moyenne du lait de vache. (Carole.V, 2002)

Constituants majeurs	Variations limites %	Valeur moyenne %
Eau	85.5-89.5	87.5
Matière grasse	2.4-5.5	3.7
Protéines	2.9-5.0	3.2
Glucides	3.6-5.5	4.6
Minéraux	0.7-0.9	0.8

1. L'eau

L'eau est un élément quantitativement plus important : 900 à 910g par litre. Elles, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de la matière sèche (**Mathieu, 1998**).

2. Les glucides

Le lactose est un sucre présent uniquement dans le lait; il appartient au groupe de composés chimiques appelés glucides.

Le lactose est un élément de fermentescibilité peut être hydrolysé les acides fort et de par la fonction aldéhyde, il peut agir avec divers substances azotées (**FAO et INPHO 1998**).

Le lactose est soluble dans l'eau et se présente comme solution moléculaire dans le lait. Dans la fabrication du fromage, la plupart du lactose reste dissout dans le sérum de fromagerie. L'évaporation du sérum de fromagerie dans la fabrication du fromage augmente encore la concentration. Le lactose n'est pas aussi sucré que d'autres sucres; il est environ **30 %** moins sucré que le sucre de canne, par exemple.

3. Matières grasse

Présente dans le lait sous forme de petites gouttes suspendus dans l'eau. Chaque globule est entouré par une couche de phospholipides qui empêche les globules de se regrouper. Tant que cette structure reste intacte, la matière grasse reste sous forme d'émulsion. Cependant, la destruction de cette structure provoque l'agglutination des globules gras et leur montée à la surface du lait pour former une couche de crème (**Vingalo, 2002**).

Tableau 02 : Constituants lipidiques du lait de vache (FAO, 1995).

Constituants lipidiques	Proportions (%)
Triglycérides	96-98
Glycérides	0.3-1.6
Mono glycérides	0.0-0.1
Phospholipides	0.2-1.0
Stérols	0.2-0.4
AG libres	0.1-0.4
Esters de cholestérol	Traces

Vitamines	0.1-0.2
Cérébrosides	0.0-0.8

La majorité de la matière grasse du lait se trouve sous forme de triglycérides formés par l'union de trois acides gras au glycérol.

4. Matières azotés

D'après **Paccalin et Galantier (1986)**, on distingue deux types de matières azotées dans le lait : les protéines à 95% et les matières azotées non protéiques à 5%.

A. Les protéines laitiers

a- La caséine

Elles ont une teneur de 27g/L, et se présentent sous forme micellaire de phospho-caséinates de calcium et sont facilement dégradées par toutes enzymes protéolytiques.

b- Les protéines solubles du lactosérum

Elles se répartissent entre :

- Les albumines

β- lactoglobuline : 3g

lactalbumine : 1g

sérumalbumine : 0.4

- les globulines

immunoglobuline : 0.7g

lactotransfférine : 0.3g

- les enzymes

lipase

protéase

phosphatase alcaline

xanthine-oxydase

lactopéroxydase

B. Azote non protéique

Il représente en moyenne 5% de l'azote du lait du lait et se présente sous forme de : urée, créatine, créatinine, ammoniacque, acides aminés libres, vitamines, nucléotides.

5. Vitamines

Selon **Vignola (2002)**, les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires. L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser (**Tableau3**). On distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamines de groupe B et vitamines C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (**Jeantet et al, 2008**).

Tableau 03 : Composition vitaminique moyenne du lait cru (**Aminot et al., 2002**).

Vitamines	Teneur moyenne
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+carotène)	40µg/100ml
Vitamine D2	4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg/100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B1	175µg/100ml
Vitamine B1	50µg/100ml
Vitamine B1	0.45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5.5µg/100ml
Vitamine H	3.5µg/100ml

6. Matière minérale

La matière minérale du lait (7g à 7.5g/l) est fondamentale d'un point de vue nutritionnel et technologique. Les minéraux sont présents, soit en solution dans la fraction soluble, soit

sous forme liée dans la fraction insoluble ou colloïdale. Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement bio disponibles. Les ions de calcium, phosphore, magnésium et soufre existent dans les deux fractions (**Mathieu, 1998**).

Il existe un équilibre entre les formes soluble et colloïdale, d'une part, et entre les formes ionisées et non dissociées d'autre part. Cet état est précaire parce qu'il est sensible à divers facteurs, notamment au pH, à la température, et la concentration ou à l'addition de calcium. Toute altération de ces équilibres modifie la stabilité du lait, notamment les propriétés de la caséine native. En raison de la présence concomitante de lactose et phosphopeptide (produits d'hydrolyse de la caséine), les minéraux sont, de tous les éléments du lait, ceux qui sont les mieux absorbés et retenus. A cet égard, le rapport calcium/phosphore du lait de vache (voisin de 1.2), bien qu'inférieur à celui du lait maternel (voisin de 2.2), est de loin supérieur à celui des autres denrées alimentaires, faisant du lait une excellente source de calcium et un bon correctif des rations pauvres en calcium (**FAO, 1995**).

Tableau 04 : composition du lait en minéraux (**Juillard, V, J, Le lait 1996**).

Minéraux	Teneur (mg/L)
Sodium (Na)	445
Magnésium(Mg)	105
Phosphore(P)	896
Chlore(Cl)	958
Potassium(K)	1500
Calcium(Ca)	1180
Fer(Fer)	0,50
Cuivre(Cu)	0,10
Zinc(Zn)	3,80
Iode(I)	0,28

7. Enzymes

Ce sont des substances organiques de nature protéique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait dont 20 sont des constituants

natifs (**Blanc, 1982**). Une grande partie se trouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes la distinction entre les éléments natifs et éléments extérieurs n'est pas facile.

Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés (**Got, 1997 et Linden, 1987**)

- Lyse des constituants du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et organoleptique du lait (lipase, protéase).
- Rôle antibactérien, elles apportent une protection du lait (lactopéroxydase et lysozyme ;
- Indicateurs de qualité hygiénique (certaines enzymes sont produites par des bactéries et des leucocytes), de traitement thermique (phosphatase alcalin, peroxydase, acétyl estérase) et d'espèces (test de la xanthine-oxydase pour le lait de vache dans le lait de chèvre)

V. Caractéristiques physico-chimiques du lait

1. La densité

Pour une même espèce, la densité n'est pas constante. Elle dépend de la richesse du lait en éléments dissouts et suspension ainsi que de la teneur en matière grasse. Elle est également variable en fonction de la température à 25°C. La densité des laits individuels peut prendre des valeurs entre 1.030 et 1.033, elle avoisine 1.032 pour les laits de mélange (**Alais, 1984**).

Si la densité est trop élevée, ceci veut dire que le lait est écrémé (**Laderer, 1986**).

2. L'acidité

L'acidité titrable, exprimée en degré Dornic (°D) (nombre de dL de soude N/9 par litre de lait) est de l'ordre 15°D à 18°D (**Mathieu, 1997**).

3. Le pH

Un lait normal a un pH compris entre 6.6 et 6.8. Un lait à un pH plus bas à cause soit une contamination par une flore acidifiante soit de la présence d'un colostrum. (**Mathieu, 1997**).

4. Le point de congélation

Le point de congélation de lait peut varier de -0.52 à -056°C ; Toute variation supérieure à -0.52°C étant un indice de mouillage du lait à partir de 3%. L'abaissement du point de congélation peut aussi être causé par la subdivision du lactose en plusieurs molécules plus petites. Il peut aussi servir à évaluer le degré d'hydratation des protéines (**Vignola, 2002**).

5. Point d'ébullition

Le point d'ébullition de l'eau est de 100°C et celui du lait est de 100.5 °C. Comme pour le point de congélation, il est fonction du nombre de particules en solution et par conséquent, il augmente avec la concentration de lait et diminue avec la pression. Ce phénomène dans les procédés de concentration du lait (**Vignola, 2002**).

VI. Qualités du lait

a- Qualités nutritive

Le lait est défini comme un aliment presque complet, car qu'il est une source riche et appréciable d'éléments nutritifs, assure à l'organisme une part majeure de ses besoins en énergie, en apportant les éléments indispensables, excellente source de calcium, et de phosphore (**Essghier, 2003**).

b- Qualités organoleptiques

Le lait est un liquide, opaque, blanc, mat qui tend vers la couleur jaunâtre ou légèrement bleuté, selon la teneur en matière grasse en β carotène. Il a une odeur caractéristique peu marqué en relation avec les substances volatiles à saveur légèrement sucrée comme agréable (**Goursaud, 1985**).

c- Qualités sanitaire

Elle est recherchée chez les industries laitières, est basé sur le nombre total des germes.

d- La flore microbienne dans le lait

Le lait contient peu de micro-organisme lorsqu'il est prélevé dans des bonnes conditions, à partir d'un animal sain (moins de 5000 germes/ml) (**Larpen, 1997**). Le lait dans les cellules du pis est stérile (**Tolle, 1980**), mais la glande mammaire, la peau du pis, le matériel de traite, la litière, la qualité de l'air et les pratiques de l'éleveur sont des sources de

contamination (**Menard et al, 2004**). Le lait cru peut être contaminé par différents microorganismes avant, pendant et après la traite.

I. Historique

La découverte du phénomène d'échauffement par le rayonnement micro-onde date des années 1950. Elle a donné lieu à très nombreuses applications industrielles (agroalimentaires et médicales).

Le chauffage par rayonnement micro-ondes constitue désormais un phénomène bien connu, c'est une technique qui s'est répandue plus rapidement dans le secteur des produits grand public que dans les milieux de l'industrie et de la recherche.

L'activation des synthèses chimiques par exposition aux micro-ondes se traduit par des réactions très rapides et des puretés accrues de produits par rapport au chauffage traditionnel. En particulier, le couplage micro-ondes et réactions sans solvant s'avère être spécialement efficace en matière d'amélioration et de simplification des procédés (**G. Bram et al., 1992**). (**D. Mickel et al., 1991**)

II. Chimie et micro-ondes

Dans la littérature scientifique récente, l'existence de phénomènes non thermiques, appelés « effets micro-ondes », est mentionnée pour expliquer l'origine de l'augmentation des vitesses de réaction. « Les effets thermiques sont ceux causés par un régime de température différentes qui peut être créé par les micro-ondes. Les effets non thermiques sont des effets causés par des effets spécifiquement inhérents aux micro-ondes et qui ne sont pas causés par un régime de température » (**S. A. Galema, 1997**).

Bien qu'il y ait un débat considérable (**C. O. Kappe et al., 2013**), (**Y. Kwak et al., 2012**) sur l'existence d'effets micro-ondes, de nombreux articles présentent des résultats inattendus qui ne semblent pas être qu'une conséquence de la réduction des gradients thermiques dans les synthèses traitées par micro-ondes.

Ritter et al (2005) ont étudié la synthèse directe assistée par micro-ondes d'une série de dérivés chiraux du (meth) acrylamide. La synthèse directe de ces composés, effectuée à partir de 1-phenylethylamine et de l'acide (meth)acrylique sous irradiation micro-ondes, a permis l'obtention des monomères vinyliques désirés alors que la même réaction par chauffage conventionnel donne principalement les adduits de Mickael (**Figure 1**). Les auteurs ont ainsi montré une amélioration de cette synthèse avec l'emploi des micro-ondes entraînant une vitesse et une sélectivité augmentées (**M. Iannelli and H. Ritter, 2005**).

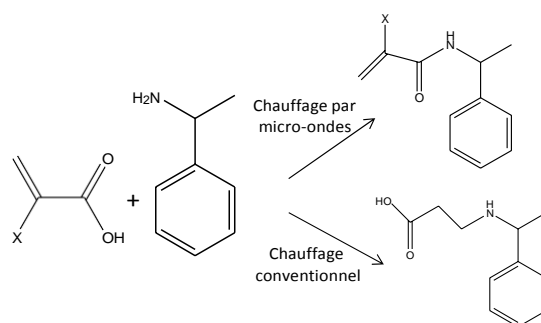


Figure 01 : Représentation schématique de la différence de sélectivité lors de la synthèse de méthacrylamides par chauffage conventionnel et assistée par micro-ondes (**M. Iannelli and H. Ritter, 2005**).

Les doutes quant à l'existence d'un « effet micro-ondes » se basent sur la mauvaise précision de la mesure de la température et/ou des conditions expérimentales (mode d'irradiation, puissance...), ce qui conduirait à une erreur systématique dans la comparaison des résultats issus d'une réaction sous chauffage conventionnel et ceux obtenus sous rayonnement micro-ondes. En effet, la preuve de l'existence (ou de l'inexistence) d'un effet micro-ondes sous-entend que le contrôle en température et son caractère homogène, ainsi que le contrôle en pression soient précis dans le dispositif expérimental.

Par exemple, **Schubert et al (2005)** ont montré que l'accélération (400 fois plus grande que par chauffage conventionnel) de la polymérisation du 2-phényl-2-oxazoline dans l'acétonitrile sous irradiation micro-ondes (micro-onde Emrys Liberator) provenait uniquement d'un effet thermique en accord avec la loi d'Arrhenius. L'énergie d'activation est en effet la même en chauffage conventionnel et sous irradiation micro-ondes (**R. Hoogenboom et al, 2005**). Au contraire, **Sinwell et Ritter (2005)** ont obtenu une augmentation de la vitesse de polymérisation du même monomère dans le butyronitrile sous irradiation micro-ondes. Ils ont attribué ces observations à une interaction efficace entre la chaîne polymère chargée de cations et le chauffage diélectrique induit par les micro-ondes, ce qui entraîne une excitation sélective du milieu réactionnel. Par la suite, **Schubert et al (2005)** ont déterminé des vitesses identiques de réaction pour la polymérisation toujours du 2-phényl-2-oxazoline dans le butyronitrile en réacteur micro-ondes monomodal et en chauffage conventionnel. Les vitesses obtenues pour la synthèse en micro-ondes sont en parfait accord avec la vitesse de polymérisation reportée par **Ritter et al (2005)**. Tous s'accordent à dire que la polymérisation du 2-phényl-2-oxazoline a bénéficié des avancées sur les réacteurs micro-ondes pour surpasser les résultats obtenus en chauffage conventionnel (**C. Ebner et al, 2011**). Notons que cet exemple illustre parfaitement l'effervescence autour des réactions assistées par micro-ondes.

III. Techniques et mise en œuvre des micro-ondes

1. Les ondes électromagnétiques

Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques qui couvrent, dans le spectre électromagnétique, la gamme des ondes allant de 1 mm jusqu'à 1 m avec des fréquences comprises entre 300 MHz et 300 GHz, elles sont placées entre les ondes radios (10^8Hz) et l'infrarouge (10^{12}Hz) (**figure 02**).

La fréquence la plus utilisée est de 2450 MHz qui correspond à la fréquence de la majorité des magnétrons des fours micro-ondes de cuisine ayant une puissance de 600 à 1000 Watts et une longueur d'onde dans l'air de 12,2 cm.

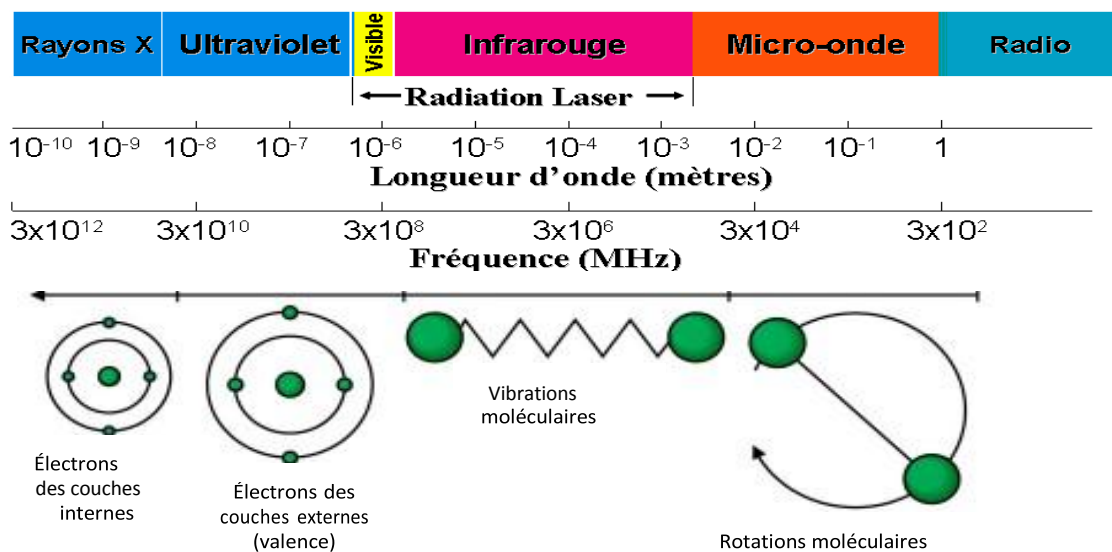


Figure 02: Spectre électromagnétique.

Les ondes électromagnétiques résultent de la superposition d'un champ électrique et d'un champ magnétique, se propageant dans l'espace et variant dans le temps (**figure 3**). La propagation de cette onde obéit, quelle que soit la nature du milieu, aux équations de Maxwell. Elles sont le plus souvent générées par l'intermédiaire d'un magnétron (**A. Loupy, 1993**).

2. Description et fonctionnement du four à micro-ondes

Un four à micro-ondes est constitué de trois éléments principaux : le générateur micro-ondes, le guide d'onde et la cavité micro-ondes (**figure 03**). Les micro-ondes de forte puissance sont produites par des tubes à vide. Le plus habituel est le magnétron : c'est une diode thermoionique composée d'une cathode chauffée qui émet des électrons et d'une anode polarisée positivement par rapport à la cathode pour attirer les électrons par le champ électrique continu. Ce champ à haute tension est produit par une alimentation électrique à 50 Hz à partir du

secteur redressé.

Le guide d'onde permet de convoyer et de guider les ondes émises par le magnétron. C'est un tube métallique ou conducteur cylindrique dont la section droite est limitée par un contour fermé pouvant contenir d'autres contours. Sa génératrice sera choisie comme axe de propagation. Deux modes de propagation peuvent exister : le mode TM (transverse magnétique), ou bien, le mode TE (transverse électrique).

L'applicateur est une cavité fermée qui doit assurer le transfert au matériau à traiter de l'énergie électromagnétique provenant du magnétron. Deux grandes catégories d'applicateurs existent : monomode et multimode. Un applicateur est dit monomode lorsque ses dimensions géométriques sont choisies de telle sorte qu'à la fréquence de travail, il n'existe qu'une configuration de champ. L'énergie électromagnétique emprisonnée se réfléchit sur les parois et donne lieu à des ondes stationnaires. L'applicateur monomode permet le contrôle précis du champ électrique. Il est réservé aux matériaux de petit volume. L'applicateur multimode est une cavité suffisamment grande pour qu'il existe plusieurs types de configurations de champ. Le champ électrique n'est pas stable, comme dans une cavité monomode, et sa distribution varie. Ce type d'applicateur permet de traiter dans des volumes importants, des matériaux dont les paramètres électriques et magnétiques varient peu.

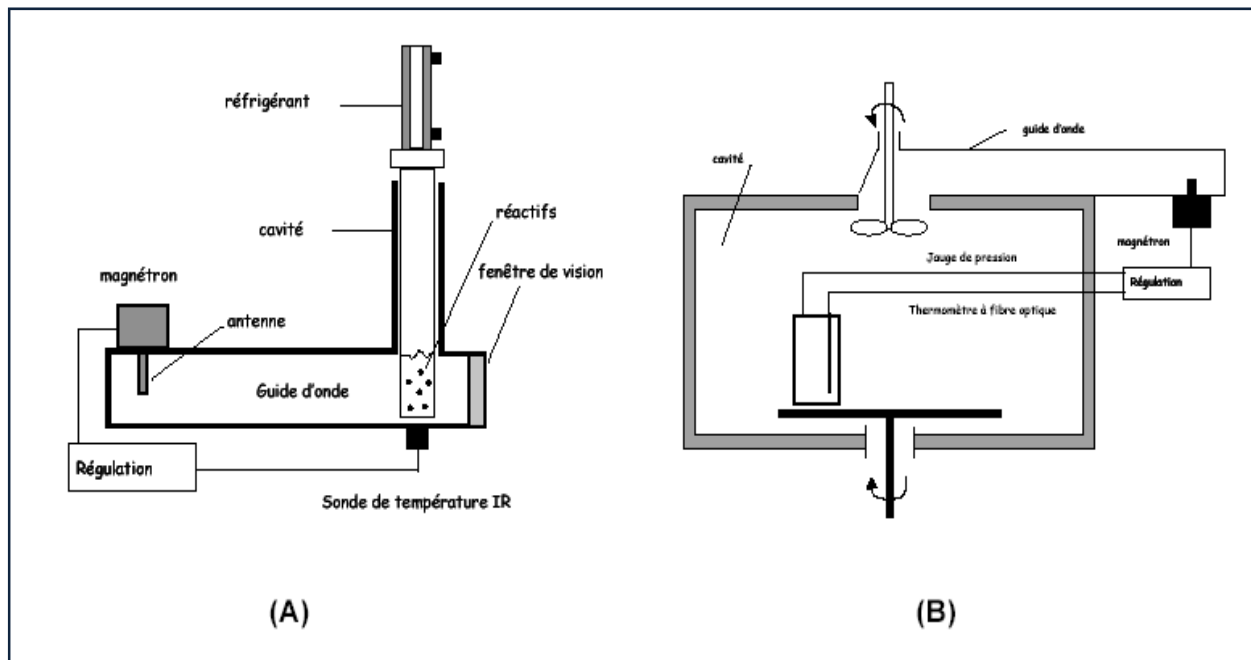


Figure 03 : Schéma d'un four micro-ondes monomode (A) et multimode (B)

IV. Principe et mécanisme de chauffage par micro-ondes

1. Interaction onde-matière

Lorsque la matière est irradiée par une onde électromagnétique, plusieurs comportements sont possibles (**Figure 04**) :

- Le matériau est transparent, l'onde électromagnétique est transmise sans perte d'énergie.
- Le matériau est absorbant, une fraction plus ou moins importante de l'énergie de l'onde est absorbée.
- Le matériau est opaque, l'onde est réfléchi.

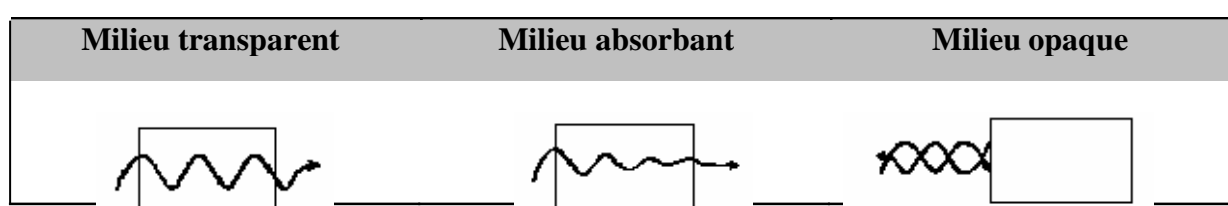


Figure 04 : Comportements de la matière vis à vis d'une onde électromagnétique

L'origine de ces différents comportements est liée à la nature de la matière qui est constituée de charges mobiles et par des charges fixes pouvant s'orienter plus ou moins sous l'effet d'un champ électrique ou magnétique.

Au niveau moléculaire, les matériaux polaires se présentent comme des entités globalement neutres en charge électrique, mais avec une répartition dissymétrique de leurs charges ioniques partielles. Ces molécules ont des extrémités négatives et positives, elles forment donc des dipôles électriques.

A l'état normal, ces molécules sont dans le désordre, mais lorsqu'elles sont soumises à un champ électrique continu, les pôles négatifs des molécules ont tendance à s'orienter dans le sens du champ électrique. Mais si les molécules sont soumises à un champ électrique alternatif comme c'est le cas pour les irradiations micro-ondes, les molécules polaires s'orientent successivement dans un sens puis dans l'autre : les dipôles s'orientent dans la direction du champ sur une demi alternance, se désorientent lorsque le champ s'annule et se réorientent dans l'autre sens pendant la seconde demi alternance : c'est la rotation dipolaire qui se produit tous les $4,9 \cdot 10^9$ fois par seconde.

Par la rotation des dipôles, l'énergie électrique est convertie en énergie cinétique. Lorsque la molécule polaire essaie de s'aligner avec le champ électrique, les forces qui assurent la cohésion de la matière s'opposent à l'action de ce champ électrique et la composante électrique de l'anode

change à une vitesse si rapide que la molécule ne se réaligne pas et commence à vibrer, ce qui produit des frictions entraînant ainsi un réchauffement par hystérésis diélectrique.

Une chaleur thermique est alors dégagée (**Figure 05**).

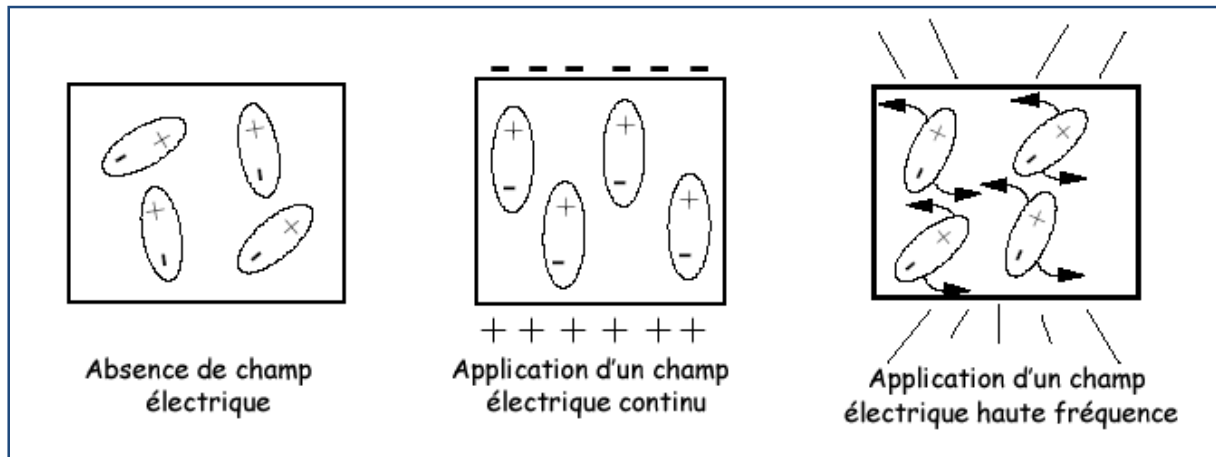


Figure 05: Frissonnement des dipôles soumis à une irradiation micro-ondes

2. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. Sous chauffage micro-onde, le volume traité devient lui-même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-onde, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel par double enveloppe, plaque chauffante et flamme. C'est un mode de chauffage instantané en volume et non en surface. Les phénomènes thermiques de conduction et de convection ne jouent plus qu'un rôle secondaire d'équilibrage de la température. Des surchauffes locales peuvent également se produire (**figure 6**). (**J. Thuery, 1989**).

Le dégagement de chaleur n'est donc observé que si le composé soumis à l'irradiation présente des pertes diélectriques et conductrices le cas échéant. L'énergie absorbée dépend du facteur de dissipation δ défini par $\tan \delta = s''/s'$ avec s' et s'' , les parties réelles et imaginaires de la permittivité diélectrique ($s = s' - js''$). La constante diélectrique s' traduit la capacité d'une molécule à être polarisée par un champ électrique. Le facteur de pertes diélectriques s'' traduit l'efficacité de la transformation de l'énergie électromagnétique en chaleur.

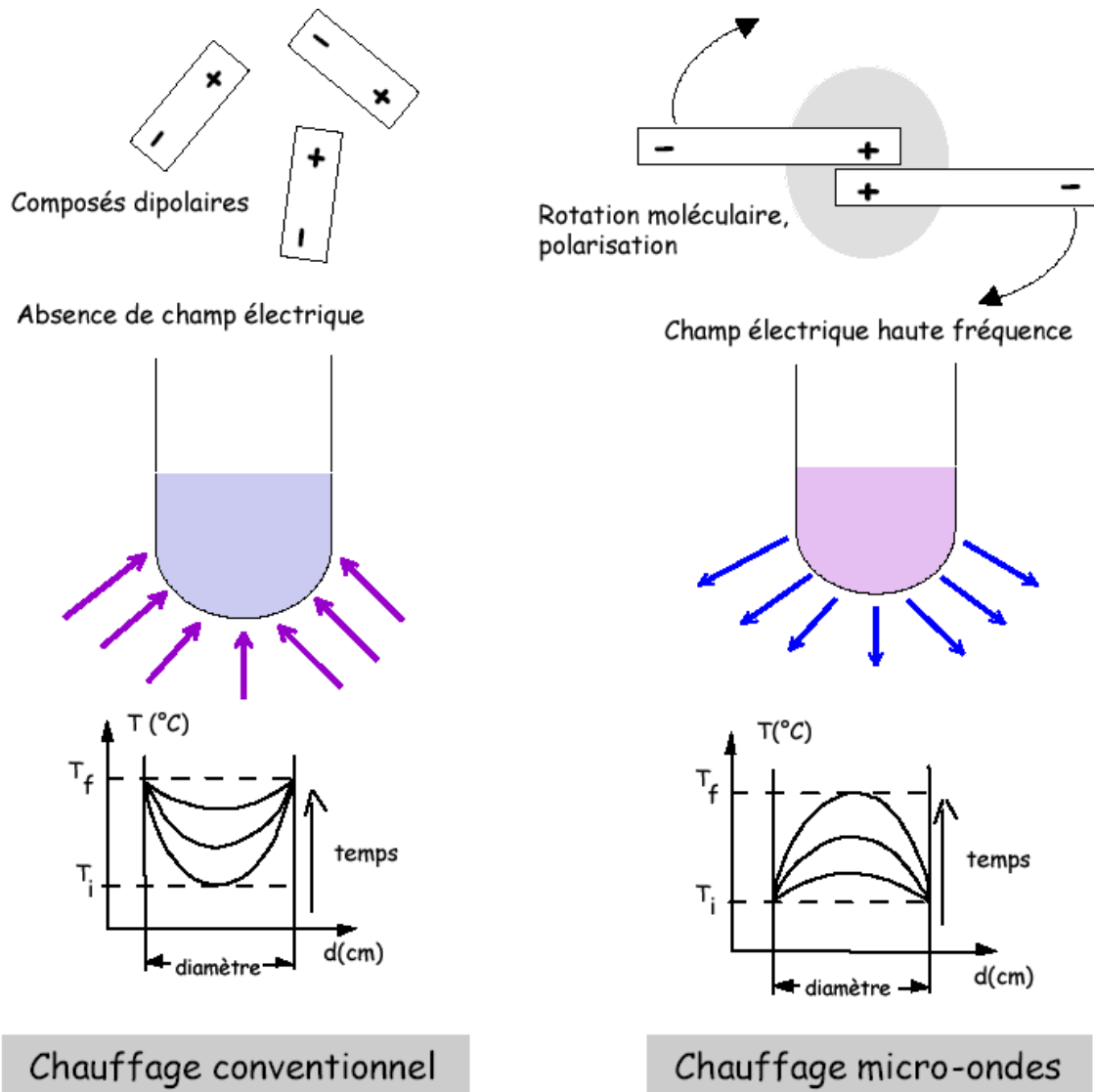


Figure 06: Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage

Les produits possédant de fortes pertes diélectriques sont essentiellement des composés polaires.

Le dégagement de chaleur par chauffage micro-ondes dépend de plusieurs paramètres, les uns sont liés au matériau chauffé comme la capacité de la molécule à être polarisée dans le champ électrique et celle de transformer l'énergie électromagnétique en énergie thermique.

Les autres paramètres sont liés à l'appareillage utilisé et aux paramètres d'irradiation, comme la puissance, dont l'augmentation engendre un dégagement de chaleur de plus en plus important.

Les micro-ondes ont une pénétration dans la matière qui est le plus souvent du même ordre que la longueur d'onde du rayonnement ($w = 2450 \text{ MHz}$; $\lambda = 12,2 \text{ cm}$). Au-delà de la

profondeur de pénétration, l'onde est totalement atténuée et les transferts de chaleur s'y opèrent par simple conduction.

V. Avantages spécifique des micro-ondes

L'activation des réactions chimiques par micro-ondes est une technique relativement récente qui s'ajoute à d'autres méthodes déjà existantes comme l'activation thermique proprement dite, la catalyse et l'activation par les rayonnements ultraviolets et visibles (**J. Thuery, 1989**).

Les avantages spécifiques à l'utilisation des micro-ondes dans l'activation de réactions chimiques sont :

- Les temps de réactions sont le plus souvent de quelques minutes.
- Une vitesse de montée en température accrue même là où les modes de chauffage traditionnels sont peu efficaces, notamment avec les mauvais conducteurs de chaleur.
- Un chauffage à cœur sans gradient de température (homogène) avec un transfert rapide de l'énergie dans toute la masse sans surchauffe superficielle.
- La pureté de produit est accrue, cela résulte du moindre séjour à haute température des produits d'où l'absence de décomposition locale, par exemple, la régénération facile des catalyseurs (alumine, silice, argile) même après plusieurs cycle d'utilisation.
- Facilité d'utilisation : régulation de puissance aisée, arrêts et mise en route instantané.

VI. Applications industrielles des micro-ondes

1. Séchage :

De nombreuses industries ont exploité le séchage par micro-ondes (**Figure 07**). On pourra le retrouver dans l'industrie textile (fixation des colorants sur tissus), dans le séchage du bois et la destruction des parasites, pour le séchage du papier, le séchage de poudres à but pharmaceutique, le séchage de pâtes à biscuits... Aujourd'hui de nouvelles méthodes efficaces sont proposées notamment dans l'agroalimentaire. De plus, le micro-onde peut être utilisé pour améliorer une méthode existante. La combinaison séchage par micro-ondes et flux d'air sec chaud montre plusieurs avantages dans le séchage des fruits et légumes (« snacks ») : temps de séchage réduit et qualité nutritionnelle des produits mieux préservée (**Zhang, Qi et al., 2006**). Il existe trois façons de combiner l'utilisation des micro-ondes avec le flux d'air sec chaud : l'énergie micro-onde peut être appliquée au début du procédé de déshydratation, dans ce cas l'intérieur du produit est rapidement chauffé à la température de vaporisation de l'eau. Ce procédé peut aussi servir en

milieu du procédé de déshydratation, dans ce cas la surface de la matrice végétale est sèche et l'eau est concentrée à l'intérieur du produit.

L'application de l'énergie micro-onde entraîne la vaporisation. Et enfin, en fin de procédé pour faciliter le séchage final (Zhang, Qi *et al.*, 2006; Vadivambal et Jayas, 2007).



Figure 07 : Séchage des fruits tropicaux sous vide assisté par micro-ondes (Virot, 2009).

2. Décongélation

La décongélation par micro-onde apporte une alternative performante au niveau industriel (**Figure 8**). La glace est transportée à l'énergie micro-onde. Cependant une faible présence d'eau non congelée permet la production de chaleur (Schiffmann, 2001). Les micro-ondes permettent d'atteindre des températures précises : il est en effet possible de travailler à des températures proches du point de fusion de la matrice traitée. L'étape de décongélation peut alors être intégrée facilement dans une chaîne de production alimentaire ou des étapes de décongélation, découpage et recongélation pourront être réalisées en un temps réduit.

L'emploi des micro-ondes dans ce procédé va permettre de préserver les qualités organoleptiques, microbiologiques et nutritionnelles des aliments (Akkari, Chevallier *et al.*, 2006). Les micro-ondes apportent dans ce genre d'application un gain de temps considérable et inégalable par une méthode conventionnelle (*e.g.* décongélation d'une viande en seulement 30 min contre 24 h en chambre de décongélation).



Figure 08 : Décongélation de viande et poissons assisté par micro-ondes (Viot, 2009)

3. Traitement des déchets

L'emploi des micro-ondes a été engagé dans la voie du retraitement des déchets, il permet ainsi d'explorer de nouvelles voies sanitaires dans des domaines éloignés comme le nucléaire, l'environnement (désorption de contaminants) ou le domaine médical. Ces secteurs requièrent généralement un inertage par incinération. Le chauffage diélectrique a pu être employé avec succès dans le retraitement de déchets anatomiques issus du milieu hospitalier (Ohtsu, Yamada *et al.*, 2000).

4. Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique s'effectuant entre 75 et 85°C pendant un temps limité afin d'atteindre le seuil de thermo résistance des bactéries. Paterson, Cranson *et al.*, (1995) montrent une réduction de 10^2 UFC.cm² après utilisation du micro-onde à 2450 Hz. Vijaya-Raghavan, Orsat *et al.*, (2005) présentent des travaux de pasteurisation d'asperges en bocaux en utilisant l'énergie micro-onde à 915 MHz. Ce procédé entraîne un chauffage uniforme et permet le maintien d'une température létale pendant une durée suffisante pour assurer la sécurité microbiologique du produit. De plus, ce procédé réduit le temps de pasteurisation de 30 min comparé à une pasteurisation en bain-marie et par ce fait, limite la dégradation thermique du produit (Vijaya-Raghavan, Orsal *et al.*, 2005). Une pasteurisation du foie gras par micro-onde est obtenue avec une durée diminuée de 50% comparée à un procédé classique et confère de plus des qualités organoleptiques supérieures (Massoubre, 2003). La teneur en E.coli dans les viandes est plus nettement réduite par procédé micro-onde comparée à un procédé traditionnel (Yilmaz, Arici *et al.*, 2005).

I. L'objectif

Notre travail a pour objectif de déterminer l'effet de réchauffement par micro-ondes sur la qualité physicochimique et microbiologique du lait.

II. Lieu du travail

Le travail expérimental est réalisé au niveau du laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem.

III. Echantillonnage

Le lait est prélevé sur des vaches pie noir de :

- l'atelier d'élevage de Hassi Memeche, wilaya de Mostaganem. Elle est située à 5 Km au sud de la ville de Mostaganem.

Elle a pour coordonnées suivantes :

- Longitude : **00°04'51.6"E**

- Latitude : **35°53'00.6"N**

- Altitude : **140m**



Figure 09 : Situation géographique du site de prélèvement (Ferme ITA)

Le cheptel de la ferme est composée de :

- 3 vaches.
- 2 veaux
- 3 brebis de la race Ouled Djellal.
- 5 poulet
- Chaque animal élevé séparément aux autres dans un bâtiment spécifique.

Les prélèvements du lait sont réalisés à des périodes différentes (**Tableau 5**).

Tableau 05 : Les prélèvements du lait.

Prélèvements	Date	Echantillons	Conditions
1 ^{er}	17/04/2017	Un lait de mélange de vaches.	Dans des conditions hygiéniques réalisés par les travailleurs de la ferme.
2 ^{ème}	23 /04/2017		
3 ^{ème}	03/05/2017		

Les échantillons du lait sont mis dans des flacons stériles, et sont transportés à 4°C à l'aide d'une glacière jusqu'au laboratoire pour y subir des analyses.

III.1. Préparation des échantillons du lait

Chaque échantillon a été divisé en trois parties : deux parties ont été exposées à différents intervalles de 60 et 120 secondes au micro-onde, la troisième partie n'a pas été exposé au micro-onde.

Tous les échantillons ont été analysés par un Lactoscan pour déterminer les différents paramètres (pH, l'extrait sec, taux butyreux, teneur en protéines, teneur en lactose).

- Température du lait avant chauffage : 08°C
- Température du lait après chauffage 1 minute et 2 minutes respectivement : 40 et 60°C

2. Principe du Lactoscan

Le Lactoscan est un analyseur chimique moderne qui convient à l'analyse de tout type de lait. Grâce à la technologie à ultrasons qu'il utilise, il n'est pas nécessaire de procéder à son calibrage à intervalles réguliers. Il est automatiquement calibré, sans utilisation d'ordinateur. La précision des déterminations ne dépend pas de l'acidité du lait et l'analyse peut être réalisée dès la température de 5°C.

3. Principe du Spectrophotométrie d'absorption atomique

En chimie analytique, la spectrométrie d'absorption atomique (*Atomic absorption spectroscopy* en anglais ou AAS) est une technique de spectroscopie atomique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon (Michael B, 1999). En 2010, elle peut servir à mesurer la concentration de plus de 60 métaux différents en solution. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur des méthodes optiques, elle conduit aussi bien à des résultats qualitatifs qu'à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage, l'élément est connu, on détermine une concentration. L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures. Une préparation est donc souvent nécessaire : dissolution d'un alliage par exemple. Bien que cette technique date du XIXe siècle, sa forme moderne fut développée dans les années 1950 par des chimistes australiens, menés par

Alan Walsh et travaillant à la *Division of Chemical Physics* du CSIRO à Melbourne (L'vov, B. V, 2005).

IV. Analyse et contrôle de lait cru

Cette étude comprend les étapes décrites dans la **figure 10** :

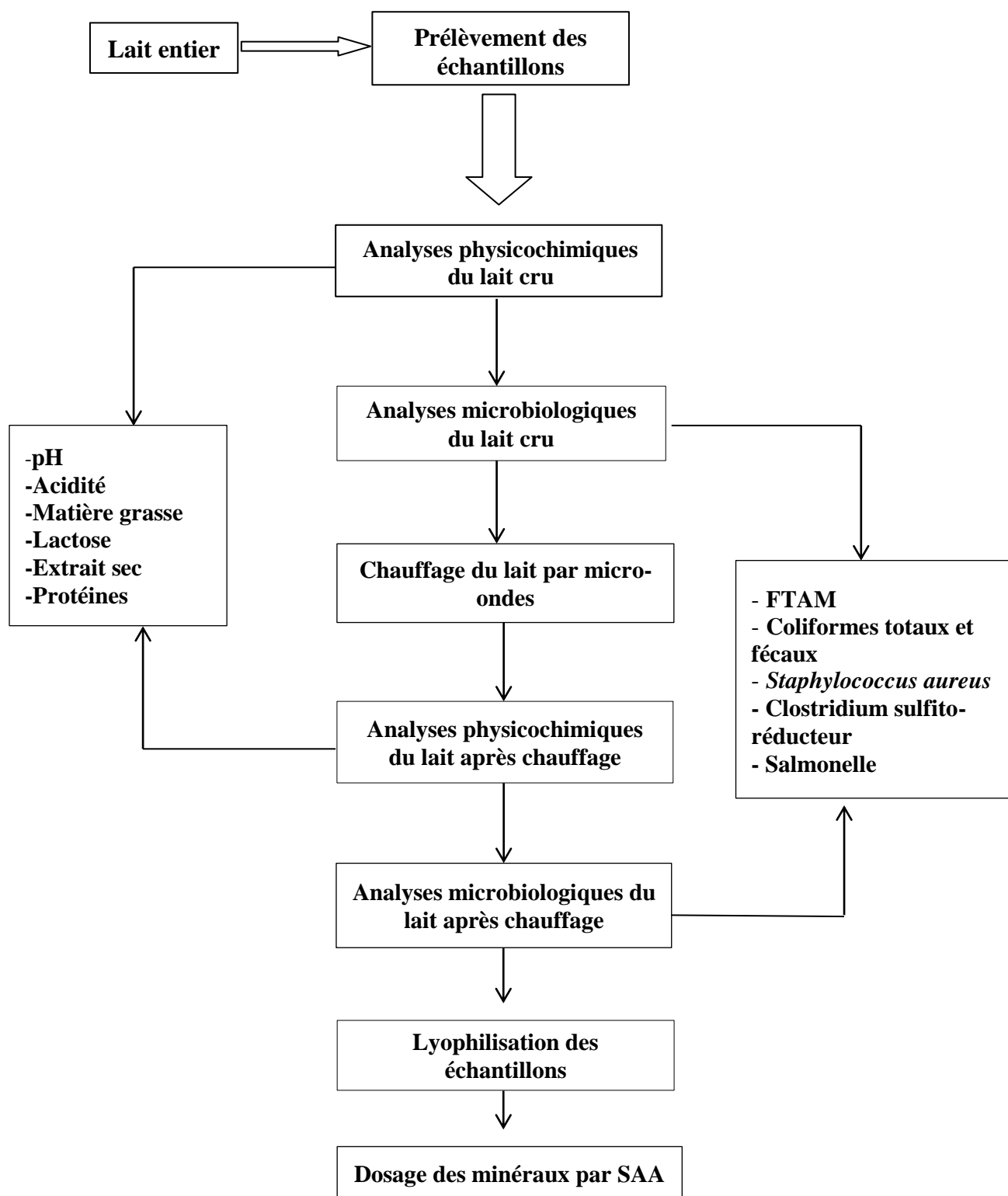


Figure 10 : Principales étapes de l'étude.

A. Analyses physicochimiques

1. Appareillage, produits chimique et réactifs utilisés

a) Appareillage et petit matériels

Thermomètre, Flacons stériles, bécher, éprouvette.

b) Produit chimique et réactifs

Phénolphtaléine, soude (NaOH), sulfite de sodium.

On a réalisé les analyses physicochimiques juste après le prélèvement, de même, les tests suivant ont été réalisés :

2. Méthode d'analyse

a) Mesure de la température du lait

La mesure de la température du lait est effectuée à l'aide d'un thermomètre.

b) Mesure de l'acidité

L'acidité titrable est mesurée par titrage avec NaOH en présence de Phénolphtaléine, Elle est exprimée en pourcentage d'acide lactique (AFNOR, 1980).

On prend 2 à 4 gouttes d'un indicateur coloré (Phénolphtaléine) qui sont ajoutées à 10ml d'un échantillon de lait cru à analyser.

La titration est réalisée avec une solution de soude Dornic (N/9) jusqu'au virage de la couleur blanche en rose pale. A ce moment, on note le volume de la soude écoulee et les résultats sont exprimés en degrés Dornic (°D).

$$^{\circ}\text{D} : \text{Acidité} = V_{\text{NaOH}} \cdot 10$$

Où V_{NaOH} est le volume de soude écoulee pour titrer 10ml de lait, et $1^{\circ}\text{D} = 0.1\text{g/l}$ de lactate.

B. Analyses bactériologique

1. Appareillage et produit chimique et réactifs utilisés

a) Appareillage

Etuve à (37°C, 44°C)

Bain marie à 80°C

Autoclave 120°C

Balance

Réfrigérateur

Boîtes de pétrie, tube à essais, pipettes pasteur, bec bunsen.

b) Produit chimique et réactifs

-Milieu PCA (plate count agar)

-Milieu VRBL (gélose lactosés billée au cristal violet et au rouge neutre)

Milieu VF (gélose glucosée viande- foie) + additifs sulfite de sodium et alun de fer.

-Milieu Chapman

-Milieu Hektoen + additifs Hektoen.

-Eau péptonée tamponnée

2. Méthode d'analyses

On entend par «microorganisme de contamination» tout microorganisme autre que ceux responsables de fermentations spécifiques du type du lait fermenté considéré (**JORA n° 32 du 23 mai 2004. Arrêté du 27 mars 2004**).

Avant toute analyse microbiologique qui doit être réalisée dans des conditions d'asepsie, une série de dilutions est réalisée à partir du lait cru qu'on a homogénéisé par au moins 10 secondes d'agitation au vortex. La première dilution est préparée de façon classique en prélevant 1mL du lait cru dans 9mL d'eau physiologique stérile (**Guiraud, 2003**). Il est souvent nécessaire d'aller jusqu'à la dilution 10⁻⁷. Ensemencement des boîtes de Pétri par dilution et par milieu de culture.

En tenant compte que les boîtes contenant entre 10 et 300 colonies. Le nombre des microorganismes par ml est calculé à l'aide de la formule suivante (**Guiraud, 2003**).

$$N = \frac{\sum c}{(n1 + 0,1 n2)d}$$

C : nombre de colonies comptées par boîte

n1 : nombre de boîtes comptées dans la première dilution

n₂ : nombre de boîtes comptées dans la deuxième dilution

d : facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenu

a. Recherche des bactéries pathogènes

1) Dénombrement de la flore mésophile totale (FTAM)

Le dénombrement de cette flore reflète la qualité microbiologique générale du lait, et peut donner une indication sur l'état de sa fraîcheur ou de son altération.

1mL des dilutions (10^{-1} jusqu'à 10^{-7}) estensemencé dans la masse d'une gélose *Plate Count Agar* (PCA). Les cultures sont incubées à 30°C pendant 72 heures. Le résultat s'exprime en unités formant colonies (UFC)/mL (**Lebres et al, 2002**).

2) Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Leur présence dans l'échantillon est une indication d'une contamination fécale récente (**Guiraud, 2003**).

Le dénombrement est effectué par ensemencement dans la masse des dilutions (10^{-1} jusqu'à 10^{-7}) d'une gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL).L'incubation est faite pendant 48 heures à 44°C pour les coliformes fécaux. Les coliformes fécaux forment sur ce milieu des colonies rouges foncées, d'un diamètre de moins de 0,5mm et ayant une forme ronde ou lenticulaire (**Lebres et al, 2002**).

3) Recherche de *Staphylococcus aureus*

Le dénombrement des *Staphylococcus aureus* est réalisé sur le milieu gélose Chapman. A partir de chaque dilution décimal, on prend 1 ml qui est porté aseptiquement dans une boîte de pétrie vides, préparée à cet usage puis complété avec environ 15 à 20 ml de gélose Chapman fondu, une fois l'opération terminée, on met le couvercle des boîtes en bas dans un incubateur à 37°C pendant 48heures.

Pour le comptage, les *Staphylococcus aureus* se développe sous forme des colonies jaune doré.

4) Dénombrement des spores de *Clostridium Sulfito-réducteurs*

Le dénombrement est réalisé en anaérobiose et repose sur l'appréciation de la réduction du sulfite en H₂S dont la mise en évidence est obtenue par addition au milieu d'alun de fer.

A 20mL de gélose viande-foie (VF) régénérée et ramenée à 45°C, on ajoute 0,5mL d'une solution aqueuse de sulfite de Na à 5% (p/v) et 0,2mL d'une solution aqueuse d'alun de fer à 5% (p/v) 1mL de la solution mère et des dilutions 10⁻¹ et 10⁻² est introduit dans le tube en surfusion.

Refroidissement et incubation à 37°C pendant 48 heures. Les colonies des bactéries sulfitoréductrices sont noires ; leur taille varie selon l'espèce (**Lebres et al, 2002**).

5) Salmonelles

La recherche de salmonella dans les aliments a été effectuée selon la norme **NF V 08-052Mai 1997**. L'analyse est effectuée en utilisant 25 mL de lait homogénéisé 2 minutes dans 225 ml de diluant de pré-enrichissement Eau peptonée tamponnée EPT (c'est un milieu nutritif non inhibiteur) à l'aide d'un homogénéisateur. Après incubation de 24 heures à 37°C, cette étape permet la récupération des *Salmonella* présentes ayant subies des contraintes physiques ou chimiques (traitement de chaleur, congélation, déshydratation, agents de conservation). On ensemence 1 ml de la culture obtenu dans 2 tubes à essai stériles contenant chacun 9 ml de bouillon d'enrichissement sélectif contenant des agents inhibiteurs actifs sur les germes qui font concurrence aux *Salmonella sp* :

*SFB, puis incubé pendant 24 heures à 37°C.

*Rappaport-Vassiliadis, puis incubé pendant 24 heures à 43°C.

L'isolement se fait sur 1 milieu sélectif: gélose Héктоen, par ensemencement en stries à partir de 2 tubes, les boites sont incubées pendant 24 heures à 37°C.

Le changement de couleur initiale de bouillon fraîchement préparé indique une réaction positive. Après incubations, sur milieu Hektoen, les colonies caractéristiques de *salmonella* sont lisse et de couleurs verte à centre noir.

V. La lyophilisation

C'est une méthode de dessiccation sous vide, à basse température, de produits liquides préalablement congelés.

Ce procédé de déshydratation des éléments sous vide poussé, alors qu'ils sont à l'état congelé, est relativement récent. Il est né au cours de la seconde guerre mondiale, pour répondre, à de très grandes distances, aux besoins en produits biologiques tels que pénicilline et plasma sanguin, à l'état sec et aux propriétés inchangées. Le brevet de base pour la congélation-déshydratation sous vide de produits alimentaires a été pris par Flosdorf (**Flosdorf E.W, 1946**) en 1946. Il présente les avantages suivants: dégradation thermique

minimale, réhydratation rapide, stabilité dimensionnelle, poids réduit par unité de volume, bon aspect en général, rétention .des qualités nutritives. Par contre, ce procédé présente également quelques inconvénients: fragilité, voluminosité, facilité d'oxydation, prix de revient élevé.

1. Principe

La technique de lyophilisation fait appel à deux opérations qui jouent un rôle d'égale importance. La congélation a non seulement pour objet de préserver les propriétés et la fraîcheur du produit traité et d'éviter son altération chimique et bactériologique, mais intervient également dans la seconde opération. En effet, la congélation entraîne la formation de cristaux de glace dont la sublimation communique au produit une structure poreuse qui facilite la réhydratation (**Stein M.1966**). La forme et les dimensions des cristaux de glace affectent la vitesse de séchage et par suite le prix de l'opération. La couche poreuse qui se forme à la surface du produit en cours de dessiccation agit comme une barrière à la pénétration vers l'intérieur de la chaleur, en même temps qu'à l'évacuation de la vapeur d'eau et cette résistance est particulièrement marquée lorsque les pores sont très fins, résultant de la formation de très petits cristaux de glace.

D'autre part, la forme et les dimensions des cristaux de glace interviennent sur la structure du produit desséché, qui doit être conservée aussi voisine que possible de celle du produit initial pour assurer le maximum de réversibilité au moment de l'hydratation.

2. Théorie

Les corps purs peuvent exister sous trois états : solide, liquide, gazeux. Le passage d'un état à l'autre est fonction de la température et de la pression.

Le diagramme température/pression de l'eau présente un point particulier : le point triple. Autour de ce point triple, l'eau peut exister soit à l'état solide, liquide ou gazeux, et en faisant varier la température et la pression, on fait passer l'eau d'un état à un autre.

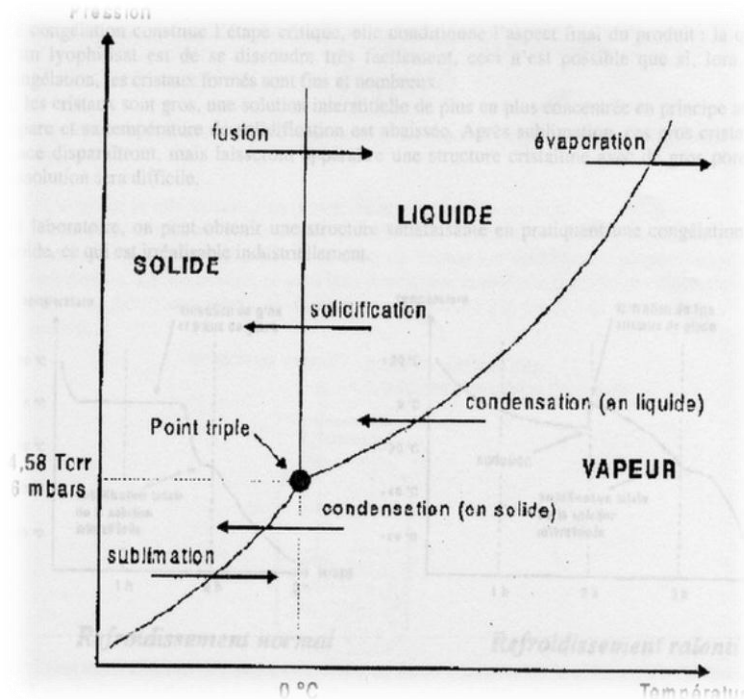


Figure 11 : Diagramme température/pression de l'eau

Pendant la lyophilisation, l'eau passe donc par les changements d'états suivants :

Liquide -----> solide -----> vapeur -----> solide
 <-----> <-----> <----->
Congélation Sublimation Piégeage

- la congélation consiste à faire passer le produit en solution de l'état liquide à l'état solide.
- Lorsqu'on abaisse la pression dans l'enceinte de l'appareil, l'eau solide passe à l'état gazeux et s'élimine progressivement du produit. C'est la sublimation. Lors de cette phase, on élimine l'eau libre, de mouillage. C'est la dessiccation primaire. La dessiccation secondaire permet d'éliminer l'eau liée par adsorption à la surface des produits lors de la sublimation. Cette eau ne représente que 5%, mais la dessiccation demande un vide plus poussé.
- Si les molécules d'eau (sous forme de gaz) éliminées du produit sont piégées sur une surface refroidie. Elles se transforment en glace. C'est le piégeage.

VI. Dosage des minéraux

Ce procédé fournit la digestion acide du lait lyophilisé dans un dispositif de récipient fermé en utilisant un chauffage par micro-ondes de contrôle de température pour la détermination du calcium (Ca) et du magnésium (Mg) par des méthodes Spectroscopiques.

1. Procédures

La minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon.

Une masse de 1,5 g du lait lyophilisé a été pesé dans des godets en téflon, puis un volume de 12 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 65% est ajouté.

Si une partie de l'échantillon reste sur la paroi interne du godet TFM, mouillez-le en ajoutant d'acide nitrique (HNO₃) à 65% par goutte, puis agitez doucement la solution pour homogénéiser l'échantillon avec l'acide.

Les godets sont fermés hermétiquement à l'aide d'une clé dynamométrique, et par la suite ont été placés dans le segment du rotor. Le segment est inséré dans la cavité d'hyperfréquence du four micro-ondes ETHOS ONE SK 10 et le capteur de température a été connecté.

Le programme de micro-ondes a été exécuté jusqu'à l'achèvement.

Tableau 06 : programme de chauffage par micro-ondes

Step	Time	T1	T2 (1)	P (2)	Power
1	00:10:00	180°C	100°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	180°C	100°C	45 bar	Max power*

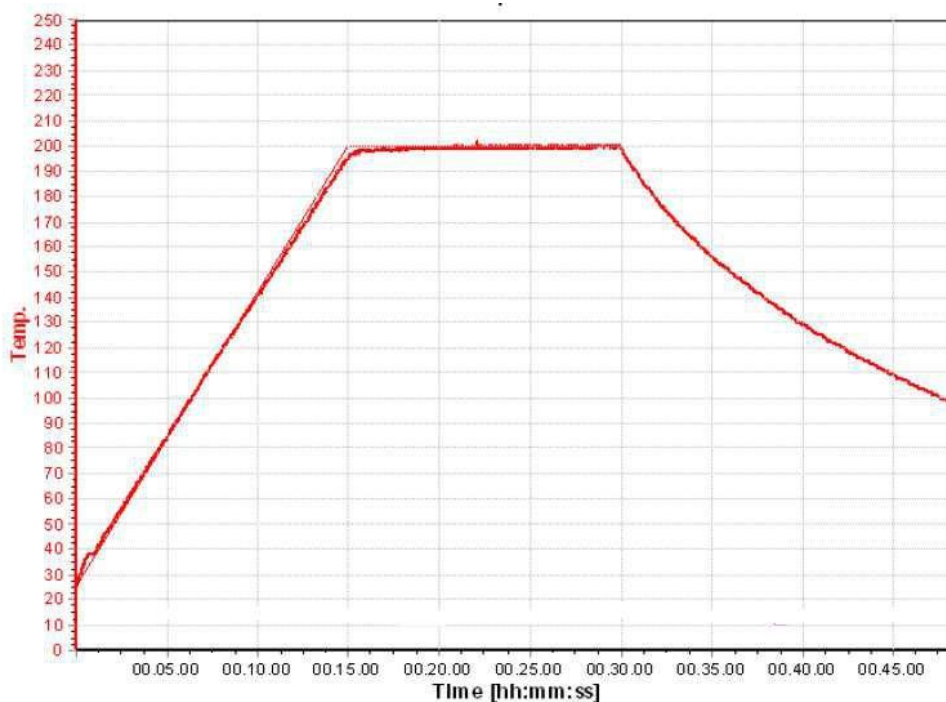


Figure 12 : profil de température lors du chauffage

Après refroidissement, les échantillons ont été filtrés sur papier filtre dans des fioles de 100 ml. Les godets sont rincés plusieurs fois avec l'eau ultra pure, les fioles sont complétées jusqu'à trait de jauge par l'eau ultra pure.

Un bilan d'analyse est préparé en mettant 12 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 65% dans un godet en téflon.

Les fioles sont conservées dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'au moment d'analyse pour éviter toute perte et contamination.

Les déterminations des teneurs en calcium, magnésium, et phosphore étaient réalisées par spectrométrie d'absorption atomique sur un appareil Agilent AA 240 Fs.

VII. Analyse statistique

Les résultats de différents paramètres sont traités en fonction des moyennes par l'analyse de variance (ANOVA) selon la méthode de **Newman et Keuls** à l'aide d'un logiciel « **Statbox version 2006** ».

A. Résultats

I. Résultats des analyses microbiologiques du lait

Les résultats des analyses microbiologiques du lait cru sont présentés dans le **Tableau 07**.

Tableau 07: Résultats des analyses microbiologiques des prélèvements du lait.

Prélèvements	1	2	3
Date	17/04/2017	23/04/2017	03/05/2017
Bactéries			
FTAM	Avant : $10,9.10^4$	Avant : $14,2.10^4$	Avant : $11,2.10^4$
	1min : 20.10^4	1min : $15,1.10^4$	1min : $17,04.10^4$
	2min : 51.10	2min : 391	2min : 223
CF	Avant : $4,90.10^2$	Avant : $21,27.10^3$	Avant : 12.10^3
	1min : $2,20.10^3$	1min : $15,63.10^4$	1min : 10.10^4
	2min : Abs	2min : Abs	2min : Abs
CT	Avant : 10.10^2	Avant : $11,63.10^3$	Avant : 8.10^3
	1min : $30,9.10^2$	1min : $10,9.10^4$	1min : $20,34.10^3$
	2min : Abs	2min : Abs	2min : Abs
Staph	Avant : 18,18.10	Avant : 17,27.10	Avant : 16,88.10
	1min : $13,6.10^3$	1min : 5.10^2	1min : 9.10^2
	2min : Abs	2min : Abs	2min : Abs
CSR	Avant : Abs	Avant : Abs	Avant : Abs
	1min : Abs	1min : Abs	1min : Abs
	2min : Abs	2min : Abs	2min : Abs
Salmonelle	Avant : Abs	Avant : Abs	Avant : Abs
	1min : Abs	1min : Abs	1min : Abs
	2min : Abs	2min : Abs	2min : Abs

Chaque valeur est la moyenne de 3 échantillons.

FTAM : Flore mésophile aérobie totale ; **CF** : coliforme fécaux ; **CT** : coliforme totaux ; **Staph** : staphylococcus aureus ; **CSR** : Clostridium Sulfito-réducteur.

Les résultats montrent une absence des germes pathogènes telles que les salmonelles, les anaérobies sulfito-réducteurs, alors qu'on note une présence des coliformes et des staphylococcus ce qui peut être dû au mauvaise hygiène ou l'état de santé des vaches.

1. Flore mésophile aérobie totale

Ce sont les germes indicateurs sur l'état microbiologique du lait. Leur dénombrement donne une idée du niveau globale de contamination du lait. Selon les résultats du tableau 1 on note qu'il y a une charge élevée en microorganismes de la flore totale. Le seuil de contamination en flore totale dépasse les normes fixées à 10^5 UFC/ml (JORA, 1998). Cette charge va augmenter après le réchauffement de 1 minute à 40°C qui est la température favorable pour le développement des microorganismes.

Après le réchauffement de 2 minutes à une température de 60°C , on remarque une diminution significative de charge de la flore totale (510 et 391 UFC/ml), qui est due au traitement thermique qui a subi le lait dans le microonde.

Cette flore totale peut avoir plusieurs origines, elle peut provenir des vaches eux même et de leurs déjection, de l'environnement des animaux tels que les bâtiments, l'eau, l'alimentation ou bien du matériel de traite.



Figure 13: FTAM (Photo originale).

2. Coliformes totaux et fécaux

On appelle coliformes fécaux ou les coliformes thermo tolérants, les germes capables de se développer à 44°C . Leur présence traduit une contamination fécale récente car ces bactéries vivent principalement dans les intestins et survivent difficilement dans le milieu externe (JOFFIN, 1999). La norme Algérienne concernant les coliformes totaux et fécaux étant fixée à 10^3 UFC/ml, nous constatons que le lait du deuxième et troisième prélèvement présente une charge microbienne qui dépasse les normes avec $21,27.10^3$, 12.10^3 UFC/ml pour CF et $11,63.10^3$, 8.10^3 UFC/ml pour les CT avant le chauffage au microonde. Après le chauffage pendant 1 minute à 40°C on remarque une augmentation des deux germes qui est due à la température favorable de développement et nous observons une absence de ces bactéries dans le lait chauffé pendant 2 minutes à 60°C qui est due au traitement thermique subi ce qui est conforme aux normes algériennes. Ces résultats sont importants car ils

attestent que l'environnement ou le lieu de la traite est insalubre par, un manque d'hygiène du personnel ou des animaux.

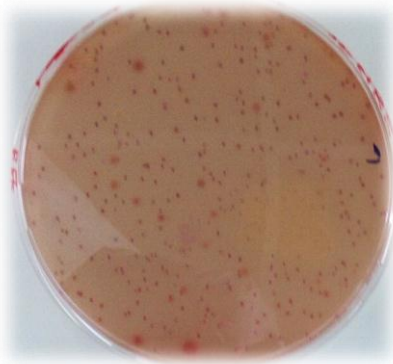


Figure 14 : *Coliformes totaux et fécaux* (Photo originale).

3. *Staphylococcus aureus*

Les germes pathogènes tels que le *Staphylocoque aureus* ne sont pas tolérables dans le lait cru, cette bactérie est un pathogène majeur, causant des infections mammaires. Ces derniers s'accompagnent d'une augmentation de la perméabilité entre le compartiment sanguin et le lait qui a pour conséquence des modifications de la composition du lait (Rainard, 2006). Le danger de la présence de ce germe provient du fait que cette bactérie produit une entérotoxine responsable des intoxications alimentaires (Berche *et al.*, 1988). Les résultats obtenus (figure 15) montrent que le seuil de contamination en Staphylocoque dépasse les normes (JORA, 1998) dans les laits des trois prélèvements. Après le chauffage pendant 1 minute à 40°C, on remarque l'augmentation de cette charge $13,6.10^3$, 5.10^2 UFC/ml qui est due aux conditions favorable de multiplication (Température), par rapport au lait chauffé pendant 2 minutes à une température de 60°C qui présente une absence totale de cette bactérie à cause traitement thermique. Les staphylocoques sont des germes courant mais dangereux s'ils sont présents en grande quantité. Les principales sources de contamination sont, en premier lieu les mamelles. Les infections mammaires à staphylocoque représentent la principale source de contamination du lait à la production.



Figure 15 : *Staphylococcus aureus* (Photo originale).

4. Clostridium Sulfito-réducteurs

Ce sont des germes pathogènes dont la présence n'est pas tolérée qu'à faible dose car ils peuvent être à l'origine de toxi-infection alimentaire (Maurice, 1996). D'après nos résultats (figure 16) nous observons une absence totale de cette bactérie dans les trois prélèvements du lait. La présence des clostridium dans les produits laitiers est à l'origine des intoxications alimentaires, elles se trouvent dans le sol, intestin des animaux et de l'homme. Leur présence serait due à une mauvaise hygiène du trayeur, à des mauvaises pratiques de traite ou bien d'origine alimentaire (Joffin *et al.*, 1999).



Figure 16 : *Clostridium Sulfito-réducteurs* (Photo originale).

5. Salmonelle

Les salmonelles sont des bactéries mésophiles, ayant une température optimale de croissance de 35 à 37°C, cependant les Salmonelles peuvent se multiplier de 5°C à 45/47°C avec une croissance nettement retardée par les températures inférieures à 10°C. (Robinson *et al.*, 2000). D'après nos résultats nous observons une absence totale de cette bactérie dans les trois prélèvements du lait. Les personnes qui consomment des aliments contaminés par la *Salmonella* sont susceptibles de contracter la salmonellose.

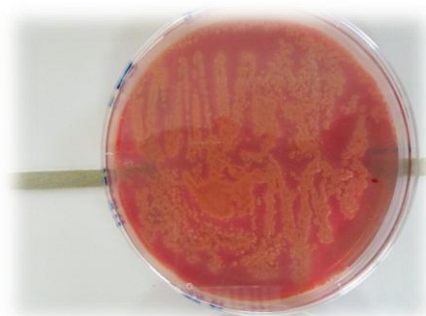


Figure 17 : Absence de *Salmonelle* (Photo originale)

II. Résultats des analyses physicochimiques

Dans cette partie nous présentons des essais ayant porté sur l'effet de chauffage par microonde sur la composition physico-chimique du lait de vache.

1. Le pH

L'analyse de variance pour les résultats du pH a fait ressortir que le facteur de chauffage revêt un effet non significatif ($P > 0.05$) sur l'évolution du pH indiqué au (Tableau 08).

Tableau 08 : pH du lait avant et après chauffage

Prélèvement Chauffage	Valeurs pH			Effet facteur
	1	2	3	
Avant	6,66 ± 0,064	6,61 ± 0,10	6,73 ± 0,070	NS
1min	6,35 ± 0,006	6,33 ± 0,023	6,42 ± 0,006	
2min	6,37 ± 0,006	6,25 ± 0,015	6,36 ± 0,015	

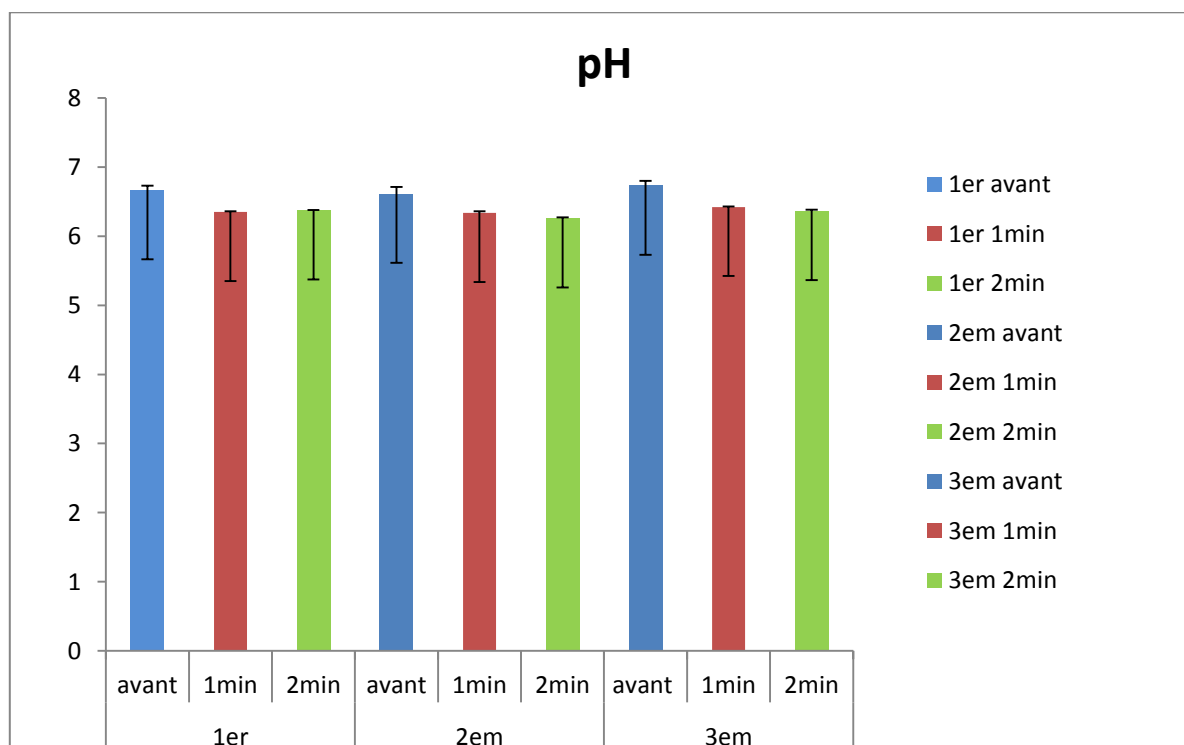


Figure 18 : pH du lait avant et après chauffage.

2. Matière grasse

Le facteur chauffage présente un effet hautement significatif ($P < 0.01$) sur la teneur de la matière grasse du lait. (Tableau 09)

Le contenu lipidique apparait en proportion moins élevée (3.4%) après chauffage, alors qu'il était de 3.5% à 3,6% pour les trois prélèvements.

Tableau 09 : Taux butyreux du lait avant et après chauffage (g/L)

Prélèvement \ Chauffage	Taux butyreux			Effet facteur
	1	2	3	
Avant	35,633 ± 0,058 ^A	36,033 ± 0,153	35,2 ± 0,1	P<0.01 HS
1min	35,233 ± 0,153 ^A	35,533 ± 0,208	35 ± 0,1	
2min	34,9 ± 0,1	34,533 ± 0,306 ^B	34,6 ± 0,265	

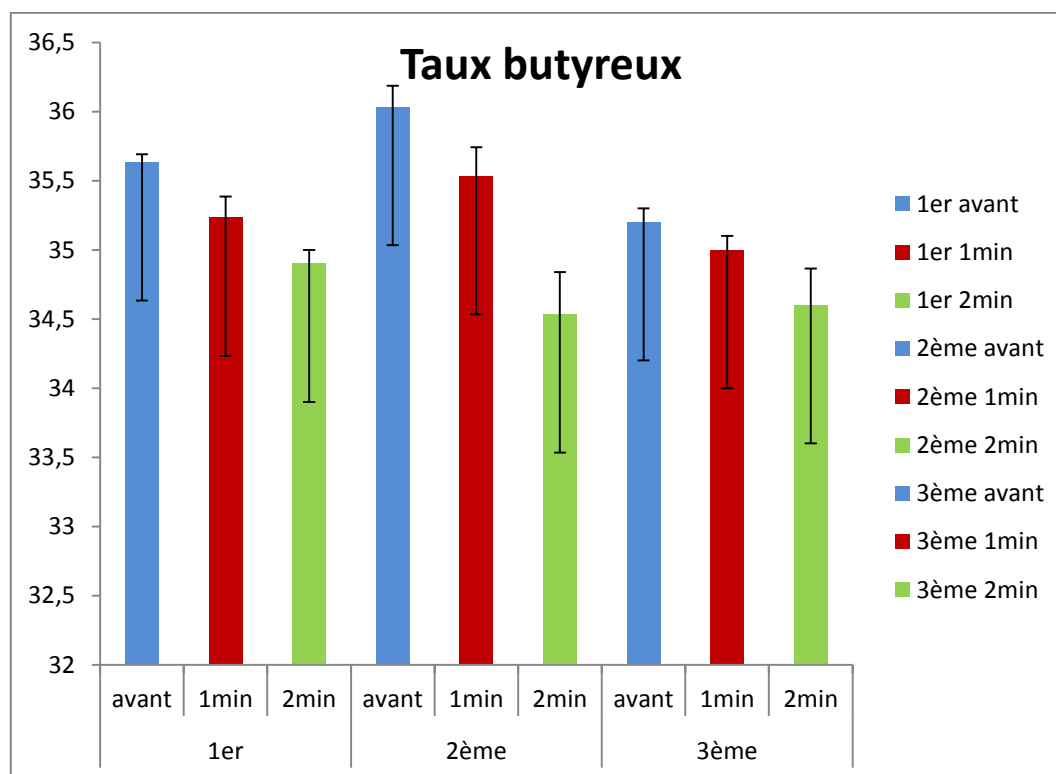


Figure 19 : Taux butyreux du lait avant et après chauffage

3. Lactose

L'analyse de variance a montré que le chauffage présente un effet hautement significatif ($P < 0.01$) sur le taux de lactose du lait (**Tableau 10**).

Nous avons constaté aussi que les échantillons du lait des trois prélèvements présentent des valeurs respectives de 3.15%, 3.1% et 3.15% après deux minutes de chauffage par rapport aux valeurs des échantillons non chauffés qui sont respectivement de 3.63%, 3.13% et de 3.22%.

Tableau 10 : Taux de lactose avant et après chauffage (%)

		Lactose			Effet facteur
Prélèvement	Chauffage	1	2	3	
	Avant	3,633 ± 0,029 ^A	3,137 ± 0,015	3,22 ± 0,02	P<0.01 HS
	1min	3,318 ± 0,026	3,1 ± 0,017 ^B	3,19 ± 0,02	
	2min	3,157 ± 0,023	3,1 ± 0,017	3,157 ± 0,015 ^C	

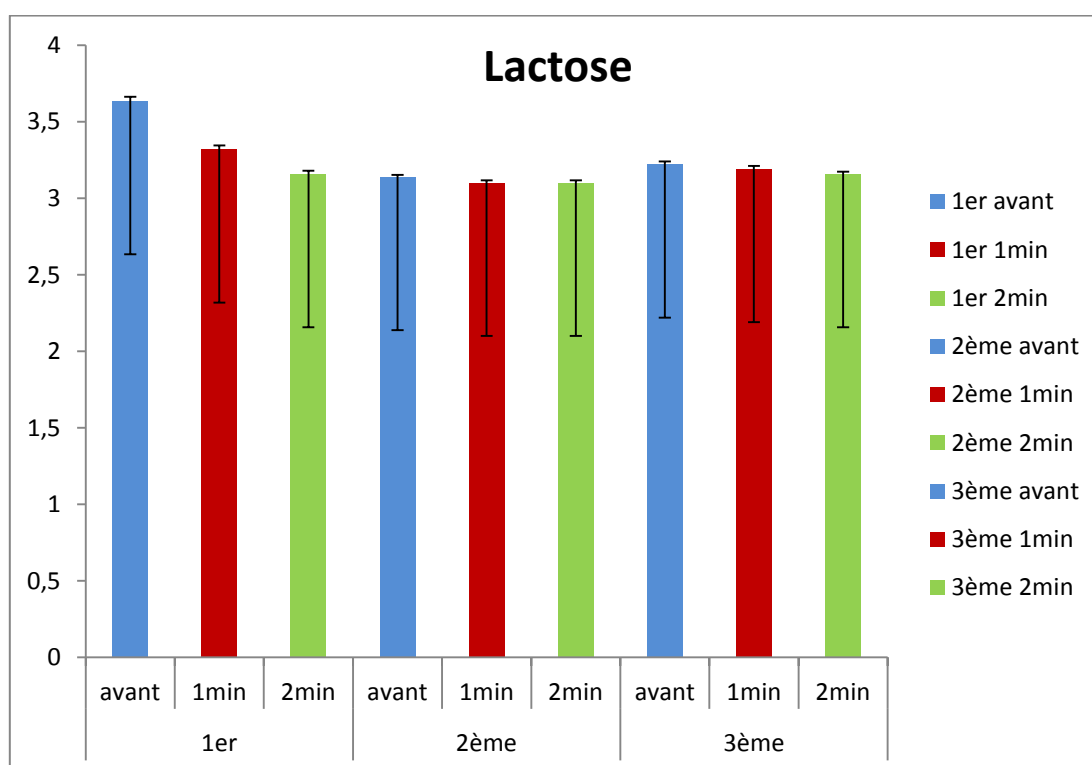


Figure 20 : Taux de lactose avant et après chauffage.

4. L'acidité

L'analyse de variance a fait dégager que le facteur de chauffage présente un effet hautement significatif ($P < 0.01$) sur l'acidité du lait exprimée en degré Dornic au (Tableau11).

Nous avons observé que l'acidité est entre 18°D et 18.66°D avant chauffage dans les trois prélèvements. Ensuite elle a connu une augmentation après chauffage jusqu'à 19.66°D pour les trois prélèvements.

Tableau 11 : Acidité du lait ($^{\circ}\text{D}$)

		L'acidité			Effet facteur
Prélèvement	Chauffage	1	2	3	
Avant		$18,66 \pm 0,577$	$18,33 \pm 0,577$	18 ± 0	P<0.01 HS
1min		19 ± 0	$18,66 \pm 0,577$	$18,66 \pm 0,577$	
2min		$19,66 \pm 0,577$	$19,66 \pm 0,577$	$19,66 \pm 0,577$	

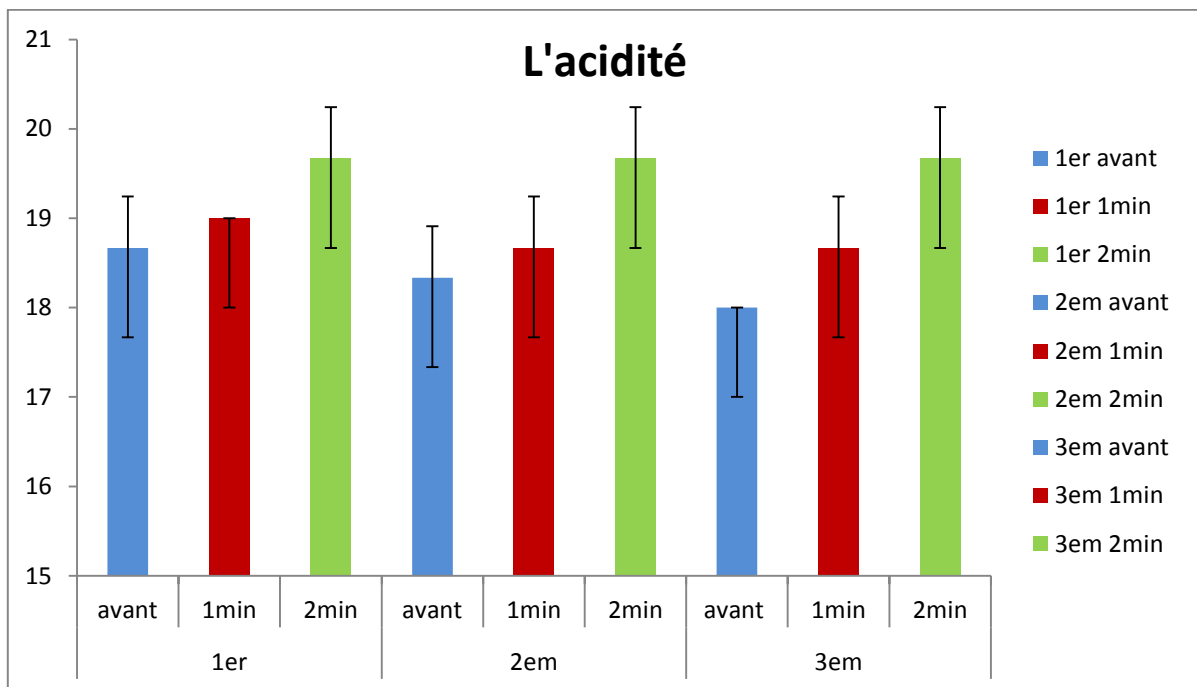


Figure 21 : L'acidité du lait ($^{\circ}\text{D}$).

5. Le taux des protéines

Les résultats sont représentés dans le (Tableau 12) dont le taux des protéines est exprimé en pourcentage.

L'analyse de variance des teneurs en protéines a montré que le facteur chauffage a un effet significatif ($P < 0,01$) sur le taux de protéines dans le lait.

Nous avons constaté une diminution significative de ce paramètre selon les durées de chauffage de 1 minute à 2 minutes.

Tableau 12 : Taux des protéines du lait (%)

Prélèvement Chauffage	Protéines			Effet facteur
	1	2	3	
Avant	2,703 ± 0,064 ^A	2,4 ± 0,01	2,427 ± 0,006	P<0.01 HS
1min	2,403 ± 0,012	2,363 ± 0,006 ^B	2,403 ± 0,006	
2min	2,383 ± 0,012	2,343 ± 0,006 ^B	2,383 ± 0,006	

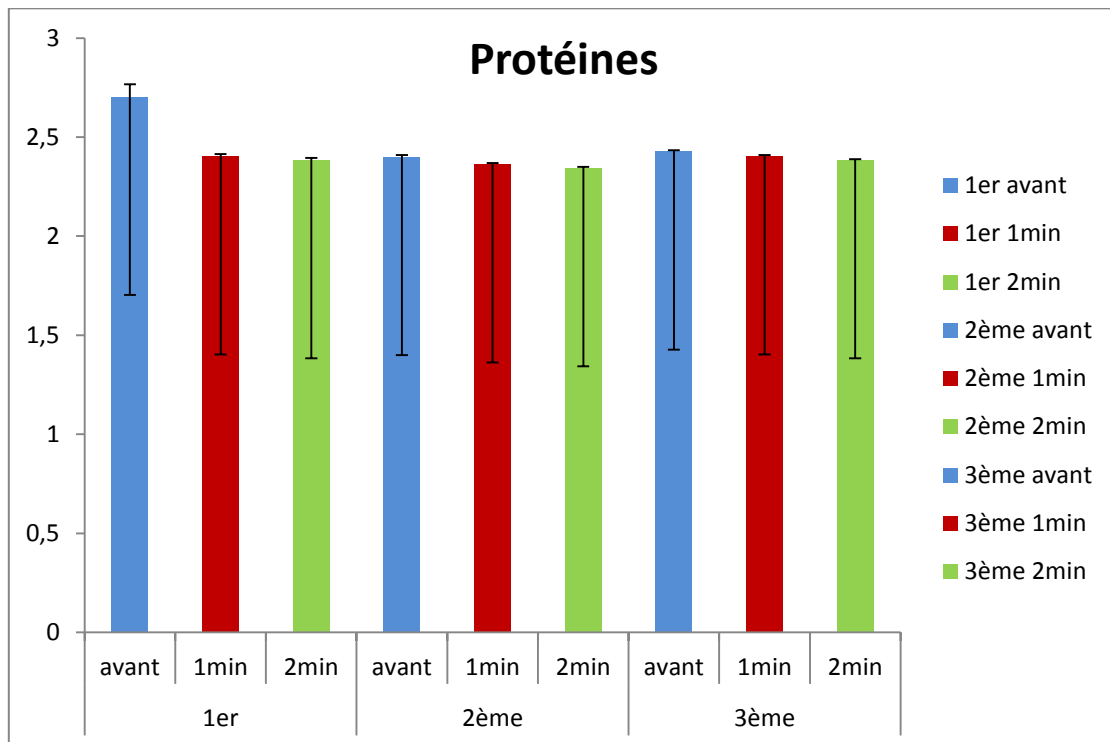


Figure 22 : Taux des protéines du lait

6. L'extrait sec total

Le facteur chauffage présente un effet hautement significatif sur l'extrait sec total du lait présenté dans le (Tableau 13).

Nous avons constaté que l'extrait sec total est significativement différent d'une valeur de 8.9% à 9.08% dans les trois prélèvements après chauffage de 2 minutes, alors qu'il était entre 9.13% et 10.28% avant chauffage.

Tableau 13 : L'extrait sec total du lait (%)

		Extrait sec total			Effet facteur
Prélèvement	Chauffage	1	2	3	
	Avant	10,28 ± 0,251 ^A	9,137 ± 0,04	9,223 ± 0,015	P<0.01 HS
	1min	9,123 ± 0,072	8,99 ± 0,017 ^B	9,14 ± 0,035	
	2min	9,067 ± 0,049	8,903 ± 0,015 ^B	9,083 ± 0,055	

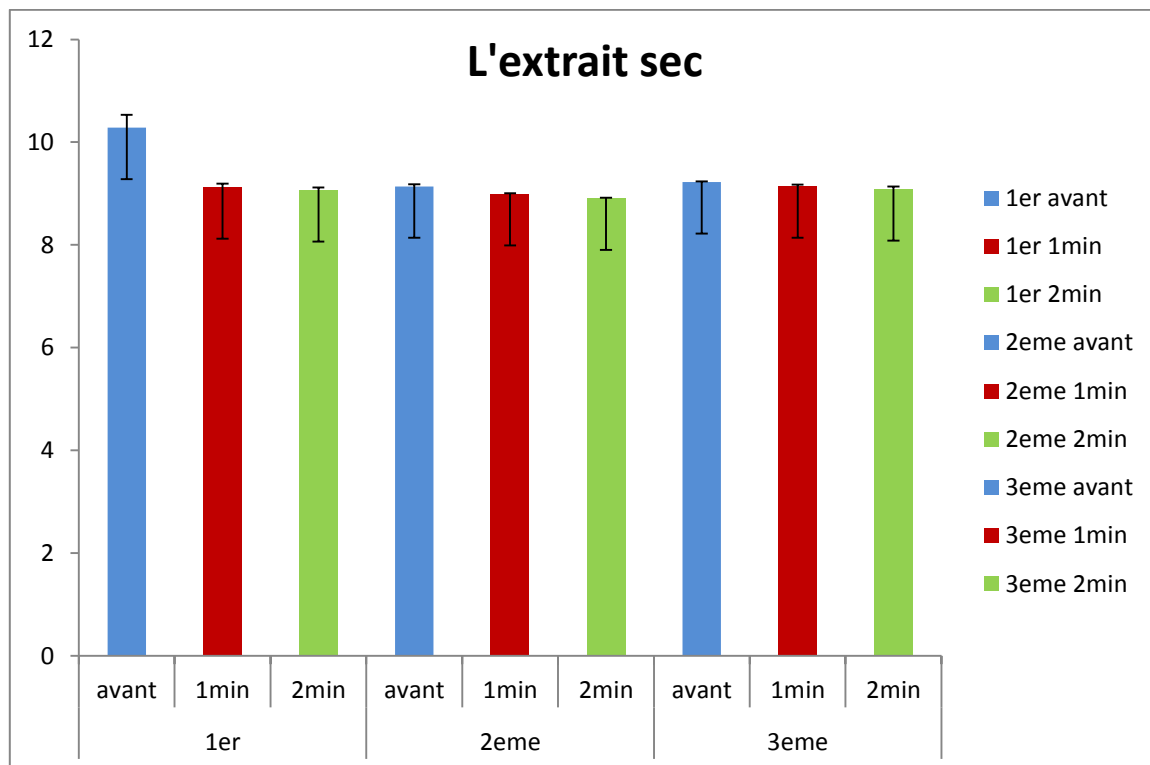


Figure 23 : L'extrait sec total du lait

7. Analyse des minéraux

D'après les résultats de dosage des minéraux qui sont présentés en **mg/L** dans le (Tableau 14). On remarque que l'effet chauffage n'a pas un effet significatif sur la teneur en minéraux.

Tableau 14 : Teneur en minéraux du lait en (mg/L)

Chauffage \ Minéraux	Avant	1 min	2 min
Calcium	135.52	126.78	136.58
Magnésium	12.96	11.58	12.74
Phosphore	11.95	10.56	11.59

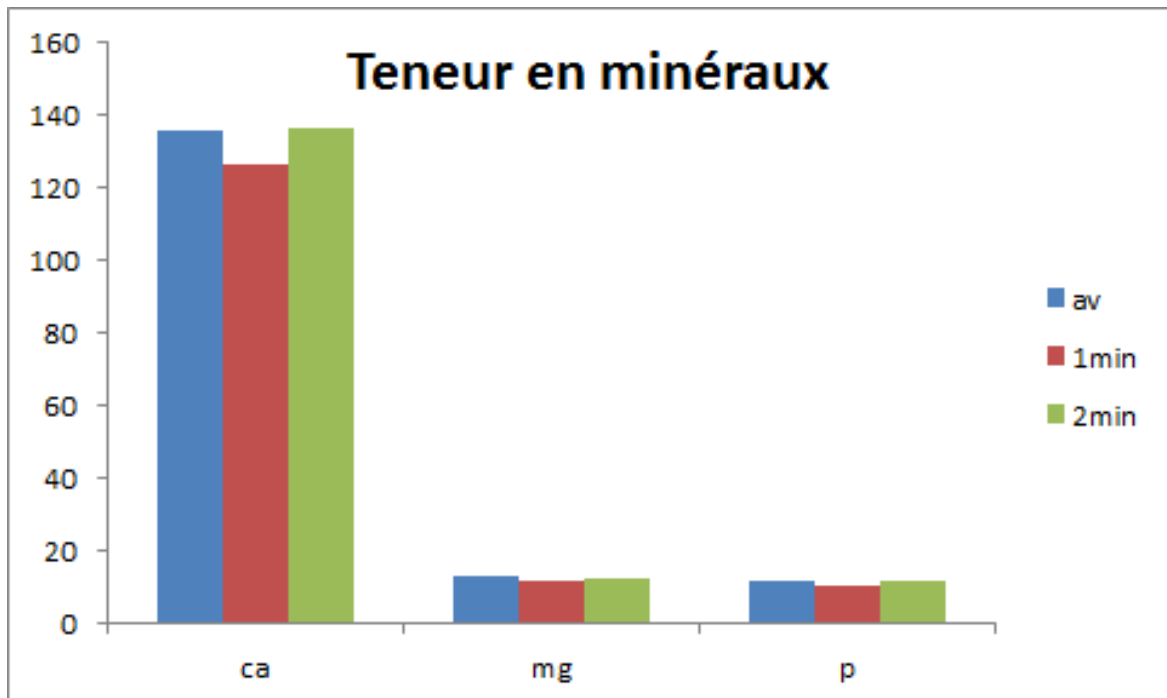


Figure 24 : Teneur en minéraux du lait.

B. Discussion des résultats

D'après les résultats obtenus, on a remarqué que les taux de protéines, lipides, lactose et d'extrait sec ont diminué d'une façon significative après le traitement thermique par micro-onde. Il peut être dû à l'effet des micro-ondes sur les propriétés physico-chimiques du lait cru et modifications ce qui correspond au résultat trouvé par **(Kheder et al., 2014)**.

Les lipides du lait peuvent subir des modifications chimiques et physiques au cours de la transformation et du stockage, telles que l'auto-oxydation et la formation d'acides gras trans **(M. Semma, 2002)** ce qui peut expliquer la diminution de la teneur en matières grasses dans nos échantillons de lait. En 2008 Al-Rowaily, obtenus dans une étude une augmentation significative dans les paramètres de l'oxydation (valeurs de l'acide thiobarbiturique et de peroxyde) pour le lait traité avec un micro-onde. Ainsi, l'oxydation des lipides comprend l'oxydation des acides gras et génère des composés qui ont une incidence sur la qualité des aliments et même la nutrition et la sécurité alimentaire. **(F. Pop and M. Rus, 2009)**.

La diminution de la concentration des protéines peut s'expliquer par le fait que les protéines de lactosérum groupes sulfhydryle, généralement enterré dans le cœur de la structure protéique, sont exposés à la surface en raison de chauffage. En outre, les protéines des groupes sulfhydryle peuvent se former en raison de l'hydrolyse ou β -élimination des ponts disulfures durant le traitement thermique **(P. S. Patrick and H. E. Swaisgood, 1976)**.

β -lactoglobuline, une protéine majeure de l'organe de la fraction lactosérum est souvent impliquée dans ces processus. **(D. M. Mulvihell and J. E. Kinsella, 1987)**. En outre, **Clare et al., (2005)** ont montré que le traitement aux micro-ondes de lait augmente la concentration des groupes SH protéines "libre" qui sont disponibles pour la participation dans les réactions oxydatives et finalement contribuer à la production d'espèces réactives de l'oxygène, tels que l'oxygène singulet et de radicaux hydroxyles qui peut provoquer l'oxydation des lipides comme nous en avons discuté avant concernant la variation de la concentration en matière grasse.

La teneur en protéines peut aussi diminuer au cours de l'exposition micro-ondes en raison du fait que la protéine peut être impliquée dans la réaction de Maillard avec le lactose. Parmi les protéines, la lysine est le plus impliqué dans cette réaction et sa diminution dans le temps est devenue un indicateur nutritionnel pour l'appréciation de l'effet des traitements thermiques sur les aliments. **(T. Florea, 2001)**.

L'explication de la diminution de la concentration de lactose dans le cadre du traitement aux micro-ondes des échantillons de lait pourrait être le fait que le lactose, étant un disaccharide réducteur, peut être impliqué dans la réaction de Maillard et au cours de cette première étape de la réaction d'isomérisation du lactose en lactulose. (**F. Mazzei et al., 2009**).

Des valeurs plus basses d'extrait sec dans le lait traité à micro-ondes peuvent s'expliquer par : diminution quantitative des protéines, du lactose et de matière grasse démontré auparavant, et aussi par une éventuelle diminution de la quantité de certaines vitamines, par exemple, A, B9, C et E, d'après certains résultats obtenus par d'autres études (**A. Dumuta et al., 2011**).

Le pH du lait décroît graduellement avec l'augmentation du temps de chauffage, ce qui est montré par **Singh, 2004**.

L'évolution de l'acidité du lait est peut-être en raison de l'oxydation des lipides, ou la formation d'acide lactique lors de la fermentation du lactose et du gaz contenu dans le lait.

Selon **Schaafsma, G, 1989**, la concentration en minéraux ne change pas, parce qu'ils résistent au traitement thermique. Le lait est une bonne source de calcium et de phosphore, le traitement thermique apparait qu'il n'a pas d'effet significatif sur la disponibilité de ces deux composés.

Conclusion

Le lait reste parmi les produits alimentaires très attractifs par ses apports nutritionnels et organoleptiques. Ce produit est influencé par les différents traitements thermiques.

Le but de cette expérimentation était d'étudier l'effet du chauffage par micro-onde sur les propriétés physicochimiques et microbiologiques du lait cru.

Les analyses réalisées sur les différents échantillons du lait permet d'évaluer les différences entre les durées de chauffage.

L'analyse microbiologique du lait a montré que le lait chauffé pendant 1 minute présente une charge microbienne importante qui dépasse les normes par rapport au lait chauffé pendant 2 minutes.

L'analyse des différents paramètres (Acidité, Extrait sec, Taux butyreux, Teneur en protéines et lactose) a démontré que le facteur chauffage présente un effet hautement significatif ($P < 0.01$), contrairement à l'analyse de pH qui présente un effet non-significatif.

En effet, les minéraux (calcium, magnésium, phosphore) apparaissent stables dans les différents échantillons (avant et après chauffage)

Les résultats confirment l'influence de chauffage par micro-onde sur la qualité physicochimique et microbiologique du lait cru.

Toutefois, ce genre d'étude s'avère insuffisant. Il est utile de réaliser d'autres études plus basées sur d'autres effets de l'utilisation des micro-ondes telles que le profil des acides gras, dosage des vitamines et des protéines, apparition de composés néoformés, afin de bien utiliser cet appareil.

A

AFNOR. 1980. Lait est produit laitiers : méthodes d'analyses. Recueil des normes françaises, 1^{ère} édition, Lait, 80, 503-515.

ALAIS C. 1975. Science du lait. Principe des techniques laitières. Edition Sepaie, Paris.

Alais C. 1984. Sciences du lait. Principes des techniques laitières, Paris.

Albert, C.S. ; Mandoki, Z.S.; Casp-Kiss Caspoo et S. Z., J. 2009. L'effet de la pasteurisation micro-ondes sur la composition du lait. ACTA UNIV. Sapientiae, Alimentaria, 2 , 2 153 - 165.

Ashim K, Datta P, Davidson M. 2008. Microwave and Radio Frequency Processing. Journal of Food Safety; 65: 32-41.

B

BERCHE, P. ; LOUIS, G.J. ; SIMONET, M. 1988. Bactériologie, les bactéries des infections humaines. Edition Flammarion. Médecine. Science paris, p.567 et p.594.

BLANC B. 1982. Les protéines du lait à activité enzymatique et hormonale. International dairy journal, 62. pp :350-395.

Buffler CR. 1993. Microwave cooking and processing: Engineering fundamentals for the food scientist. Van Nostrand Reinhold. Chapman & Hall. New York ; 169 p.

C

C. Ebner, T. Bodner, F. Stelzer, and F. Wiesbrock. 2011. “One Decade of Microwave-Assisted Polymerizations: Quo vadis?,” Macromol. Rapid Commun., vol. 32, no. 3, pp. 254–288.

C. O. Kappe, B. Pieber, and D. Dallinger. 2013. “Microwave Effects in Organic Synthesis: Myth or Reality?,” Angew. Chem.-Int. Ed., vol. 52, no. 4, pp. 1088–1094.

Clare DA, Bang WS, Cartwright G, Drake MA, Coronel P, Simunovic J. 2005. Comparison of Sensory, Microbiological, and Biochemical Parameters of Microwave Versus Indirect UHT Fluid Skim Milk During Storage. J Dairy Sci; 88: 4172- 4182.

D

D. M. Mulvihell and J. E. Kinsella. 1987. Food Technology 41 102–107.

Datta AK, Hu W. 1992. Quality optimization of dielectric heating processes. Food Technology; 46: 53-56.

Datta AK. 2001. Fundamentals of heat and moisture transport for microwaveable food product and process development. Chapitre 4. In: Datta AK, Anatheswaran RC. (eds.); Handbook of Microwave Technology for Food Applications. Marcel Dekker, Inc: New York; pp 115-135.

Debry G. 2006. ED : tec. Et doc. Lavoisier Paris. 566 p.

Dumuta Giurgiulescu , A. ,L , Mihaly - Cozmuta Vosgan , L . et Z. 2011. Les caractères physiques et chimiques du lait. La variation due aux rayonnements micro-ondes. Croatie Chemica Acta 48 (3), 429-433.

F

F. Mazzei, F. Botrè, G. Favero, E. Podestà, and C. Botrè, Microchem. J. 91. 2009. 209–213.

F. Pop and M. Rus, Carpathian Journal of Food Science and Technology **I (1). 2009** .17–24.

FAO. 1995. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO alimentation et nutrition n^o 28.

FLOSDORF E.W. - Br. am. 2400 748 du 21 mai 1946.

G

GOT, R. 1997. Les enzymes du lait, 25 : A291- A311.

GUEGUEN et JOURNET. 1961. Le lait, nutrition et santé.

GUIRAUD J.P. 2003. Microbiologie alimentaire. Technique et ingénierie, Paris : Dunod, série Agro-alimentaire, p. 387-433.

H

Hamid MAK, Boulanger RJ, Tong SC, Gallop RA, Pereira RR. 1969. Microwave pasteurization of raw milk. J Microw Power; 4: 272-275.

Irudayaraj M, Irudayaraj JM. 2001. Food Processing Operations Modeling: Design and Analysis. CRC Press; 27: 368.

J

JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCKM P., BRULE G. 2008. Science des aliments: tome 2, technologie des produits alimentaires. Paris : Tec & Doc, Lavoisier, p. 58-59.

JOFFIN, C et JOFFIN, J.N. 1999. Microbiologie alimentaire 5^{ème} éd. Collection Biologie Technique : p.211.

JORA n° 32 du 23 mai 2004. Arrêté du 27 mars 2004 rendant obligatoire une méthode de dénombrement des organismes microbiens pour le lait fermenté.

L

L'vov, B. V.2005. « Fifty years of atomic absorption spectrometry», *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 60.

LARPENT J.P, LARPENT G. M. 1997. Mémento technique de microbiologie, 3^{ème} éd. Tec et Doc, Lavoisier. Paris. P.39 et p.42.

LEBRES A.D., HAMZA A. 2002. Cours national d'Hygiène et de microbiologie des aliments «Microbiologie des laits et produits laitiers. Institut Pasteur d'Algérie.

Lederer. 1986. Alimentation et cancer, dider, Paris.

LINDEN, G.1987. Les enzymes in CEPIL. LE lait matiere premiere de l'industrie laitiere, CEPIL-INRA, paris, 121-127.

M

M. Bardts, N. Gonsior, and H. Ritter. 2008. “Polymer Synthesis and Modification by Use of microwaves,” *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 209, no. 1, pp. 25–31.

M. Iannelli and H. Ritter. 2005. “Microwave-Assisted Direct Synthesis and Polymerization of Chiral Acrylamide,” *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 206, no. 3, pp. 349–353.

M. Semma. 2002. *Journal of Health Science* 48 7–13.

Mathieu J. 1997. Initiation à la Physico-chimie du lait .Edition TEC et DOC.220.

MATHIEU J. 1998. Initiation à la physicochimie du lait. Guides Technologiques des IAA. Edition Lavoisier Tec et Doc, Paris.

MAURICE, Y. 1998. Analyse industrielle de la laiterie Shola : points critiques et facteurs de risques sanitaires. Rapport CIRAD-EMVT n° 96057, septembre 1996, Montpellier, France, p.43.

Menard J.L., Roussel P. Masselin-Silvin S., Puthod R., Hétreau T., Foret A., Houssin B., Aracil C., Le Guénic M. 2004. Contamination bactérienne d'une litière de stabulation libre paillée : effet de la fréquence de paillage et proposition d'une méthode pour son évaluation. Renc. Rech. Ruminants, 11 333- 336.

Michael B, Welz, Bernhard. 1999. Atomic Absorption Spectrometry, Weinheim, Wiley-VCH, 3e éd. (ISBN 978-3-527-28571-6, LCCN 99184474)

Morgan F, Jacquet F, Micault S, Bonnin V, Jaubert A. 2000. Study on the compositional factors involved in the variable sensitivity of caprine milk to high temperature processing. International Dairy Journal; 10: 113-117.p. 382

P

P. S. Patrick and H. E. Swaisgood, J. 1976. Dairy Sci. 59 594–600.

R

R. Gedye, F. Smith, K. Westaway, H. Ali, L. Baldisera, L. Laberge, and J. Rousell. 1986. “The Use of Microwave-Ovens for Rapid Organic-Synthesis,” Tetrahedron Lett. vol. 27, no. 3, pp. 279–282.

R. Giguere, T. Bray, S. Duncan, and G. Majetich. 1986. “Application of Commercial microwave-Ovens to Organic-Synthesis,” Tetrahedron Lett., vol. 27, no. 41, pp. 4945– 4948.

R. Hoogenboom, M. A. M. Leenen, F. Wiesbrock, and W. S. Schubert, “Microwave

Rainard P. et Riollet C. 2006. Innate immunity of the bovine mammary gland. Veterinarian Research, 37; p.369 et p.400.

Robinson R. K., Batt C. A., Patel P. D. 2000. Encyclopedia of Food Microbiology (salmonelle).

S

S. A. Galema. 1997. “Microwave chemistry,” Chem. Soc. Rev., vol. 26, no. 3, pp. 233–238.

S. Sinnwell and H. Ritter. 2005. “Microwave accelerated polymerization of 2-phenyl-2-oxazoline,” Macromol. Rapid Commun., vol. 26, no. 3, pp. 160–163.

Schaafsma, G. 1989. Effects of heat treatment on the nutritional value of milk. Bulletin of the

international Dairy federation; 68-70

Schubert H, Regier M. 2005. The microwave processing of foods. Food Science and Technology. University of Karlsruhe, Germany; 360 p.

Sieber R, Eberhard P, Gallmann PU. 1996. Heat treatment of milk in domestic microwave ovens. International Dairy Journal; 6: 231-246.

Sierra I, Vidal-Valverde C, Olano A. 1999. The effects of continuous flow microwave treatment and conventional heating on the nutritional value of milk as shown by influence on vitamin B1 retention. Chemistry and materials science; 209: 352- 354.

Singh H, Creamer LK. 1992. Heat stability of milk. Dans: Advanced dairy chemistry-1: Proteins. Fox,P. F. (Ed.); Elsevier Applied Science: London, UK; pp 621-656.

Singh H. 2004. Heat Stability of milk. International Journal of Dairy Technology; 57: 111-119.

Sperling, Michael B, Welz, Bernhard. 1999. Atomic Absorption Spectrometry, Weinheim, Wiley-VCH, 3e éd.

STEIN M. 1966. Food Manuf, t. 41, n 2, p. 51.

Sumnu G. 2001. A review on microwave baking of foods. International journal of food science & technology; 36: 117-127.

T

T. Florea. 2001. Chimia alimentelor, vol. 2, Ed. Academica, Galati, 360.

V

Vadivambal R, Jayas DS. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. Biosystems Engineering; 98: 1-16.

Vignola C. 2002. Éditrice scientifique. Science et technologie du lait .Edition bibliothèque et Archives nationales du Québec Bibliothèque et Archives Canada et DOC.600.

Villamiel M, Corzo N, Martínez-Castro I, Olano A. 1996. Chemical changes during microwave treatment of milk. Food Chemistry; 56: 385-388.

Y

Y. Kwak, R. T. Mathers, and K. Matyjaszewski. 2012. “Critical Evaluation of the Microwave Effect on Radical (Co)Polymerizations,” Macromol. Rapid Commun., vol. 33, no. 1, pp. 80–86.