



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



Université de Blida1

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences alimentaires**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème

**Etude de l'effet de l'incorporation de la poudre
d'épinards dans la fabrication d'un fromage
fondu**

Réalisé par :

DEKIK Nesrine & RAHIM Loubna

Soutenu le : 14 /07/2022 devant le jury composé de :

Président : Dr. KADRI B.

MCB à l'Université de Blida 1

Examinatrice : Mme. ZEGANE O.

MAA à l'Université de Blida 1

Promotrice : Dr. AITCHAOUCHE F.S.

MCB à l'Université de Blida 1

Année universitaire : 2021/ 2022

REMERCIEMENT

Nos remerciements au Dieu le Tout-Puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et le courage d'accomplir ce modeste travail. Nos vifs remerciements vont également à notre promotrice Mlle AIT CHAOUICHE Ferial Sabrina, pour son encadrement, son orientation, ses conseils, ses remarques constructives, sa disponibilité, et son aide précieux qui ont fait avancer le travail. Nous sommes heureuses de vous adresser nos sincères remerciements pour la sympathie, Soyez assuré de notre sincère reconnaissance. Nous tenons à remercier Monsieur B. KADRI pour l'intérêt qu'il a porté à nos recherches en acceptant de présider ce travail. Nous tenons à remercier également Mme O. ZEGANE, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail. Veuillez accepter nos remerciements les plus chaleureux pour votre participation à ce jury. Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous les enseignants de département de science alimentaires qui par leur enseignement, ont contribué à notre formation durant tous notre cursus universitaire.

Nous tenons à remercier également M. BOUHAFS Toufik responsable management de la sécurité des denrées alimentaire/ FALAIT SPA et M. MENSOUR Madjid responsable contrôle qualité/FALAIT SPA ainsi que toute l'équipe de laboratoire physicochimique et microbiologique.

Nos remerciements vont aussi à Mme Belloucif Manissa chef de service du laboratoire de technologie, Institut technique des grandes cultures.

Enfin, nous tenons à remercier de façon générale toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et de façon particulière nos parents pour leurs encouragements et leur soutien.

DÉDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de dieu tout puissant.

*A celui qui a cru en moi et qui m'a donné les moyens d'aller aussi loin, qui m'a beaucoup aidé dans ma vie et durant mes études. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation à toi mon papa **Mokrane**♥.*

*A la source de la tendresse qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études à toi ma chère maman **Zahra** ♥.*

Aux personnes les plus chères à mon cœur, ma grand-mère et mon grand-père.

*A mes très chères sœurs : **Anfel et Sara**.*

*A mon très cher frère : **Hamza**.*

A mes très chères tantes.

A mes très chers oncles.

A mes très chères cousines et à tous mes cousins.

*A tous les membres de ma famille **DEKIK** et **KHAYAR**, petits et grands.*

*A ma chère binôme **Loubna**, mon âme sœur qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles vécus, je t'aime beaucoup ma chère.*

*A mes chères copines **Camélia, Selma, Wassila, Moufida***

J'ai de la chance de vous avoir dans ma vie.

Et enfin à toutes les personnes qui comptent pour moi, intervenues dans ma vie à un moment ou à un autre et qui m'ont accompagné et soutenu.

*Et Tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer **NESRINE***

DÉDICACE

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

*A celle qui était et qui restera mon soutien dans cette vie, à celle qui m'a renseigné comment fait apparaître le succès et la prospérité du sein du mal et des problèmes à la femme qui s'est sacrifiée pour mon éducation et ma réussite, à toi ma chère mère **Akila**♥*

*A celui qui a été toujours mon support dans cette vie, celui qui me donne le courage pour continuer à chaque fois que j'ai l'impression de reculer, à toi mon cher père **Yacine** ♥.*

Je vous aime, que dieu vous protège et vous accorde une longue vie.

*A mes deux chères sœurs **Nora et Ichrak**, à mon cher frère **Younes***

Je vous aime et je vous réserve toujours une place dans mon cœur.

*A mon adorable nièce **Miral** et à mon neveu **Mohamed Chahin***

A mes chers grands parents

A tous mes oncles et toutes mes tantes

A toutes mes cousines et tous mes cousins

*A toute la famille **Rahim et Mansour***

*A mes chères copines **Abir, Camélia, Selma, Wissem.***

J'ai de la chance de vous avoir dans ma vie.

*A mon binôme et mon âme sœur **Nesrine**, merci d'être toujours là pour moi dans le meilleur comme dans le pire, merci d'être une vraie amie, je t'aime ma sœur. **LOUBNA***

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de valoriser l'épinard par son incorporation dans le fromage fondu à différentes proportions (0, 0.5, 1, 1.5 et 2 g de poudre d'épinards séchée par 100 g de fromage fondu) et de formuler une nouvelle préparation fromagère enrichie en micronutriments. Le suivi du fromage élaboré comprend le contrôle physico-chimique, nutritionnel, microbiologique et organoleptique. Les résultats des analyses microbiologiques de la poudre d'épinards sont conformes aux normes nationales. Il ressort par conséquent, l'absence de tous germes pathogènes. Néanmoins, les résultats des analyses microbiologiques du fromage formulé ne sont pas parfaitement conformes aux normes en vigueur. Les analyses physico-chimiques révèlent que l'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu permettait d'améliorer considérablement sa teneur en matières grasses, son extrait sec total et sa teneur en protéines. Les résultats de l'évaluation sensorielle ont montré que le fromage fondu enrichi par 1 g de poudre d'épinards était le produit le plus apprécié par les dégustateurs. L'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu présente un avantage certain en termes d'amélioration de ses caractéristiques organoleptiques ainsi que sa valeur nutritionnelle.

Mots-clés : Fromage fondu, poudre d'épinards, incorporation, analyses microbiologiques, valeur nutritionnelle, normes.

Summary

The main objective of this work is to add value to spinach by incorporating it into processed cheese at different proportions (0, 0.5, 1, 1.5 and 2 g of dried spinach powder per 100 g of processed cheese) and to formulate a new cheese preparation enriched with micronutrients. The monitoring of the processed cheese includes physico-chemical, nutritional, microbiological and organoleptic control. The results of microbiological analyzes of spinach powder comply with national standards. It therefore emerges that there are no pathogens present. Nevertheless, the results of the microbiological analyzes of the formulated cheese do not fully comply with the standards in force. Physico-chemical analyzes reveal that the incorporation of spinach powder into processed cheese significantly improved its fat content, its total dry extract and its protein content. The results of the sensory evaluation showed that processed cheese enriched with 1 g of spinach powder was the product most appreciated by tasters. The incorporation of spinach powder in processed cheese has a definite advantage in terms of improving its organoleptic characteristics as well as its nutritional value.

Keywords: Processed cheese, spinach powder, incorporation, microbiological analyses, nutritional value, standards.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إضافة قيمة إلى السبانخ من خلال دمجها في الجبن المطبوخ بنسب مختلفة (0، 0.5، 1، 1.5 و 2 جرام من مسحوق السبانخ المجفف لكل 100 جرام من الجبن المطبوخ) وصياغة تحضير جديد للجبن غني بالمغذيات الدقيقة. تشمل مراقبة الجبن المعالج التحكم الفيزيائي والكيميائي والتغذوي والميكروبيولوجي والحسي. نتائج التحليلات الميكروبيولوجية لمسحوق السبانخ تتوافق مع المعايير الوطنية. لذلك يتضح أنه لا توجد مسببات الأمراض. ومع ذلك، فإن نتائج التحليلات الميكروبيولوجية للجبن المصنع لا تتوافق تمامًا مع المعايير المعمول بها. تكشف التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن دمج مسحوق السبانخ في الجبن المعالج أدى إلى تحسن كبير في محتواه من الدهون، ومستخلصه الجاف الكلي ومحتواه من البروتين. أظهرت نتائج التقييم الحسي أن الجبن المعالج المخصب ب 1 جرام من مسحوق السبانخ كان المنتج الأكثر تقديرًا للمتذوقين. إن دمج مسحوق السبانخ في الجبن المعالج له ميزة أكيدة من حيث تحسين خصائصه الحسية وقيمه الغذائية.

الكلمات المفتاحية: الجبن المعالج، مسحوق السبانخ، دمج، التحليل الميكروبيولوجية، القيمة الغذائية، المواصفات.

Liste des tableaux

Tableau 1	Composition de fromage fondu	7
Tableau 2	Evolution des importations des fromages en Algérie entre 1995 et 2000.	13
Tableau 3	Les valeurs nutritionnelles par 100g d'épinards	25
Tableau 4	Classification botanique de <i>Spinacia Oleracea</i>	25
Tableau 5	Utilisations de la poudre d'épinards dans les industries agroalimentaires...	29
Tableau 6	Matériels utilisés.....	31
Tableau 7	Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondus examinés.	46
Tableau 8	Résultats des analyses microbiologiques de la poudre d'épinards.....	53
Tableau 9	Résultats des analyses microbiologiques des fromages fondus examinés.....	54
Tableau 10	Classement des essais du fromage formulé.....	56

Liste des figures

Figure 1	Principaux producteurs mondiaux de fromages fondus.....	12
Figure 2	Diagramme du procédé de fabrication de fromage fondu	18
Figure 3	Photo de <i>Spinach Oleraea</i>	24
Figure 4	Photo originale des feuilles d'épinards	32
Figure 5	Procédé de préparation de la poudre d'épinards	34
Figure 6	Schéma d'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu	35
Figure 7	pH des fromages fondus analysés	47
Figure 8	Les teneurs en extrait sec des fromages fondus analysés.....	48
Figure 9	Les teneurs en matières grasses des fromages fondus examinés.....	49
Figure 10	Rapport matière grasse/extrait sec des fromages fondus analysés.....	50
Figure 11	Taux d'humidité des fromages fondus formulés.....	51
Figure 12	Teneur en protéines des fromages fondus élaborés	52
Figure 13	Classement des fromages fondus formulés.....	57

Liste des annexes

Annexe 1	Séchage à l'air libre.....	65
Annexe 2	Photo originale de l'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu.	65
Annexe 3	Photo originale de la détermination du Ph.....	66
Annexe 4	Photos originales de la détermination de l'extrait sec total.....	67
Annexe 5	Photos originales de la détermination de la matière grasse.....	68
Annexe 6	Photo originale de la détermination du taux de protéines.....	69
Annexe 7	Les analyses microbiologiques.....	70
Annexe 8	Résultats des analyses microbiologiques.....	71
Annexe 9	Fiche de dégustation.....	73

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation.

AGPI : Acide gras polyinsaturé.

AGS : Acide Gras Saturé.

BEA : Bile EscilineAzide.

C° : Degrés Celsius.

Ca: Calcium.

CSR: Clostridium sulfito réducteur.

Cu : Cuivre.

EC : Escherichia coli.

EST : Extrait sec total.

Fe : Fer.

FEP : Fromage Epinards.

FTAM : Flore totale aérobie mésophile.

G : Gramme.

GC : Giliotti cantoni.

H₂SO₄ : Acide Sulfurique.

Kg : Kilogramme.

LS : Lauryl de sulfate.

m : Masse.

MG : Matière grasse.

MG/EST : Matière grasse/extrait sec total.

ML : Millilitre.

Mn : Magnésium.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

PCA : plate count Ager.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

SAG : Spore anaérobie gazogène.

T : Normalité.

T : Témoin.

T° : Température.

TSE : Tryptone Sel Eau.

UHT : Ultra haute température.

V : Volume.

VF : Viande foie.

Zn : Zinc.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des annexes	
Liste des abréviations	
Introduction	01

Partie I : synthèse bibliographique.

Chapitre I : Généralités sur le fromage fondu

1.1. Historique.....	03
1.2. Définition.....	03
1.3. Types de fromage fondu.....	04
1.3.1. Fromage fondu type « bloc »	04
1.3.2. Fromage fondu type « coupe »	04
1.3.3. Fromage fondu tartinabe.....	04
1.3.4. Fromage fondu toastable (pour refonte)	04
1.3.5. Fromage fondu thermostable.....	04
1.4. Composition et valeurs nutritionnelle	05
1.5. Enrichissement du fromage fondu en micronutriments.....	08
1.6. Contexte économique du fromage fondu.....	11

Chapitre II : Technologie de fabrication et contrôle de la qualité du fromage fondu

2.1. Ingrédients du fromage fondu.....	14
2.1.1. Matières premières laitières.....	14
2.1.2. Matières premières non laitières.....	15
2.2. Procédé de fabrication du fromage fondu.....	15
2.2.1 Sélection des matières premières.....	15
2.2.2. Mélange, cuisson et fonte.....	16
2.2.3. Stabilisation thermique de la pate.....	16
2.2.4. Crémage pour ajustement de la consistance.....	16
2.2.5. Conditionnement.....	16
2.2.6. Refroidissement.....	17
2.2.7. Stockage et commercialisation.....	17
2.3. Biochimie de la fonte.....	18
2.4. Contrôle de la qualité physicochimique.....	20
2.5. Contrôle de la qualité microbiologique.....	20
2.6. Contrôle organoleptique.....	20
2.7. Principaux défauts rencontrés lors du procédé de fabrication.....	21

Chapitre III : Monographie de l'épinard

3.1. Description botanique.....	24
3.2. Composition chimique des épinards.....	24
3.3. Classification.....	25
3.4. Origine et répartition géographique.....	26
3.5. Récolte.....	26

3.6. Utilisation culinaire.....	27
3.7. Utilisation en médecine traditionnelle.....	27
3.8. La poudre d'épinards.....	27
3.8.1. Composition chimique de la poudre d'épinards.....	27
3.8.2. Propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de la poudre d'épinards	28
3.8.3. Utilisation de la poudre d'épinards dans les industries agro-alimentaire	28

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre IV : Matériel et méthodes

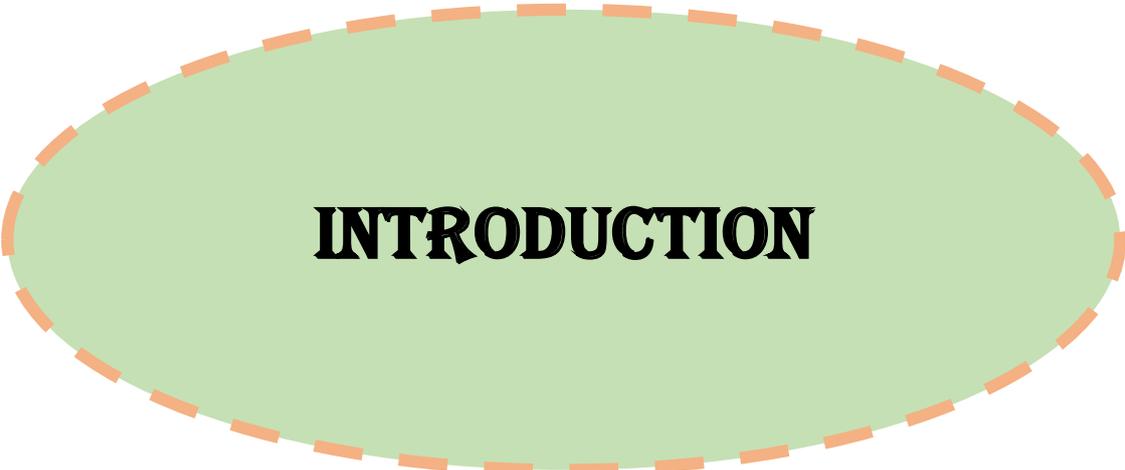
4.1. Objectif de l'étude	30
4.2. Matériels.....	30
4.2.1. Matériel non biologique	30
4.2.2. Matériel biologique	32
4.3. Procédé de préparation de la poudre	33
4.3.1. Lavage, étuvage, broyage	33
4.3.2. Conservation	34
4.4. Essais d'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage	34
4.5. Analyses physicochimiques du produit fini	35
4.5.1. Détermination du pH	35
4.5.2. Détermination de l'extrait sec total.....	35
4.5.3. Détermination de la teneur en matière grasse	37
4.5.4. Détermination du rapport matière grasse/matière sèche	38
4.5.5. Détermination du taux d'humidité.....	38

4.5.6. Détermination de la teneur en protéines.....	39
4.6. Analyses microbiologiques du produit fini et de la poudre d'épinards	40
4.6.1. Préparation des dilutions.....	40
4.6.2. Recherche et dénombrement des <i>streptocoques</i>	40
4.6.3. Recherche et dénombrement des <i>clostridium sulfite réducteurs</i>	41
4.6.4. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes.....	41
4.6.5. Recherche et dénombrement de la flore mésophile totale à 30°C.....	42
4.6.6. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	42
4.6.7. Recherche et dénombrement de <i>salmonella</i>	42
4.6.8. Recherche et dénombrement des <i>staphylocoques</i>	43
4.6.9. Recherche d' <i>Escherichia coli</i>	43
4.7. Analyses sensorielles	44

Chapitre : Résultats et discussion

5.1. Analyse physicochimiques.....	46
5.1.1. Détermination du pH	46
5.1.2 Détermination de l'extrait sec total.....	48
5.1.3. Détermination de la matière grasse.....	49
5.1.4. Détermination du rapport Matière grasse/Matière sèche.....	49
5.1.5. Détermination du taux d'humidité.....	50
5.1.6. Détermination du taux de protéines	52
5.2. Analyses microbiologiques.....	53
5.2.1 La poudre d'épinards.....	53
5.2.2. Produit fini.....	53

5.3. Analyses sensorielles.....	55
Conclusion.....	58
Références bibliographiques	59
Annexe	65



INTRODUCTION

Introduction

Le lait est une denrée riche en nutriments, mais c'est aussi un aliment hautement périssable. Pour le conserver, il est nécessaire de le transformer, notamment en fromage. Ce dernier constitue une forme ancestrale de préservation des protéines, de la matière grasse, ainsi qu'une partie du calcium et du phosphore. Par ailleurs, le fromage a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine et ses qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans toutes les régions du globe (**Boutonnier, 2000 ; Mahaut et al., 2000**). Il existe plusieurs milliers de variétés de fromage dans le monde. Ces variétés peuvent être regroupées en huit grandes familles en fonction de leurs teneurs en eau, en matières grasses et en calcium.

L'Algérie dispose d'un patrimoine culturel très intéressant dans le domaine des fromages et leur marché est en forte croissance depuis de nombreuses années. En 2020, la consommation des fromages a été estimée à 85.000 tonnes/an. Il a été également constaté que les ventes de fromage sont dominées par le fromage fondu, notamment à tartiner, qui représente 79% des volumes de vente. Cette tendance s'explique d'une part par la longue durée de conservation du fromage fondu et d'autre part par son coût abordable et son goût très apprécié par le consommateur algérien (**Des houx, 2020**).

Le fromage fondu est un produit laitier de seconde transformation, mélange d'un ou plusieurs fromages à différents stades d'affinage et d'ingrédients laitiers, fondus ensemble sous l'action de la chaleur pour former une pâte onctueuse. Cette préparation permet une stabilisation bien plus poussée des protéines lactiques, tout en conservant plus ou moins au produit fini l'aspect d'un fromage. Cette technologie permet de garantir une conservation plus longue et offre une grande praticité pour son utilisation (**Boudjerare et Messaoudi, 2018**).

Elle permet ainsi l'exportation du produit dans les pays ne pouvant pas garantir le respect de la chaîne du froid (**Boutonnier, 2000 ; CSA, 2009 ; Richonnet, 2016**). En effet, le fromage fondu, peut se conserver à température ambiante et n'a pas besoin d'une chaîne de froid. De plus, le fromage fondu est un aliment énergétique riche en protéines et en minéraux ; il est digeste et d'une grande sécurité microbiologique.

L'évolution de nos habitudes alimentaires a conduit l'industrie à proposer au consommateur des aliments de plus en plus élaborés qui répondent au mieux à ses besoins sur le plan nutritionnel et organoleptique. Cela, incite les industriels à exploiter les bio-ressources

naturelles locales, notamment les plantes aromatiques et médicinales afin de développer de nouveaux produits alimentaires.

L'épinard (*Spinacia oleracea*) est une plante qui pousse partout dans le monde comme légume à feuilles vertes annuelles de saison fraîche (**Vazquez et al., 2013**). C'est une bonne source de protéines, de fibres et de minéraux, constituant ainsi un ingrédient fonctionnel dans un nouveau produit à hautes valeurs nutritionnelles et biologiques. Les épinards sont une riche source de micronutriments majeurs tels que le fer, le manganèse, le zinc et le magnésium et contiennent également de petites quantités de vitamine E, A, C, K, de folate, de thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et de riboflavine (B2). De plus, c'est une excellente source de fibres alimentaires et a l'avantage supplémentaire d'avoir une faible teneur en calories. L'épinard est présent dans les aliments sous de nombreuses formes telles que cru, en conserve, bouilli, en purée, congelé, déshydraté et cuit (**Slavin et Lloyd, 2012**).

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à la fabrication d'un type de fromage fondu en incorporant différentes proportions de la poudre d'épinards séchée permettant d'améliorer la qualité nutritionnelle de ce produit. La qualité microbiologique, physicochimique et organoleptique de fromage fondu enrichi en poudre d'épinards a également été évaluée.

Le présent travail comporte deux parties :

- ✦ Une partie bibliographique constituée par trois chapitres dédiés aux fromages fondus et à l'épinard.
- ✦ Une partie expérimentale composée de deux chapitres ; le premier est consacré à la présentation du matériel et des méthodes d'analyses physicochimiques et microbiologiques et le deuxième est réservé à la discussion des principaux résultats obtenus.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LE FROMAGE
FONDU

Chapitre I : Généralités sur le fromage fondu

1.1. Historique

Le fromage fondu est un produit laitier moderne, puisqu'il a été inventé en SUISSE vers 1910, par la société GERBER à Thun. En 1911, la société suisse GERBER est la première qui a commercialisé un fromage fondu à base d'emmental. Un procédé inventé par WALTER Gerber et FRITZ Setter permet de transformer la pâte finement granuleuse en une émulsion stable. Le but est d'obtenir des fromages de longue conservation. Avec les dernières années de la grande guerre, commence alors l'industrialisation de ce nouveau type de fromage. Quelques années plus tard (1917), des américains utilisèrent une solution d'un mélange citrates/ ortho phosphates, mélange qui facilitera la fonte du cheddar et permettra un développement important du fromage fondu aux USA. Simultanément, les frères Graf créèrent à Dole la première usine de fabrication de fromage en Europe. Mais ce n'est qu'en 1930 qu'un très grand progrès fut obtenu grâce à l'utilisation de poly phosphates de sodium linéaire ; ces sels de fonte vont permettre de fondre efficacement les fromages à pâte pressées cuites. Ceci est à l'origine du développement important du fromage fondu. Actuellement, le fromage fondu est fabriqué dans le monde entier, dont environ la moitié aux USA. Au sein de l'union Européenne, 70 établissements produisent le fromage fondu selon des techniques ultramodernes. La France produit 105 tonnes dont 50% sont exportées vers 150 pays dans des destinations lointaines telles que le Moyen-Orient, l'Afrique et l'Asie (données 1995) (**Eck et Gillis, 2006**).

1.2. Définition

La dénomination « spécialité fromagère fondue » est réservée au produit laitier, dont la teneur minimale en matière sèche est de 25 grammes pour 100 grammes de produit, préparé à partir de fromage ou d'un mélange de fromages, additionné éventuellement d'autres produits laitiers. Ce produit est obtenu par des techniques de traitement qui incluent la fonte et conduisent à l'émulsifiations des matières premières et doit avoir subi, au cours de sa fabrication, une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison de durée et de température d'effet équivalent (**J.O.R.F., 2007**).

Commercialement, le premier fromage fondu a été développé par Walter Gerber et Fritz Stettler en Suisse en 1911. Dans ce processus, le fromage Emmental naturel a été râpé et

chauffé avec du citrate de sodium comme sel émulsifiant pour produire un produit homogène qui se raffermi sur refroidissement (Oliveira et al., 2011).

1.3. Types du fromage fondu

Les fromages fondus peuvent être regroupés en cinq familles classées ici par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial (Boutonnier, 2000).

1.3.1. Fromage fondu type « bloc »

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

1.3.2. Fromage fondu type « coupe »

Moins ferme que le bloc, il n'en est pas pour autant tartinable. Il contient trois à quatre points de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus agréable à la dégustation. L'élasticité, parfois recherchée, n'est pas toujours souhaitable en raison de la formation de fils qui rendent le conditionnement délicat sur les machines classiques.

1.3.3. Fromage fondu tartinable

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

1.3.4. Fromage fondu toastable (pour refonte)

Il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheeseburgers, les croque-monsieur... Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle, ce qui exige une préservation importante de la structure protéique des matières premières.

1.3.5. Fromage fondu thermostable

A l'inverse du précédent, ce fromage fondu ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Il subit un crémage très poussé et les blocs obtenus sont découpés puis incorporés dans des plats cuisinés à base de légumes ou de poissons.

1.4. Composition et valeurs nutritionnelles

1.4.1. La valeur nutritionnelle

Le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Il apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaires. C'est un excellent moyen d'apporter à notre corps tous les nutriments nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, et vitamines). Comme tous les produits laitiers c'est une source importante de protéine et de calcium. En outre la présence de la matière grasse sous forme bien émulsionnée et des protéines finement dispersées lui confèrent une efficacité nutritionnelle (digestibilité) (**Chérifi et Riane, 2017**).

1.4.2. Composition

Selon (**Gillis et Eck, 1997**), les fromages fondus sont de vrais bâtisseurs de l'organisme avec leurs protéines, sels minéraux, vitamines et éventuellement de la matière grasse.

- **Eau** : L'humidité des fromages étant généralement faible, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange puisque l'on y incorpore des poudres. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire, c'est-à-dire avec une faible teneur en micro-organismes et en contaminants chimiques tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication (**Roustel, Boutonnier, 2015**).
- **Les protéines** : Dans les fromages fondus, les protéines sont apportées par les ingrédients laitiers : lait, fromages et concentrés protéiques principalement. La qualité nutritionnelle de ces protéines laitières repose sur une forte digestibilité (> 95 %) et une composition en acides aminés indispensables particulièrement bien équilibrée permettant de satisfaire les besoins de l'homme (**Debry, 2001**).

De par leur procédé de fabrication, les fromages fondus présentent globalement moins de protéines que les autres fromages : environ 10,2 g pour 100 g contre 22 à 27 g pour les pâtes molles et pâtes pressées non cuites. (Et ce sont majoritairement des caséines) (**Debry, 2001 ; Richonnet, 2016**).

- **Glucides** : Le lait de bovin contient le lactose environ 4.8%, sa concentration dans le lait est indépendant de race (Gerrit, 2003). Les fromages affinés sont pratiquement dépourvus de glucides car la faible quantité de lactose restant dans la caille après égouttage est transformée en acide lactique au cours de l'affinage. Cependant la correction des extraits secs nécessite parfois l'addition de poudre de lait donc de lactose (Gillis et Eck, 1997).
- **Lipides** : Les lipides présents dans les fromages fondus sont exclusivement issus des matières grasses laitières apportées par leurs ingrédients : fromages, lait, beurre, crème ou matière grasse laitière. La composition de la matière grasse des fromages fondus est donc en tout point comparable à la matière grasse laitière. Présentée sous forme bien émulsionnée, sa digestibilité est optimale et elle est caractérisée par sa richesse en acides gras saturés (AGS) : 60-65 % de la totalité des acides gras (Legrand, 2008). Les fromages fondus, surtout dans leurs versions allégées, peuvent être de bons choix puisqu'ils apportent environ 22 % de matières grasses, ou 15 % dans les versions allégées, contre 26 % pour les pâtes molles et 28 % pour les pâtes pressées (Richonnet, 2016).
- **Vitamines** : Les produits laitiers sont des sources riches en vitamines, notamment, certains produits laitiers fermentés, comme les fromages, sont une source valable de la vitamine K les vitamines liposolubles telles que les vitamines A, D, E et K. Le teneur des fromages en vitamines liposolubles essentiellement vitamine A et D accessoirement vitamine E est directement liée à la richesse de ces derniers en lipide (Maria, 2007).
- **Composition minérale** :
 - ❖ Sodium est apporté au fromage sous forme de chlorure de sodium. Ce dernier intervient pour relever la saveur du fromage. On l'utilise aussi pour limiter la prolifération de certaines moisissures indésirables et pour régler l'humidité. Une partie du sodium de fromage fondu provient des sels de fonte, notamment du poly phosphate de sodium (Gillis et Eck, 1997).
 - ❖ Le calcium des fromages est bien assimilé par l'organisme humain en raison des proportions respectives de calcium et de phosphore qu'ils apportent et de la présence concomitante de protéines qui en favorisent l'absorption intestinale. Le taux de calcium varie en fonction de la teneur en eau et du mode de fabrication (le fromage fondu < 150 mg pour 100 g de produit). Le calcium présent dans les fromages fondus est issu des fromages, et du lait mis en œuvre mais aussi parfois de vecteurs d'enrichissement

comme les concentrés calciques laitiers ou du phosphate de calcium employés pour enrichir ces fromages en calcium (Crédoc, 2013 ; Fredot, 2006).

- ❖ Le phosphore est : Dans les fromages fondus, l'ajout de sels de fonte de type phosphate (poly phosphate de sodium, pyrophosphate de sodium. . .) qui contiennent environ 25 % de phosphore induit une élévation des teneurs en phosphore et un rapport Calcium/Phosphore moins satisfaisant, Il faut donc préférer les fromages fondus avec un taux de calcium optimal et dont les sels de fonte, surtout ceux de type poly phosphate sont réduits (Richonnet, 2016).
- ❖ Le potassium, le magnésium et les oligoéléments se trouve dans le fromage particulièrement le fondu sous formes de traces. Sa teneur est en générale inférieure à 150 g ce qui correspond à la teneur du lait (Fredot, 2006).

Tableau 1 : Composition du fromage fondu (Meyer, 1973).

Composants	Composition par 100g de fromage fondu	
	45 % MG dans ES	60 % MG dans ES
Eau	51.3%	50.6%
Matière grasse	23.6%	30.4%
Protéines	14.4%	13.2%
Sodium	1.26 mg	1.01 mg
Calcium	54.7 mg	355.0 mg
Potassium	65.0 mg	108 mg
Phosphore	944.0 mg	795 mg
Vitamine A	0.30 mg	/
Vitamine D	3.13 g	/
Vitamine B1	34.0 g	/
Vitamine B2	0.38 g	/
Vitamine B6	70.0 g	80.0 g
Biotine	3.60 g	2.80 g
Acide folique	3.46 g	3.40 g
Vitamine B12	0.25 g	0.25 g
Vitamine C	Traces	Traces
Valeur énergétique	1178/282	1490/339

1.5. Enrichissement du fromage fondu en micronutriments

L'enrichissement du fromage fondu améliore correctement les caractéristiques nutritionnelles ou technologiques du fromage. Il se fait par l'ajout de composés primaires ou secondaires issus de la chaîne de production agroalimentaire. L'utilisation de sous-produits végétaux encourage l'économie circulaire, générant une classe de composés éco-durables et favorables à la santé des consommateurs. Des composés organiques d'intérêt résultent de l'activité de micro-organismes probiotiques, offrant des micronutriments pour « enrichir » le profil du fromage exalté donc amélioré les profils nutritionnels et sensoriels des fromages. L'examen considère la matière fromagère comme un conducteur et un transporteur d'éléments et de composés organiques comme les vitamines, les caroténoïdes, les polyphénols et les acides gras essentiels (Picciotti ,2021).

- **Les vitamines :** Ont différents rôles en tant que cofacteurs du métabolisme et interagissent avec le transport de l'oxygène. Le lait contient des vitamines hydrosolubles : B1 (thiamine – $C_{12}H_{17}N_4OS^+$), B2 (riboflavine – $C_{17}H_{20}N_4O_6$), B3 (niacine – $C_6H_5NO_2$), B5 (acide panothénique – $C_9H_{17}NO_5$), B6 (pyridoxine – $C_8H_{11}NO_3$), B9 (acide folique – $C_{19}H_{19}N_7O_6$), B12 (cobalamine – $C_{63}H_{88}CoN_{14}O_{14}P$) et C (acide ascorbique – $C_6H_8O_6$).

Parmi ceux-ci, le lait contient en petites quantités de B3, B5, B6, B9 et C, et des petites quantités de vitamines E et K et n'est pas considéré comme une source dans l'alimentation. L'enrichissement en vitamines doit restaurer les niveaux naturels avant les pertes lors de la transformation, en ajoutant des vitamines à des concentrations plus élevées, et doit intégrer celles qui ne sont pas contenues. La vitamine D est l'enrichissant le plus courant pour le fromage. Les vitamines A, C et E sont également répandues dans différentes industries alimentaires. Les C et E ont des effets stabilisateurs de graisse et peuvent être incorporés dans le fromage Bien que l'enrichissement du lait soit considéré comme bénéfique, les A et D peuvent être toxiques s'ils sont consommés en grande quantité. Le D est difficile à obtenir à partir de l'alimentation car il n'est pas naturellement présent dans les aliments. Le processus de fabrication du fromage entraîne la perte de D par rapport à la concentration initiale ajoutée au lait. Par exemple, la production de Cheddar entraîne une faible perte de D (3 % - 5 %) par la synérèse. La dégradation du D dépend de la forme physique utilisée. Le cheddar fortifié avec D3

perd 7 % s'il est utilisé sous forme cristalline après seulement trois mois de vieillissement.

(**Banville et al., 2000**) ont signalé une diminution similaire du Cheddar vieilli sept mois. Au contraire,

(**Upreti et al., 2002**) n'indiquent aucune perte de D3 dans le fromage fondu après neuf mois d'affinage. L'homogénéisation de D dans la matrice fromagère et la disponibilité limitée d'émulsifiants sont des défis importants lors du développement d'aliments enrichis stables. Par conséquent, la micro encapsulation est indispensable pour préserver la fonctionnalité de la vitamine D : stabilité élevée contre les contraintes mécaniques et photochimiques, meilleure biodisponibilité orale et propriétés organoleptiques améliorées. L'enrichissement du lait en vitamine D est facultatif, mais c'est l'un des fortifiants les plus utilisés dans les fromages. Les vitamines liposolubles A, D et E présentent une excellente stabilité à la chaleur et ne se dégradent pas avec le temps. L'enrichissement avec A et E offre une meilleure prévention de la peroxydation lipidique pendant les trois mois de vieillissement du cheddar. Le cheddar conserve A (75 %) et E (66 %) ajoutés au lait cru et sans hydrocolloïdes. Après l'ajout de lécithine, la rétention des vitamines A et E augmente de 15 % et 26 % respectivement. (**Picciotti, 2021**).

- **Les caroténoïdes** : Seuls les plantes, les algues et les bactéries synthétisent les caroténoïdes, au lieu des animaux, et les humains doivent donc les obtenir à partir de l'alimentation. Seuls six caroténoïdes sont les plus importants pour l'alimentation humaine : les caroténoïdes de provitamine A tels que l' α -carotène (C₄₀H₅₆) et la β -cryptoxanthine (C₄₀H₅₆O), et les caroténoïdes sans provitamine A tels que la lutéine (C₄₀H₅₆O₂), la zéaxanthine (C₄₀H₅₆O₂), et lycopène (C₄₀H₅₆). Les formes de caroténoïdes les plus courantes utilisées dans les applications alimentaires sont l'huile ou la poudre, selon la matrice. L'application de la forme huileuse se produit dans les aliments contenant des matières grasses, comme le lait, le yaourt et le fromage. Cependant, l'utilisation de la forme en poudre se produit dans les boissons et les aliments contenant peu ou pas de matières grasses.

Le dosage des caroténoïdes dépend de la couleur recherchée et de l'indication d'aliment fortifié santé. Les fromages enrichis en lutéine permettent l'apport quotidien minimum suggéré de caroténoïdes et constituent un traitement à petit budget pour la prévention des maladies liées au stress oxydatif. La lutéine utilisée n'a aucun effet sur le pH, le profil sensoriel et la palatabilité du fromage pendant le processus de vieillissement. Et

le rend plus sain. Le fromage à la crème enrichi en lutéine conserve les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles inchangées jusqu'à six semaines de durée de conservation avec l'emballage ouvert (**Picciotti ,2021**).

- **Les polyphénols :** Les polyphénols sont des composés naturels synthétisés par les plantes, avec des caractéristiques chimiques relatives aux substances phénoliques. Les polyphénols sont triés en flavonoïdes et non-flavonoïdes ou se divisent en sous-classes en fonction du nombre d'unités phénoliques.
 - Les flavonoïdes sont subdivisés en sous-classes : les flavonols, les flavones et les isoflavones, les anthocyanidines et les anthocyanes.
 - Les composés non flavonoïdes comprennent les acides phénoliques, les stilbènes et les lignanes.

Les polyphénols représentent les principaux antioxydants de l'alimentation humaine ; de plus, ils ont des propriétés bioactives et nutraceutiques. Les composés polyphénoliques, présents ou ajoutés dans les aliments, exercent également une action antioxydante contre l'oxydation des lipides présents dans la matrice fromagère. Les propriétés antioxydantes et non antioxydantes peuvent contribuer aux effets vasodilatateurs, anticancérogènes, antiinflammatoires et immunomodulateurs. La structure caillée des fromages permet un fort taux de récupération des polyphénols. Les fortifications avec eux augmentent la propriété antioxydante du fromage. Les polyphénols peuvent interagir avec les protéines. Les protéines se lient aux polyphénols et sont souvent associées aux caractéristiques sensorielles des fromages, telles que les couleurs, les saveurs et les arômes typiques. Les polyphénols interagissent également avec les glucides et les lipides, influençant le profil nutritionnel global du fromage. Les aliments enrichis en polyphénols prennent souvent des goûts amers et astringents et peuvent inhiber l'action de certaines enzymes digestives, réduisant ainsi sa digestibilité et ses valeurs nutritionnelles. Si les polyphénols atteignent intacts le tractus intestinal, ils peuvent également interagir avec les protéines et les peptides intestinaux et contribuer à l'auto-immunité. Les polyphénols réduisent la capacité d'hydratation du filet de caillé, au niveau textural et technologique, influençant ainsi également la fermeté en agissant sur le pH, la teneur en calcium soluble ou la teneur en humidité, influençant la résistance du caillé. En règle générale, Les extraits de plantes sont des préparations de matières séchées. Les plantes et les extraits de plantes contiennent une multitude de composés. Habituellement, la composition de tous les composés actifs est inconnue et il est difficile de réguler l'effet sur la matrice du fromage. La couleur des

produits alimentaires contenant ces extraits peut s'assombrir pendant le stockage, en raison de l'oxydation. Par conséquent, l'enrichissement en polyphénols est réalisable en utilisant les technologies de microencapsulations. (Picciotti, 2021).

- **Acides gras polyinsaturés et acide linoléique conjugué** : L'enrichissement du fromage en AGPI se fait en les incorporant lors de la fabrication du fromage. Le seul inconvénient associé aux acides gras est la saveur de poisson des produits enrichis, ce qui limite leur concentration dans le produit. Ces acides gras hautement insaturés ont tendance à s'oxyder, générant des arômes caractéristiques d'oxydation, de rancissement ou de poisson. Le « fromage design » est fondamental lorsqu'il s'agit d'éléments fortifiants, c'est-à-dire les AGPI, qui modifient considérablement le profil aromatique et sensoriel du produit fini. L'utilisation de la microencapsulation est un moyen de masquer les caractéristiques sensorielles indésirables et de protéger les acides gras polyinsaturés pendant leur traitement.

Dans l'enrichissement, les ingrédients fonctionnels lipophiles tels que l'ALC et les AGPI sont difficiles à incorporer car hydrophobes. Par conséquent, dans les systèmes aqueux, il est préférable d'ajouter le produit en émulsion. De plus, il est nécessaire d'homogénéiser le lait enrichi avant la fabrication du fromage, pour obtenir une répartition homogène et une stabilisation des acides gras. Les conditions normales de traitement, telles que la pasteurisation, l'UHT et autres, n'affectent pas les propriétés des ingrédients.

L'enrichissement du cheddar avec de faibles quantités d'acides gras ω -3 (18–32 mg/portion) ne produit pas de mauvais goût. En effet, des niveaux plus élevés d'enrichissement du Cheddar avec ω -3 (71 mg/portion) conduisent au développement de mauvais goûts déjà après six mois de vieillissement. Le cheddar faible en gras, enrichi en ω -3, maintient le profil aromatique constant s'il est vieilli pendant au moins trois mois.

Dans le fromage à la crème fortifié en ALC conservé à 4°C pendant dix semaines, les ALC (C 18 :2 cis-9, trans-11 ALC et C 18 :2 cis-10, trans-12 A) ont diminué progressivement jusqu'à leur perte. Ces réductions sont attribuables à la chaleur du processus et à la croissance microbienne excessive pendant le stockage (Picciotti, 2021).

1.6. Contexte économique du fromage fondu

1.6.1. Dans le monde

Les États-Unis sont les premiers producteurs mondiaux de fromage fondu avec 919 773 tonnes en 2013. L'Europe en produit chaque année plus de 660 000 tonnes et les deux autres pays du tiercé de tête sont l'Allemagne (170 950 T en 2013) et la France (138 640 T en 2013), suivi du Japon et de l'Australie.

La France est le premier pays consommateur de fromages en Europe avec une moyenne de 26,2 kg de fromages par habitant et 98 % de consommateurs adultes.

Pourtant, la consommation de fromage fondu en France n'est que de 1 kg par an et par habitant contre 2,4 pour l'Allemagne et 2,1 pour les pays de l'Europe du Nord et de l'Est. Elle reste donc marginale dans ce pays à forte tradition fromagère, ce qui explique que plus de la moitié de la production française soit exportée vers 130 destinations lointaines comme l'Afrique, l'Asie et le Moyen-Orient (**Richonnet, 2016**).

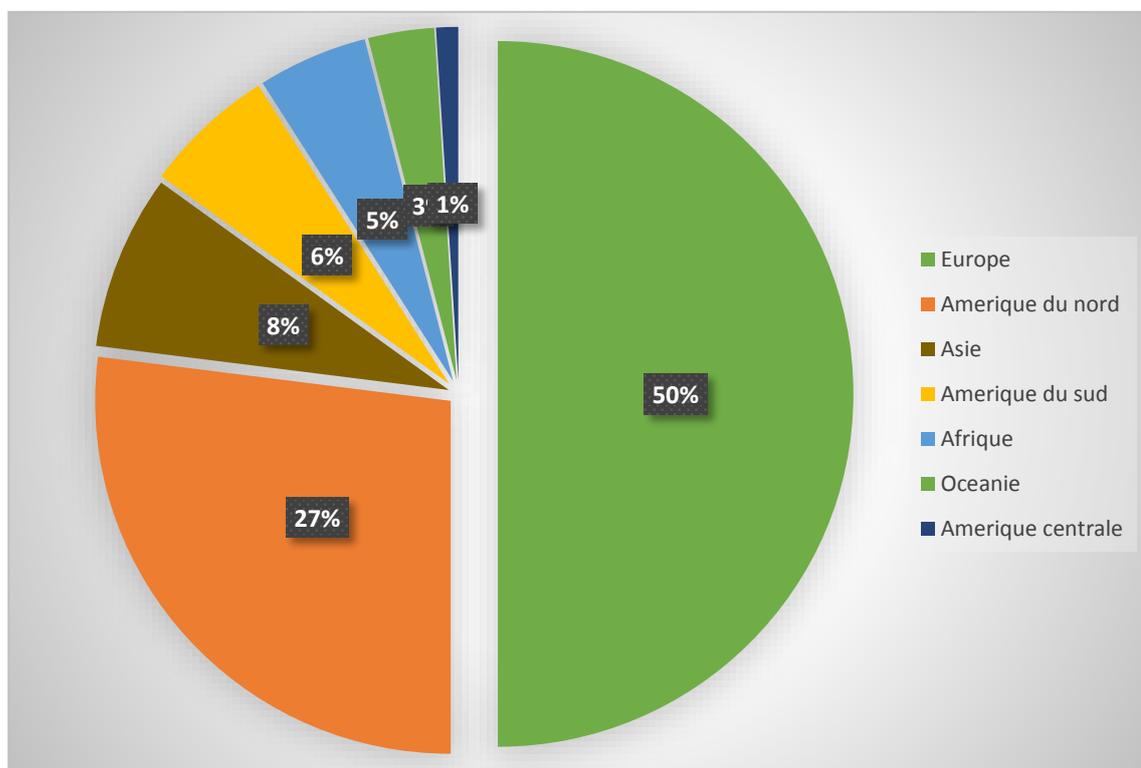


Figure 01 : Principaux producteurs mondiaux de fromage fondus.

1.6.2. En Algérie

L'Algérie est un pays importateur des fromages. L'évolution des importations des fromages a enregistré un taux de 75 % entre 1995 et 1998. Ceci montre que la production des fromages en Algérie était faible et n'arrivait pas à satisfaire les besoins du marché algérien (**Padilla. Et Gheresi. 2001**).

Les principaux producteurs de fromages à pâtes molles en Algérie sont représentés par Beni Tamou(Président), Safilait, Sidi Saada (Trèfle). Par contre les producteurs de fromages frais sont Lactalis, Soummam, Danone et Hodna. La vache quirit est le leader incontesté du marché des fondus devant Algérie Crème/La Jeune Vache, Priplait/ Ikil, Falait/Tartino, Goumidi-O'Kids, Lactalis/Alvita,... Parallèlement, l'Algérie importe 6000 t/an de Maasdam (portionné et emballé en Algérie), 3 000 t/an de Kiri venant de Pologne, et très peu de spécialités de France, du Danemark et d'Italie (**Recham, 2015**).

Tableau 2 : Evolution des importations des fromages en Algérie entre 1995 et 1998 (en tonnes) (**Padilla, et Gheresi, 2001**).

1995	1996	1997	1998	Evolution 98/95	
				En volume	En %
9051	12260	16733	15862	6811	75

CHAPITRE II :
TECHNOLOGIE DE FABRICATION ET
CONTROLE DE LA QUALITE DU
FROMAGE FONDU

Chapitre II : Technologie de fabrication et contrôle de la qualité du fromage fondu

2.1. Ingrédients du fromage fondu

2.1.1. Les matières premières laitières

Les matières premières utilisées dans la fabrication du fromage fondu sont :

Les Fromages : Forment le principal ingrédient utilisé dans la fabrication des fromages fondus. Cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressées peuvent être utilisés pour leur aptitude à la fonte liée à leur minéralisation importante (**Chambre et Daurelles, 1997 ; Boutonnier, 2000 ; Fox et al, 2000 ; Roustel et Boutonnier, 2015**).

Dans certains pays, la fabrication du fromage fondu est faite à partir d'une seule variété de fromage à différents degrés d'affinage, parmi les plus utilisés, nous observons :

- Le cheddar aux USA, et en Australie.
- Le gruyère et la mozzarella aux USA et au Canada.
- L'emmental en Europe occidentale.

Il faut savoir qu'il est impossible de fabriquer de bons fromages fondus avec de mauvaises matières premières fromagères. Le fromage destiné à la fonte est choisi dont les critères suivants : le type, la saveur, la maturité, la composition, la texture, le pH et enfin, le prix (**Luquet, 1985**).

La poudre de lait : C'est un produit laitier obtenu à partir d'un lait cru, ayant subi une déshydratation par la chaleur (180°C) ; permettant ainsi une longue conservation. La durée de conservation est environ 3 ans pour la poudre de lait écrémé, tandis qu'elle est de 6 mois maximum pour la poudre de lait entier (**Carole et Vignola, 2002**).

En réparti les poudres de lait en trois groupes :

- La poudre de lait entier (26% de matière grasse).
- La poudre de lait demi-entier (22% de matière grasse).
- La poudre de lait écrémé (0% de matière grasse).

Caséine : son importance est primordiale pour la fabrication et son appréciation analytique est laborieuse : il s'agit de la teneur en caséine intacte, c'est-à-dire la caséine capable de constituer un réseau protéique et de participer activement au crémage de la pâte. Cette teneur en caséine active est représentée par la teneur en caséine relative, exprimée par le rapport massique de l'azote de la caséine sur l'azote total.

Matières grasses : (Chambre et al. 2004) ont indiqué que le fondeur utilise généralement du beurre doux ou salé pour ajuster la teneur en matière grasse du produit. Selon les disponibilités il peut utiliser, de la matière grasse laitière anhydre (MGLA). Ces matières grasses sont indispensables quand on utilise dans la formule des produits maigres tels que les caséines et les poudres de lait.

2.1.2. Matières premières non laitières

- **Eau** : L'humidité des fromages étant généralement faible, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange puisque l'on y incorpore des poudres. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire, c'est-à-dire avec une faible teneur en microorganismes et en contaminants chimiques tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication (**Roustel et Boutonnier, 2015**).
- **Les sels de fonte** : Ce sont des additifs de base employés dans la fabrication des fromages fondus. Ils permettent la réalisation du processus de la fonte et agissent comme émulsifiants permettant de donner au produit fini une texture homogène et coulante. Leur absence entraîne après arrêt du brassage la séparation de la caséine (**Luquet, 1985**).

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication de fromage fondu sont : les sels de sodium, de l'acide phosphorique et l'acide citrique (**Eck, 1987**).

2.2. Procédé de fabrication du fromage fondu

2.2.1. Sélection des matières premières

Matières premières laitières

Pour un bon fromage fondu il faut choisir des ingrédients de bonne qualité : la poudre de lait, le lactosérum, le lactose, les caséines, les protéines de sérum, la crème, le beurre et matière grasse laitière anhydre. (**Boutonnier, 2000 ; Fox, 2000 ; Tamime, 2011**).

✚ Matières premières non laitières

L'eau permet de dissoudre et de disperser les protéines et d'émulsionner les graisses libres ; les sels de l'acide phosphorique et de l'acide citrique et les additifs alimentaires comme les agents de sapidité, les sels émulsifiants, les colorants, les agents de texture et les conservateurs (**Boutonnier, 2000 ; Commission du codex Alimentarius, 2016**).

2.2.2. Mélange, cuisson et fonte

Les ingrédients peuvent être mélangés dans un cutter-cuiseur, un pétrin-cuiseur ou un mélangeur en fonction de la taille de la ligne de production. À ce stade, de l'eau peut être ajoutée afin d'ajuster l'extrait sec, et donc la texture de la pâte. Les sels de fonte sont également ajoutés à cette étape pour assurer l'homogénéité de la pâte en désagrégeant le système protéique et réorganisant les chaînes protéiques en présence d'eau, suivi d'une cuisson à une température d'au moins 70 °C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison équivalente (**Richonnet, 2016**).

2.2.3. Stabilisation thermique de la pâte

Elle se fait par pasteurisation ou stérilisation (upérisation qui consiste en une injection de vapeur dans la pâte fondue liquide) à des températures qui s'échelonnent de 70 °C pour des produits finis à pouvoir de refonte élevé jusqu'à 140°. Pour des fromages fondus tartinables, suivi d'un refroidissement par détente directe du mélange dans une cuve sous vide partiel (**Richonnet, 2016**).

2.2.4. Crémage pour ajustement de la consistance

Après la fonte et la stérilisation, la pâte a perdu sa texture. Pour obtenir une consistance tartinable, l'étape de Crémage permet un épaississement du produit en contrôlant la gélification des protéines, c'est-à-dire leur restructuration partielle en réseau tridimensionnel. Elle est réalisée dans une cuve de Crémage possédant un système d'agitation à 85 °C pendant 10 à 20 minutes (**Richonnet, 2016**).

2.2.5. Conditionnement

Mises à part quelques exceptions comme les tranches ou les fromages fondus décorés, le transport de la pâte fondue exige que la température de pasteurisation soit maintenue depuis le cutter ou la cuve de crémage jusqu'au conditionnement, de manière à éviter toute contamination s'effectue dans une feuille d'aluminium vernissée sur les deux faces. Le point de scellage se situe entre 60 et 75°C, ce qui permet d'utiliser dans certains cas la seule chaleur du fromage fondu comme énergie de scellage (**Roustel et Boutonnier, 2015**).

2.2.6. Refroidissement

Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement non enzymatique de la pâte dû aux réactions de Maillard, grâce à des tunnels de refroidissement qui se fait par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus avec des tunnels de refroidissement. Le mode et le temps de cette phase varie selon le format, le type du produit et son système d'emballage. C'est dans cette phase que se produit la gélification (le réseau protéique va continuer sa structuration pour former un gel qui va enfermer la matière grasse émulsionnée et l'eau d'hydratation) (**Richonnet, 2016**).

2.2.7. Stockage et commercialisation

Le fromage fondu est apparenté aux conserves et semi-conserve. Sa durée de vie est de plusieurs mois à basse température, l'idéal se situe entre 8°C et 12°C.

- Il faut éviter l'écrasement par surplus et le mouillage.
- Il faut éviter aussi l'exposition au soleil et le stockage à des températures trop élevées.
- Eviter surtout le brusque changement de température, notamment le passage du froid au chaud ce qui provoque des condensations dégrader spécialement les emballages en cartons (**Ghezali et al., 2016**).

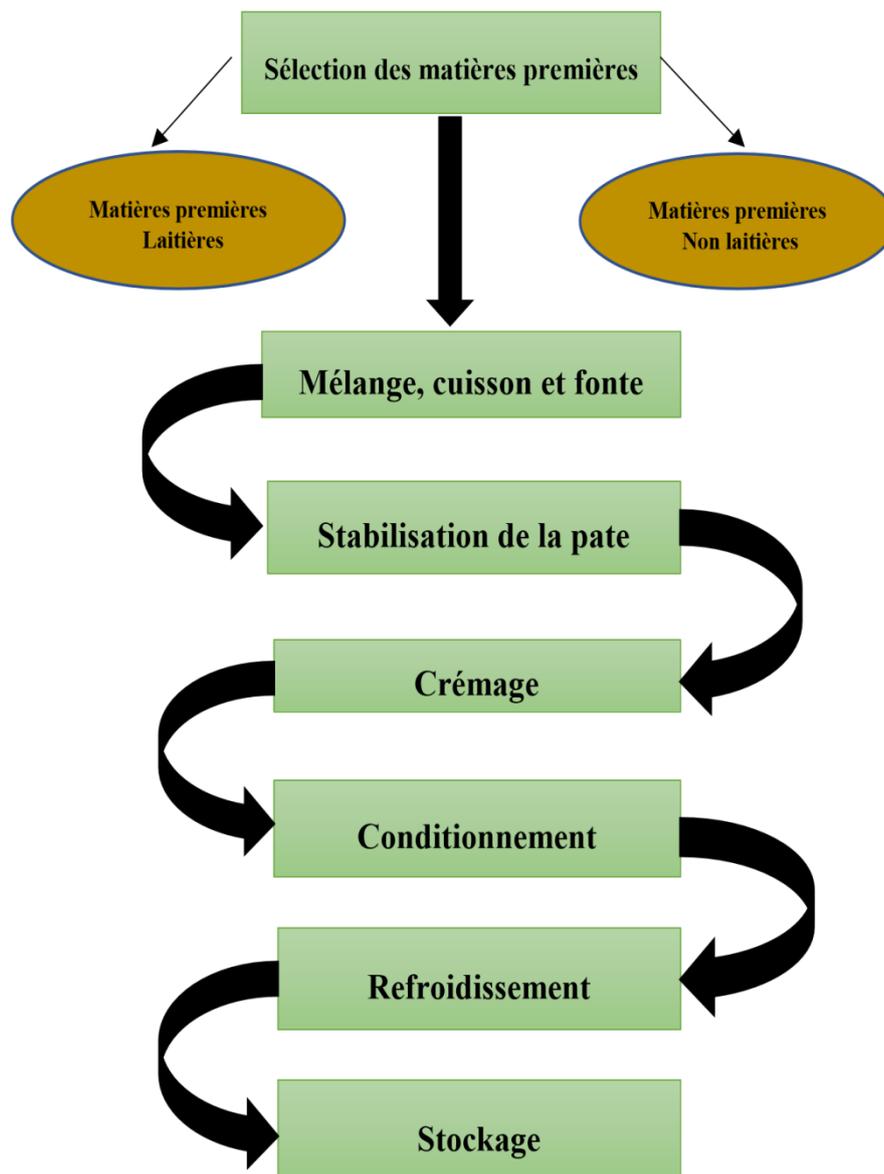


Figure 02 : Diagramme du procédé de fabrication de fromage fondu selon (FALAIT).

2.3. Biochimie de la fonte

- **Fonte proprement dite**

L'opération de fonte consiste en un broyage, malaxage, traitement thermique et épaissement éventuel d'un mélange de matières premières afin d'obtenir une pâte homogène stable chimiquement et microbiologiquement sur une durée plus ou moins longue pouvant aller de 3 à 12 mois.

En terme biochimique, la fonte se caractérise par l'obtention d'une émulsion aussi stable que possible, selon deux étapes indispensables : la peptisation et l'émulsification. Une

troisième étape, dénommée Crémage, peut succéder aux précédentes, elle permet la formation d'interactions inter et intra protéique complémentaires.

- **La peptisation**

Elle correspond à la phase de déstructuration de la masse protéique initiale issue des matières premières fromagères et laitières (**Lee, 1981**). Cette étape est indispensable pour obtenir, après action du traitement thermique, un mélange homogène caractéristique des fromages fondus.

Cette déstructuration nécessite l'utilisation de sels de fonte qui, en séquestrant le calcium lié aux protéines, permettent la transformation de la caséine en paracaséinate de sodium hydratable et stable au traitement thermique. Le rôle des minéraux est essentiel lors de cette étape.

- **L'émulsification**

Sous l'action de la chaleur et de l'action mécanique, la matière grasse est dispersée en fines gouttelettes dans la phase aqueuse protéique constituant ainsi une émulsion stable. Les fines gouttelettes de matière grasse sont stabilisées par une interface protéique et réparties dans un milieu plus ou moins visqueux qui contribue à la stabilité du système.

Cette étape est essentielle pour les fromages fondus à tartiner en portion. En effet, leur texture crémeuse suppose une déstructuration (peptisation) poussée, contrairement aux fromages fondus en tranche ou en bloc. Bien que peu visqueux, ces produits sont des gels. En effet Contrairement aux fromages fondus en barquettes qui ne s'écoulent spontanément, les portions doivent conserver leur forme au stockage.

Le phénomène de Krémage est beaucoup moins étudié que la peptisation, aussi, l'implication des minéraux dans le phénomène reste largement méconnu. Néanmoins, (**Marchesseau et al.**) ont établi que le gel formé grâce à la phase de krémage pouvait être fortement déstructuré lors d'une dispersion dans une solution de dodécyl sulfate de sodium (SDS) alors que l'EDTA (un chélatant puissant du calcium) ne permettait qu'une dissociation légère. On peut en déduire que le calcium et les ions divalents en général ne sont pas les agents prépondérants de la restructuration. Par contre ces mêmes auteurs (**Marchesseau et al.**) établissent que le pH est un facteur clef du phénomène avec un optimum entre pH 5.7 et pH 6.0 et que de faibles changements de force ionique et de composition en ion modifiaient significativement l'organisation du gel. Ainsi, ils montrent que la solubilisation d'un fromage

fondus dans des solutions salines de concentration croissante conduit, dans le cas de l'ajout de chlorure de sodium à une forte solubilisation des protéines alors que dans celui du CaCl₂ pour une même élévation de la force ionique, elle provoque au contraire une sédimentation (**Benoit, 2020**).

2.4. Le contrôle physico-chimique

Ces contrôles ont pour but de vérifier la qualité intrinsèque du fromage en se basant sur les mesures de certaines caractéristiques notamment l'extrait sec totale (EST), la matière grasse (MG), le rapport de la matière grasse sur l'extrait sec (MG/EST) et la mesure du pH...des matières premières usagées y compris le produit fini, pour la comparer aux normes exigées et en cas d'anomalie (les défauts décelables lors de la fabrication) faire une correction.

2.5. Le contrôle microbiologique

La qualité microbiologique d'un produit alimentaire en globe deux aspects :

- La qualité hygiénique qui vise la santé de consommateur, cette qualité est refusable lorsque le produit contient de la toxine ou lorsqu'il présente des microorganismes pathogènes.
- La qualité marchande, strictement liée à la qualité sensorielle, elle est garantie lorsque le produit est exempt de tout micro-organisme d'altération (**Bourgeois et leveau, 1980**).

Ce type de contrôle vise :

- ✓ D'une part à vérifier l'absence des pathogènes et l'éventuelle présence de nombre limite de micro-organismes indicateurs d'hygiène.
- ✓ D'autre part à contrôler l'absence de germes ayant des incidences technologiques défavorables (**Magri et al., 2016**).

Il s'agit des spores, des levures, ainsi des microorganismes tels que les coliformes, staphylocoques, salmonelles.

2.6. Le contrôle organoleptique

Les caractéristiques organoleptiques sont un critère important d'acceptabilité de l'aliment pour le consommateur. L'aspect d'un fromage, sa couleur, son odeur, sa consistance, son goût, son parfum stimulent le sens de la vue de l'œil, de toucher, de l'odorat et du goût et provoquent des réactions plus ou moins vives de l'acceptation ou du rejet.

Les qualités organoleptique, physico-chimique et microbiologique des fromages fondus sont assurées par la mise en place de contrôles qualité sévère tout au long de la ligne de production et dès l'amont, sur les matières premières. Le respect des conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication permet d'obtenir un produit de bonne conservation d'une durée comprise entre 06 mois et 1 an (**Richonnet, 2016**).

Divers outils sont à la disposition des opérateurs pour leur permettre de répondre à la qualité attendue. Il existe des guides de bonnes pratiques fromagères et même une méthode reconnue d'identification et de contrôle des risques liés à une telle production, cette méthode est HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point). Toutes les industries agroalimentaires mettent en place des plans HACCP qui visent à garantir la sécurité sanitaire des aliments tels que le fromage (**Zeller, 2005**).

2.7. Principaux défauts rencontrés lors du procédé de fabrication

La qualité d'un fromage fondu est affectée par des facteurs liés à la formulation et au procédées de fabrication. C'est ainsi que de très légers écarts dans la mise en œuvre peuvent avoir des conséquences significatives. Celles-ci peuvent se traduire par la survenue de défauts observables d'étape de fonte ou après un certain temps de stockage. La nature des matières premières et les ingrédients si la cause la plus fréquent de ces défauts. Les paramètres liés au procédé, notamment les éléments mécaniques, chimiques et thermiques il ne faut pas oublier (**Roustel et Boutonnier, 2015**).

De nombreuses défauts peuvent être décelées lors de la fabrication ou bien avant le conditionnement. Le fromage fondu peut présenter différents types de défauts (microbiens, chimiques, physiques, fonctionnels). Il est possible d'identifier les défauts suivant (**Thierry, 2012**).

2.7.1. Les défauts d'origine physico-chimique

La pâte peut présenter un aspect grumeleux (et se décolle des parois par morceaux) : Ce défaut est souvent résultant à une pâte trop acide, ou un processus de fonte partiel (manque de chauffage pendant le processus de fonte, dose insuffisante de sels de fonte).

La pâte reste liquide : Ce défaut peut résulter de plusieurs facteurs, dont le manque d'aptitude à crémifier de la matière première, l'emploi d'un sel de fonte peu crémant, une teneur

en eau trop élevée, l'emploi d'une préfonte non ajustée, une durée de fonte trop courte qui n'a pas permis une peptisation satisfaisante.

La pâte destinée au fromage fondu à tartiner fait des fils : Ce défaut résulte principalement d'une interaction protéine-protéine très forte, l'effet d'un processus de fonte incomplet (dose insuffisante de sels de fonte ou de sels peu crémant, taux de cisaillement faible et limité dans le temps, matière première jeune et très minéralisée) (**Roussel et Boutonnier, 2015**).

Off flavors : liés à l'oxydation de la matière grasse contenue dans le fromage tel que le beurre (**Luquet, 1985**).

Brunissement non enzymatique de la pâte : dû aux réactions de Maillard (**Richonnet, 2016**) (Lactose et acides aminés), habituellement lors de l'utilisation des fromages très jeunes ou des produits de lactosérum (**Chaiti et Zermane, 2019**).

2.7.2 Les défauts d'origine microbiologique

Parmi les défauts les plus répandus d'origine microbienne : Présence d'ouvertures (trous dans la pâte du fromage fondu) due au développement bactérien (*Clostridium*, coliformes...), changements physiques (présence de l'air, CO₂ produit par le mélange du citrate) et changements chimiques (hydrogène résultant de la réaction entre le fromage fondu et le papier aluminium) (**Chaiti et Zermane, 2019**).

Le gonflement du fromage fondu est un accident de fabrication particulièrement grave qui se traduit par la présence de nombreux yeux dans le fromage, principalement près de la surface. Les germes responsables sont divers. Assez rarement il s'agit des bactéries coliformes ou levures, gênées par l'absence de lactose.

Le fromage fondu peut être aussi recontaminé au moment du conditionnement (Coliformes, levures, moisissures) ou après conditionnement, par suite d'un défaut dans l'étanchéité de l'emballage (**Benamara, 2017**).

2.7.3. Défauts fonctionnels

Il existe d'autres défauts également tels les défauts fonctionnels qui peuvent être définis comme l'incapacité des fromages à présenter les propriétés d'usages pour lesquels ils ont été fabriqués. Ces défauts englobent leurs propriétés lors de leur découpe, fragmentation (fermeté,

collant, texture friable ou fragile, etc.), leur comportement à la fonte (étalement, filant, coloration, exsudation de matière grasse...), et leur durée de conservation (**Roustel et Boutonnier, 2000**).

CHAPITRE III :
MONOGRAPHIE DE L'EPINARD

Chapitre III : Monographie de l'épinard

3.1. Description botanique

- Nom scientifique (latin) : *Spinacia oleracea*
- Nom vulgaire français : épinard
- Nom vulgaire anglais : Spinach
- Famille : Chénopodiacées
- Groupe : foliacées

Selon (Munro et Small, 1998) et (Agraphidetal., 1999), l'épinard est une plante herbacée annuelle, aujourd'hui cultivée dans toutes les régions tempérées du monde. Il est très reconnaissable à ses longues feuilles vertes, frisées ou plates selon les variétés (Lacoste, 2014).

L'épinard appartient à la famille des chénopodiacées qui regroupe des légumes cultivés pour la consommation de leurs feuilles comme l'épinard, les cardes, ou de leur racine comme la betterave potagère (Figure 03).



Figure 03 : Photo de *Spinacia oleracea* (Anonyme 01)

3.2. Composition chimique des épinards

Le tableau suivant représente les valeurs nutritionnelles dans 100g d'épinards

Tableau 03 : Valeurs nutritionnelles pour 100g d'épinards (anonyme 02).

Eléments	Valeurs
Energies	23kCal
Protéines	2,86g
Lipides	0,39g
Glucides	3,63g
Fibres	2,2g
Eau	91,4g
Potassium	558mg
Phosphore	49mg
Calcium	99mg
Sodium	79mg
Magnésium	79mg
Fer	2,71mg
Zinc	0,53mg
Cuivre	0,13mg

3.3. Classification

La classification botanique de *Spinacia oleracea* est représenté dans le tableau suivant

Tableau 04 : Classification du *Spinacia oleracea* (anonyme 03).

Règne	Plantae
Espèce	<i>Spinacia oleracea</i>
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	Spinacia
Division	Magnoliophyta

3.4. Origine et répartition géographique

Selon (Boullard, 2001), l'épinard est une plante dressée, à tige creusée-sillonnée. Ses feuilles alternes, entières, sont pétiolées et sagittées. Les fleurs sont unisexuées. L'épinard forme une rosette foncée, glabre ; parfois gaufrée et à pétiole souvent de même longueur que le limbe (Mazoyer, 2002).

L'épinard aurait tout d'abord été cultivé dans les régions revenant aujourd'hui à l'Afghanistan et au Tajikistan (Munro et Small, 1998). Il est probablement originaire du nord de l'Iran, de l'Afghanistan et du Turkménistan où l'on trouve des espèces sauvages apparentées telles que *Spinacia tetrandra* et *Spinacia aturkestanica*. Selon (Boullard, 2001).

Selon (Munro et Small, 1998). (Boullard, 2001), (Mappa, 2010) et (Lacoste, 2014), il semble que l'épinard n'était pas connu des Grecs et des Romains de l'Antiquité, ils rapportent que l'épinard a été introduit en Europe à partir du VIII^e siècle lors des conquêtes arabes. Utilisé d'abord comme plante médicinale. Cette plante, ramenée en France par Catherine de Médicis, est aussi nommée « herbe de perse ».

L'épinard continuera d'être un légume-feuille très important, nutritif et à rendement élevé dans les climats tempérés d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie orientale. En Afrique tropicale, sa culture restera cantonnée dans les hautes terres.

3.5. Récolte

Si la récolte se fait à la main, (**Munro et Small, 1998**) rapportent qu'il est recommandé, pour maximiser la qualité, de cueillir régulièrement les feuilles qui parviennent à maturité. La récolte est manuelle avec plusieurs coupes, la première se situe au stade de 7 ou 8 feuilles.

Lorsqu'il s'agit d'épinard destiné à la transformation (épinard en branche ou épinard haché, selon la qualité de produit), la récolte est toujours mécanisée et rapide. Les récolteuses mécaniques servent généralement à couper les plantes juste au-dessus du niveau du sol. Elle se fait en avril-mai pour l'épinard de printemps, de septembre à début novembre pour l'épinard d'automne et en mars pour l'épinard d'hiver (**Munro et Small, 1998 Mazoyer, 2002**).

3.6. Utilisations culinaires

Les épinards sont un aliment de base dans la cuisine car ils sont faciles à cuisiner frais ou congelés. Ces légumes-feuilles sont un ingrédient populaire pour les salades et les plats d'accompagnement. Leur saveur est douce, donc elle se mélange bien avec d'autres articles tout en offrant des bienfaits pour la santé à n'importe quel repas. C'est un ajout fantastique aux omelettes, brouillages, soupe, lasagnes et quiches et bourek.

3.7. Utilisations en médecine traditionnelle

Les feuilles d'épinard sont utilisées pour la nourriture et pour la fabrication des médicaments. En tant que médicament, les épinards ont des propriétés anticancérogènes et ils sont utilisés pour traiter les troubles gastriques et intestinaux (gastro-intestinaux, GI) et la fatigue. Il est également utilisé comme hématogène et stimulant de l'appétit.

Certaines personnes l'utilisent pour favoriser la croissance des enfants et le rétablissement après une maladie (**Anonyme04**).

3.8. La poudre d'épinards

3.8.1. Composition chimique de la poudre d'épinards

La poudre d'épinards affiche d'excellentes quantités de protéines 31,15 % et de fibres brutes 24,26 % avec une activité d'élimination du DPPH de 48,58 % et une teneur totale en phénol de 11,63 mg/g de poids sec (**Fernández-Segovia et al., 2018**). Les résultats obtenus ont également prouvé que le potassium, le calcium et le magnésium étaient les éléments les plus abondants dans la poudre d'épinards, tandis que les autres éléments, par ordre décroissant de quantité, étaient (Fe, Zn, Mn et Cu). Les valeurs pour la poudre d'épinards étaient (calcium 2988 mg/100 g, potassium 3334 mg/100 g, magnésium 1428 mg/100 g, fer 26,69 mg/100 g, zinc 3,23 mg/100 g, cuivre 0,718 mg/100 g et manganèse 4,8 mg/100 g), ce qui donne à la poudre d'épinards un bon rapport qualité (**Ankita, 2015**).

3.8.2. Propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de la poudre d'épinards

L'épinard est reconnu pour son activité antimicrobienne, anticancérogène et antioxydante (**Vazquez et al., 2013**). De plus, compléter le régime alimentaire avec des épinards a réduit les lésions cérébrales post-ischémiques, probablement grâce à des mécanismes anti-apoptose ainsi qu'à des mécanismes antioxydants et anti-inflammatoires (**Wang et al., 2005**). Les extraits d'épinards ou d'épinards ont également été étudiés dans le cancer. Il a été rapporté que les personnes qui consommaient des épinards ou des carottes plus de deux fois par semaine avaient un risque plus faible de développer un cancer du sein et une propagation réduite du cancer de la prostate que celles qui ne consommaient rien (**Asai et al., 2004**). De plus, une première recherche a documenté que les femmes qui consommaient des épinards plus de quinze jours avaient un risque plus faible de développer un cancer du sein que celles qui n'en consommaient par (**Longnecker et al. 1997**).

3.8.3. Utilisations de la poudre d'épinards dans les industries agro-alimentaires

Sur le marché mondial des légumes en poudre, la demande de poudre d'épinards augmente à un rythme lucratif dans l'industrie alimentaire et des boissons en raison du contenu nutritionnel unique de cette poudre d'épinards (des caroténoïdes, de l'acide folique, des vitamines et des minéraux), cette poudre est mélangée à d'autres produits alimentaires pour améliorer leur contenu nutritionnel. De plus, la poudre d'épinards est utilisée à la place du colorant alimentaire artificiel car la demande de pigments naturels dans les produits alimentaires transformés augmente. Les propriétés antioxydantes, anticancérogènes, antimicrobiennes et anti-âges de la poudre d'épinards encouragent les clients soucieux de leur

santé à l'inclure dans leur régime alimentaire. Outre les divers facteurs mentionnés ci-dessus, une sensibilisation accrue aux bienfaits des épinards pour la santé devrait également stimuler la consommation de poudre d'épinards dans un proche avenir (**Anonyme 05**).

Tableau 05 : Utilisations de la poudre d'épinards dans les industries agro-alimentaires

				
<p>Jus d'épinard</p>	<p>Purée d'épinards</p>	<p>Nutraceutiques</p>	<p>Complément alimentaire</p>	<p>Colorant alimentaire</p>

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV :
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chapitre IV : matériel et méthodes

4.1. Objectif de l'étude et lieu de stage

Le présent travail a pour but de préparer un fromage fondu à base de poudre d'épinards et étudier l'effet de l'incorporation de cette dernière sur les qualités physicochimiques, microbiologiques, nutritionnelle et organoleptique. Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de la fromagerie (**FALAIT SPA_ Rouïba**) durant une période qui s'est étalée du mois de Mars jusqu'au mois de Mai de l'année 2022.

Notre étude expérimentale est constituée de deux parties principales :

- La première partie consiste à la préparation de la poudre d'épinards par étuvage après broyage mécanique.
- La deuxième partie consiste à l'enrichissement d'un fromage fondu par une poudre d'épinards.

4.2. Matériel

4.2.1. Matériel non biologique

Le matériel non biologique utilisé dans cette étude est composé de verrerie, d'équipements et d'appareils ainsi que d'un ensemble de réactifs et de produits chimiques.

Le matériel utilisé dans le laboratoire est représenté dans le tableau :

Tableau 06 : Matériel utilisé.

Verrerie	Appareils	Produits	Matériels du laboratoire.
-Tasse graduée. -Tubes à essai. -Matras. -Pipette gradué. -Butyromètre. -Godet en verre. -fiolle. -Becher. -Erlenmeyer.	-Broyeur électrique. -Balance. -Bain marie. -Centrifugeuse. -Etuve. -Minéralisateur. -Distillateur. -Matras. -pH metre. -Thermomètre. -Agitateur.	-Eau distillée. -Eau physiologique. -Alcool chirurgical. -Acide sulfurique. -Alcool iso Amyle. -Catalyseur. -Phénolphtaléine. -NaOH 10N. -Acide borique. -Indicateur coloré(Tashiro).	-Tamis. -Boîtes de pétri. -pissette de l'eau distillée. -Couteau. -Spatule. -coton. -papier absorbant. -Papier aluminium. -Pots stériles. -Dispositif de chauffage. -Sable. -baguette d'agitation. -Capsule. Sac stomacher

4.2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique comporte les différentes matières premières utilisées et le produit fini.

➤ Matériel végétal

Les épinards utilisés ont été achetés sous formes de bottes durant le mois de Février 2022. Après leur achat, les bottes ont été directement acheminées au laboratoire où nous avons pesé chacune d'entre elle. Puis nous avons éliminé les feuilles fanées, abîmées, tachées de noir ou

de jaune. Après avoir équeuté, rincé et égoutté les feuilles des épinards, nous avons replié la base des feuilles en deux et, avec un couteau, nous avons tiré délicatement la nervure centrale (Figure 04).



Figure 04 : Photo originale des feuilles d'épinards.

➤ **Milieux de culture**

Les milieux de cultures utilisés sont :

- Milieux Sabouraud : milieux de culture pour la levure et moisissures.
- Viande-foie(VF) + des Additive (sulfate de sodium et alun de fer) : milieux de culture pour les clostridium sulfito-réducteurs.
- Plate count Ager(PCA) : milieux de culture pour les Flore mésophile aérobie totale.
- Bile EscilineAzide (BEA) : milieux de culture pour les Streptococcus du groupe D.
- RCM + des additifs (sulfate de sodium et alun de fer) : milieux de culture pour les spores anaérobies gazogènes.
- LS : milieux de culture pour l'Escherichia coli (Pré enrichissement).
- EC : milieux de culture pour l'Escherichia coli (Enrichissement).
- Eau peptonée exempte d'indole +10 gouttes de KOVAX (Isolement).
- L'eau peptonée tamponnée : milieux de culture pour salmonelle (Pré enrichissement).

- Sélinite de cystéine : milieux de culture pour salmonelle (Enrichissement).
- Gélose RBVB, gélose hektoen (Isolement).

4.3. Procédé de préparation de la poudre d'épinards

Le procédé de préparation de la poudre de feuilles d'épinards suit trois grandes étapes constituées d'opérations unitaires simples visant à assurer la salubrité de la poudre produite.

Les feuilles sont triées, lavées, désinfectées et essuyées. Elles sont ensuite séchées à l'ombre dans une pièce bien aérée et naturellement ventilée. Après séchage, les feuilles sont broyées et tamisées. La poudre ainsi obtenue est immédiatement conditionnée dans des flacons en verre et laissée à la température ambiante. La poudre de feuilles d'épinards produite ne subit aucun autre traitement spécial et est exempte d'additifs alimentaires. Ce mode de préparation avait été décrit précédemment par **(El-Sayad, 2020)** (Annexe1).

4.3.1. Lavage, étuvage, broyage

Des feuilles d'épinards dépourvues des tiges ont été sélectionnées et lavées à l'eau pour éliminer la saleté et autres impuretés, trempées dans une solution d'hypochlorite de sodium pendant 30minutes, et séchées primordialement par un papier absorbant, puis étalées sur un papier aluminium et séchées dans l'étuve pendant 48h à 40°C.

Le matériau séché a été broyé à l'aide d'un broyeur à grande vitesse sous une hôte passé à travers un tamis et une fine poudre d'épinards déshydratés a été obtenue (figure 05).

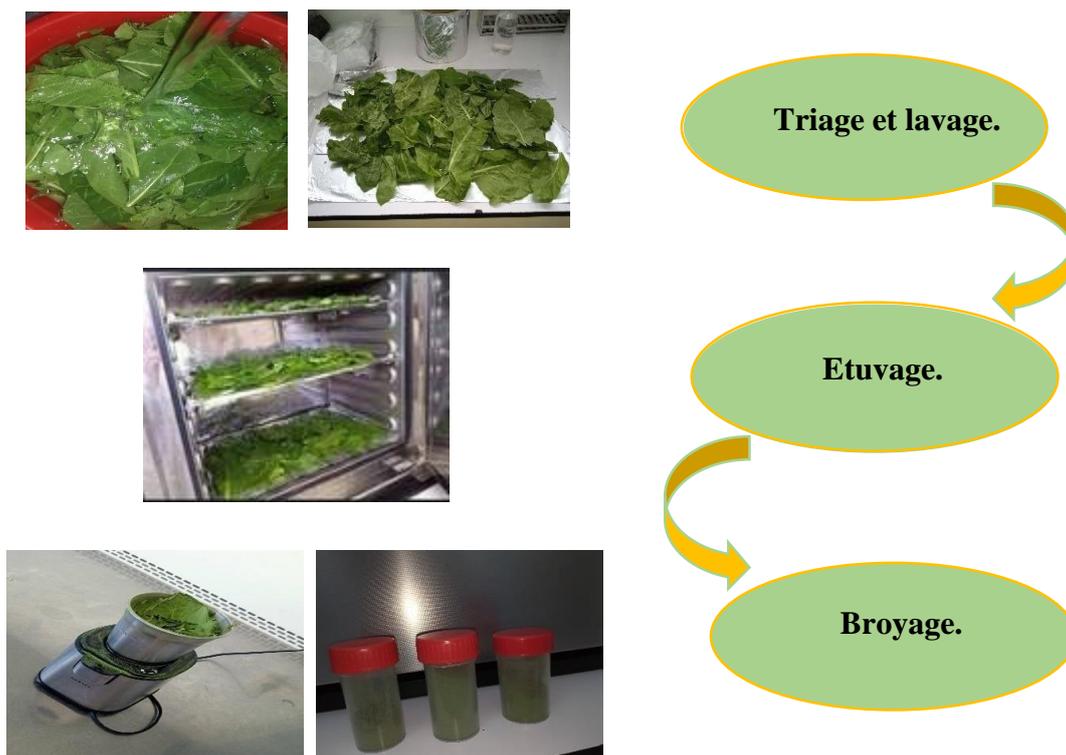


Figure 05 : Procédé de préparation de la poudre d'épinards.

4.3.2. Conservation de la poudre d'épinards

La poudre d'épinard a été conditionnée dans des pots stériles fermé hermétiquement et stockée à 4°C dans un réfrigérateur.

4.4. Essais d'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage

Une quantité de 2 Kg de fromage fondu a été obtenue par crémage dans un récipient stérile recouvert d'aluminium. Le fromage ainsi obtenu est refroidi sous hotte jusqu'à 40 ° C puis divisé en 5 échantillons distincts. L'échantillon-témoin a été prélevé et quatre autres échantillons ont été préparés par l'incorporation de la poudre d'épinards séchée à des taux de 0.5, 1, 1.5 et 2 g de poudre d'épinards par 100 g de fromage fondu (Figure 06). Le choix de ces proportions a été basé sur les travaux antérieurs de (El-Sayad, 2020) (Annexe2).

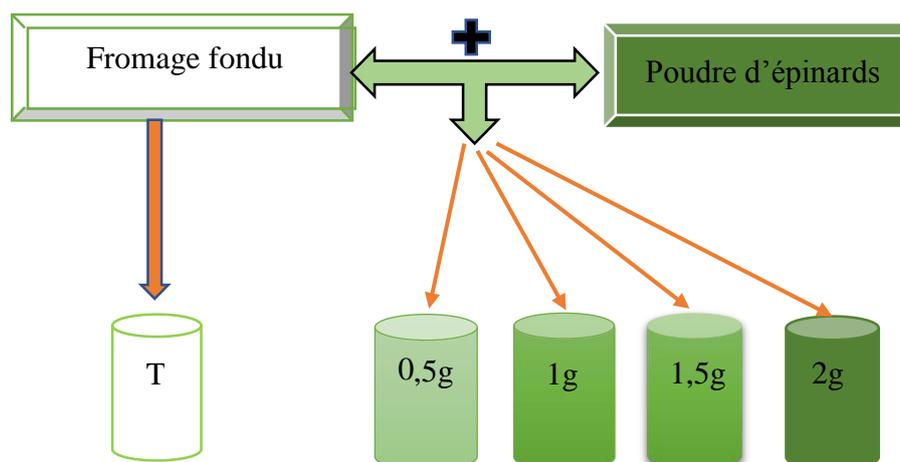


Figure 06 : Schéma d'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu.

4.5. Analyses physico-chimiques

4.5.1. Détermination du pH

Le potentiel hydrogène (pH) du fromage est mesuré à l'aide d'un pH-mètre « HANNA, HI 2210 ». L'électrode du pH-mètre, préalablement étalonnée, Avant chaque mesure, l'électrode du pH-mètre est nettoyée avec de l'eau de robinet, puis rincée à l'eau distillée et séchée avec du papier puis est directement introduite dans l'échantillon du fromage à une température de 25°C. La mesure a été répétée trois fois pour chaque échantillon. La valeur de pH de l'échantillon est obtenue par simple lecture sur l'écran de l'appareil (Roustel, 2014 ; Boutonnier, 2000) (Annexe 3).

4.5.2. Détermination de l'extrait sec total

Par la méthode officielle (AFNOR, 2004) (Annexe 4)

- **Principe :**

Evaporation de l'eau d'une prise d'essai, en présence de sable dans une étuve à la température de $102 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant.

- Déposer environ 20g de sable dans une capsule muni d'une baguette d'agitation
- Chauffer dans l'étuve à 102°C pendant au moins 2 heures ; Laisser refroidir dans le dessiccateur jusqu'à la température de la salle de pesée

- Peser la capsule à 1mg près et enregistrer la masse avec 4 décimales.
- Ajouter environ 5 ml d'eau, mélanger.
- Chauffer dans l'étuve pendant au moins 4 heures.
- Laisser refroidir au dessiccateur jusqu'à la température de la salle de pesée
- Peser la capsule à 1mg près et enregistrer la masse avec 4 décimales.

L'écart entre les deux pesées ne doit pas dépasser 1,0 mg

Si l'écart est supérieur, on peut supposer que le sable retient l'eau

Si cette exigence n'est pas satisfaite, traiter le sable

- **Mode opératoire :**

- **Essai à blanc :**

Parallèlement à la détermination de la prise d'essai, effectuer un essai à blanc selon le même mode opératoire que pour la préparation de la capsule et la détermination mais sans la prise d'essai.

Cet essai à blanc a pour but de tenir compte des éventuelles variations de la température au cours de la manipulation et pouvant influencer sur la masse pesée.

- **Préparation de la capsule :**

- Placer la capsule contenant environ 20g de sable, la baguette et le couvercle à l'étuve pendant au moins 1 heure lorsque l'étuve a atteint la température requise.
- Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante et peser l'ensemble à 1 mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales.

- **Prise d'essai :**

- Faire glisser le sable sur coté en inclinant de la capsule préparée ;
- Mettre environ 3g de l'échantillon sur une surface de la capsule exempte de sable.
- Remettre le couvercle, y disposer la baguette et peser à 1 mg près, enregistré la masse avec 4 décimales.

- **Détermination :**

- Mélanger soigneusement ensemble la prise d'essai et étaler régulièrement le mélange sur fond de la capsule.
- Laisser l'extrémité aplatie de la baguette dans le mélange.

- Placer à l'étuve la capsule avec le couvercle dessous pendant 3h (une fois que la température requise atteinte).
- Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante et peser à 1 mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales.
- Mettre de nouveau à l'étuve 1h (une fois que la température requise est atteinte).
- Mettre le couvercle et laisser refroidir au dessiccateur comme précédemment.
- Peser à 1mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales.
- Répéter la mise à l'étuve pendant 1h jusqu'à observer entre deux pesées successives. Une diminution de la masse $\leq 2\text{mg}$ ou une augmentation de la masse, noter la masse la plus

• Expression résultats

La matière sèche exprimer en pourcentage en masse, est égale à :

$$(m_2 - m_0) - (m_3 - m_4) / (m_1 - m_0) \times 100$$

Où

m₀ : est la masse, en gramme de la capsule (y compris le sable), du couvercle et de la baguette.

m₁ : est la masse, en gramme de la (y compris le sable) du couvercle et de la baguette et de la prise d'essai.

m₂ : est la masse, en gramme de la (y compris le sable), du couvercle et de la baguette et de la prise d'essai sèche.

m₃ : est la masse, en gramme de la capsule utilisée pour l'essai à blanc le même temps de dessiccation que m₂.

m₄ : est la masse, en gramme de la capsule préparée utilisée à blanc pour l'essai

Exprimer les résultats en g/100g avec 2 décimales.

4.5.3. Détermination du taux de la matière grasse (MG)

La détermination du taux de la MG est réalisée selon la méthode de Van Gulick. Pour cela, 3g de fromage sont pesés dans un godet en verre perforé. Ce dernier est placé dans un butyromètre à fromage. Ensuite, l'acide sulfurique (H₂SO₄, d = 1,52) est ajouté jusqu'à immersion du godet afin de faire dissoudre les protéines du fromage. Le butyromètre, col en

bas, est placé dans un bain Marie à $65 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 2 h. Chaque 20 min, le contenu est agité jusqu'à dissolution totale du fromage. Après avoir rajouté 1ml d'alcool iso-amylique (3-méthyl-1-butanol) à l'échantillon, le volume est complété par l'acide sulfurique (H_2SO_4) jusqu'au volume de 35 ml de la graduation du butyromètre. Enfin le butyromètre est centrifugé à 1000 rpm /10 min avec chauffage. Le taux de la matière grasse est lu sur les graduations du butyromètre (Gelais et al. 2002) (Annexe5).

➤ La lecture

La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre et la teneur en matière grasses est exprimée en pourcentage de masse du produit fini « g » pour 100g de fromage.

4.5.4. Détermination du rapport matière grasse/matière sèche (MG/MS) Principe

La teneur en matière grasse dans la matière sèche correspond au pourcentage en masse de la matière grasse contenue dans la matière sèche du fromage. La teneur en (MG/MS) est obtenue par l'équation suivante : (Eck et Gillis, 2006).

Avec :

$$\mathbf{R (\%) = (MG/MS) \times 100}$$

MG : Matière grasse

MS : Matière sèche

R : Rapport

4.5.5. Détermination du taux d'humidité

Le taux d'humidité (Hm) est ensuite calculé selon la formule suivante : (Mahaut, Jeant et al., 2000).

$$\mathbf{Hm = 100 - EST}$$

Avec

EST : extrait sec total

H : Humidité

4.5.6. Détermination de la teneur en protéines

Selon la méthode de **KJELDHAL**.

❖ Principe

Minéralisation de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation et titrage de l'ammoniac libéré, La teneur en protéines brutes du produit est obtenue en multipliant la valeur obtenue lors de la détermination de la teneur en azote par le facteur 6,38 spécifique aux produits laitiers (Annexe 6).

❖ Mode opératoire

➤ Prise d'essai

- Introduire dans le matras environ de 1 à 5 grammes de lait suivant la teneur présumée en azote et le degré d'homogénéisation du produit.

➤ Minéralisation

- Ajouter 20ml d'acide sulfurique concentré et 1g de catalyseur dans le matras.
- Placer le matras sur le dispositif de chauffage.
- Procéder à la minéralisation en augmentant progressivement la température pendant près de 6 heures jusqu'à ce que le liquide devient limpide et aie une coloration verte stable.

➤ Distillation

- Laissez refroidir puis transvaser le contenu dans une fiole de 100ml, compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée.
- Verser dans un matras 10ml du liquide obtenu, ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine.
- Alcaliniser le milieu avec du NaOH 10N la couleur devient rose.
- Adapter au distillateur BUCHI, le distillat récupéré de couleur verte est recueilli dans un erlenmeyer de 250ml contenant 20ml d'acide borique et quelques gouttes d'indicateur coloré (Tashiro).
- Poursuivre la distillation jusqu'à récupération d'environ 200ml du distillat.

➤ Titrage

- Le titrage doit se faire rapidement que possible par une solution d'acide sulfurique 0,1N on considère que le virage est atteint lorsque la coloration violette persiste.

- Un essai à blanc doit être inclus dans chaque série de dosage.

➤ Expression des résultats

La teneur en azote totale exprimée en gramme d'azote pour cent grammes d'échantillon est donnée par la formule Suivante :

$$\text{Teneur de l'azote} = \frac{(V1-V0)14 \times 100 \times 100 \times T}{m \times 10 \times 1000}$$

Où :

- V1 est le volume en millilitres, de la solution d'H2 SO4 utilisé pour la prise d'essai.
- V0 est le volume en millilitres, de la solution d'H2 SO4 utilisé pour l'essai à blanc.
- T est la normalité de la solution d'H2 SO4 utilisée lors du titrage (0,1N).
- m est la masse en grammes de la prise d'essai.

Le résultat de la détermination est exprimé en protéines après multiplication de la teneur en azote total par un coefficient approprié correspondant (laits et dérivés = 6,38).

4.6. Analyses microbiologiques

Les germes recherchés et dénombrés dans le fromage fondu sont : la flore totale aérobie mésophile à 30°C, *Escherichia coli*, *Clostridium sulfitoréducteurs* (CSR), les levures et les moisissures, les *streptocoques*, la *salmonella*, les spores anaérobies gazogènes, *staphylocoques*.

4.6.1. Préparation des dilutions

Sous un hôte, les boîtes de fromage ont été désinfectées par l'alcool et à l'aide d'un couteau stérile un fragment d'environ 10g a été découpé et dilué dans 90 ml de l'eau physiologique, puis homogénéisé (Joffin, et Joffin, 2010).

4.6.2. Recherche de *streptocoque* la famille D

La recherche des streptocoques la famille D a été réalisée par la méthode d'ensemencement en profondeur. Avec la pipette graduée on ajoute 1 ml de la solution mère puis l'ajout une quantité de milieu de culture BEA est coulée sur la boîte de Pétri ; bien mélanger la gélose avec

l'inoculum. Après solidification. Les boîtes de Pétri ainsiensemencées sont incubées à 37°C pendant 24 h. (**Fridot, 2005**).

4.6.3. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs (CSR)

Un tube contenant 1ml de la solution mère est porté au bain marie à 80°C pendant 10 min pour réduire la sporulation. Après refroidissement avec l'eau de robinet, 15 ml de la gélose viande foie, additionnée de sulfite de sodium et d'alun de fer, sont coulés dans les tubes. Après solidification, les tubes sont incubés à 44°C pendant 48h (**Guiraud, 2003**).

4.6.4. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG)

Cette analyse est faite pour la matière première (cheddar, poudre de lait) et produit fini (fromage fondu) pour des raisons technologiques. SAG sont responsables de gonflement des boîtes par dégagement des gaz.

Spores thermorésistantes de Bacillus et de clostridium thermorésistants qui après une épreuve de sélection thermique peuvent donner naissance à des formes végétatives de Bacillus et de clostridium se développent à 55C lorsque l'essai est effectué selon la méthode spécifiée dans la présente norme (**V08-407 AFNOR**).

✦ Préparation dilutions

Le travail se fait dans la zone stérile

Peser 10g de fromage fondu et le porter dans un sac stomacher.

Ajouter 20ml de diluant TSE.

Homogénéisé à l'aide d'un stomacher.

Ces deux dernières constituent la dilution mère(DM).

Chauffer pendant 10min à 80°C.

Effectuer un choc thermique par refroidissement sous l'eau de robinet. Afin d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.

✦ Mode opératoire

Répartir le milieu RCM dans trois tubes stériles.

Introduire 3ml de la dilution mère dans chaque tube.

Laisser se solidifier à la température ambiante.

Après solidification, rajouter 2ml de gélose blanche qui représente bouchon qui a pour but d'éviter l'échappement des gaz.

✦ **L'incubation**

L'incubation se fait à 37 C pendant 3 à 5 jours.

✦ **Lecture**

Déplacement ou éclatement de bouchon indique le dégagement de gaz par les spores gazogènes accompagné par le dégagement de mauvaises odeurs.

4.6.5. Recherche de la flore mésophile aérobie totale à 30°C

A partir des dilutions décimales, on porte aseptiquement 1 ml dans une boîte de Pétri de la solution mère puis une quantité de milieu de culture PCA est coulée sur la boîte de Pétri ; bien mélanger la gélose avec l'inoculum par agitation douce et circulaire sur la paillasse ; On laisse solidifier sur la paillasse, Les boites de Pétri ainsiensemencées sont incubées à 30C pendant 24 h. (Guiraud et Galzy, 1980)

4.6.6. Recherche de levure et moisissure

On coule le milieu Sabouraud préalablement fondu dans les boites de pétrie, à l'aide d'une pipette pasteur on aensemencé 0.1 ml de la solution mère et on fait un étalement à la surface du milieu. La gélose Extrait de Malte préalablement fondue et refroidie a été répartie dans des boites de pétri vides. Après solidification, 0,1ml de chaque dilution a étéensemencé en surface.

L'incubation a été faite à une température de 25°C pendant 3 à 5 jours (Vignola, 2002).

4.6.7. Recherche de *Salmonella sp*

➤ **Pré-enrichissement**

Une quantité de 25 g de fromage est inoculée dans 225 ml d'eau peptonée exempte d'Indole et incubée à 37°C/24 h.

➤ **Enrichissement**

Repiquage de 1ml des tubes d'eau peptonée positifs dans 9 ml de bouillon au sélénite de sodium (SFB) et incubation à 37°C/24 h.

➤ **Isolement**

Ensemencement en stries à la surface de la gélose Hektoen à partir des tubes SFB positifs et incubation à 37°C/48 h (**Anonyme. JORADZN°42. 2005**).

4.6.8. Recherche des *staphylococcus aureus*

Les staphylocoques appartiennent au genre "*Staphylococcus*" des Cocci catalase (+), parmi lesquels *Staphylococcus aureus*. Il est le plus régulièrement pathogène, en particulier fréquemment capable de produire une ou des "entérotoxines", très répandus dans la nature.

La bactérie est considérée comme témoin d'hygiène (contamination intrinsèque des aliments d'origine animale, ou contamination d'origine humaine lors des manipulations) (**Larpen, 1997**).

✦ **Principe** : Le dénombrement des *staphylocoques* se fait par comptage des colonies obtenues sur milieu sélectif solide (milieu de Baird- Parker) après incubation à 37°C (**Afnor V08-057**).

✦ **Incubation** :

Mettre les boites en incubation à 37°C pendant 24 à 48h.

✦ **Lecture** :

Seront considérés comme positive, les boites contenant des colonies noires, brillantes, convexes entourées d'une zone de transparence.

4.6.9. Recherche d'*Escherichia coli*

Bactéries qui, à 44 °C, fermentent le lactose avec production de gaz et qui, à cette température, produisent de l'indole à partir du tryptophane, lorsque l'essai est effectué selon la technique spécifiée dans la présente méthode.

✦ Pré-enrichissement

Inoculer un milieu d'enrichissement sélectif liquide (Lauryl de sulfate) avec une quantité déterminée de la suspension initiale de l'échantillon pour essai.

Incuber le tube à 37 °C pendant 48 h. Examiner la formation de gaz dans le tube après 24 h et 48 h.

✦ Enrichissement

Si le tube montre une opacité, un aspect trouble ou un dégagement gazeux, faire une subculture dans un tube contenant un milieu sélectif liquide (bouillon EC).

Le tube obtenu est incubé à 44 °C pendant 48 h. Examiner la formation de gaz après 24 h et 48h.

✦ Isolement

Si un dégagement gazeux est noté dans le tube, réaliser une subculture dans un tube contenant de l'eau peptonée exempte d'indole.

Le tube obtenu est incubé durant 48 h à 44 °C. Le tube est examiné pour la production d'indole résultant de la dégradation du tryptophane dans les constituants peptonés. (10 gouttes de kovacs)

4.7. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est primordiale pour améliorer et maintenir la qualité d'un produit, mais aussi pour en parler avec objectivité. L'analyse sensorielle a pour avantage, décrire un produit alimentaire : profil sensoriel, classer des produits alimentaires, connaître les préférences consommateurs, s'assurer d'une différence ou d'une similitude (**Anne-Cécile Fournet-Fayard, 2017**).

L'analyse sensorielle détermine l'appréciation ou le rejet du produit élaboré par un panel de dégustation expérimenté ou non. Les propriétés organoleptiques évaluées sont l'apparence, la texture, l'odeur, la couleur et l'aspect du fromage. (**Bauer et al., 2010**).

Nos analyses sensorielles ont été faites sur un ensemble de volontaires. Le nombre de dégustateurs est 31 personnes parmi eux les professionnels du laboratoire d'analyses et des étudiants de notre département.

CHAPITRE V :
RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V : Résultats et discussion

Ce chapitre consiste à la présentation et la discussion des résultats obtenus dans l'étude expérimentale.

5.1. Analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des différentes formulations de fromages fondus sont présentés dans le tableau 7. Ces résultats sont comparés par rapport aux recommandations de l'entreprise FALAIT spa.

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondus examinés.

Paramètres	Fromage fondu enrichi en poudre d'épinards séchée				Témoin	Normes
	0.5 %	1 %	1.5 %	2 %		
PH	5.72±0.02	5.85±0.02	5.87±0,01	5.91±0.02	5.68±0.02	5.6 – 5.85
Matière grasse : MG (%)	17.25±0.35	18.25±0.35	18.75±0,35	20.75±0.35	20±0.00	19-21
Extrait sec total : ES (%)	41.39±0.03	42.59±0.02	43.57±0.02	43.82±0.02	40±0.00	40-42
Rapport : MG/ES (%)	41.67±0.82	42.84±0.79	43.54±0.05	47.34±0.78	50±0.00	49-55
Taux d'humidité (%)	58.56±0.009	57.41±0.02	56.48±0.09	56.18±0.07	60±0.00	/
Taux de protéines	10.49±0.00	12.59±0.00	13.17±0.00	14.29±0.00	10.47±0.00	/

Les résultats sont exprimés en moyenne ± écart-type.

5.1.1. Détermination du pH

Les valeurs du pH des fromages fondus élaborés avec différents taux d'incorporation de poudre d'épinards sont représentées dans la figure 7.

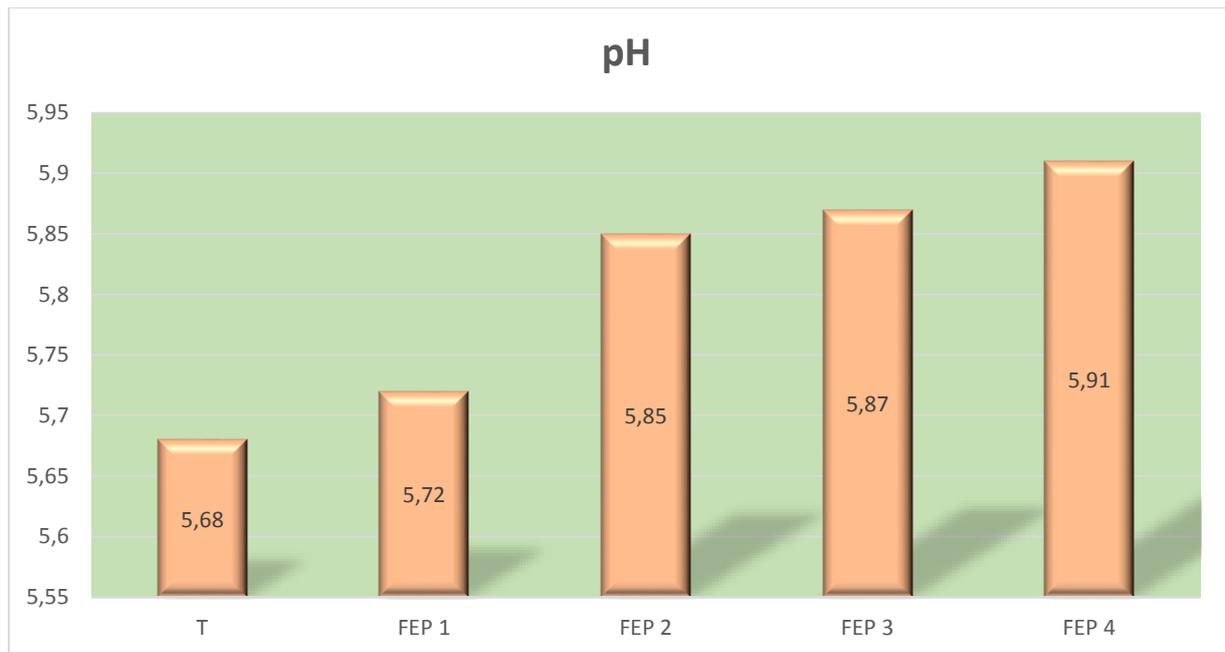


Figure 7 : pH des fromages fondus analysés

(**T** : Témoin ; **FEP 1** : fromage fondu enrichi avec 0.5% de poudre d'épinards séchée ; **FEP 2** : fromage fondu enrichi avec 1% de poudre d'épinards séchée ; **FEP 3** : fromage fondu enrichi avec 1.5% de poudre d'épinards séchée ; **FEP 4** : fromage fondu enrichi avec 2% de poudre d'épinards séchée).

Le pH des fromages fondus est un paramètre important car il agit d'une part sur la dissociation des différents groupes à liaison calcium donc sur l'action des sels de fonte et d'autre part sur la solubilité des protéines. (**Boutonnier, 2000**).

Les valeurs du pH des fromages fondus examinés sont légèrement acides et elles sont comprises entre 5.72 et 5.91 (Figure 7). Nous avons noté une augmentation du pH pour les quatre essais (FEP1, FEP2, FEP3, FEP4) avec l'augmentation de la quantité de poudre d'épinards incorporée (0,5, 1, 1,5, 2g). Nous pouvons en déduire que l'ajout de la poudre d'épinards impact considérablement la valeur du pH. Par ailleurs, les deux premières valeurs sont conformes aux normes préconisées par l'entreprise FALAIT spa avec un pH qui varie entre 5.6 et 5.85.

5.1.2. Détermination de l'extrait sec total

Les valeurs de l'extrait sec total des fromages fondus analysés sont illustrées dans la figure 8.

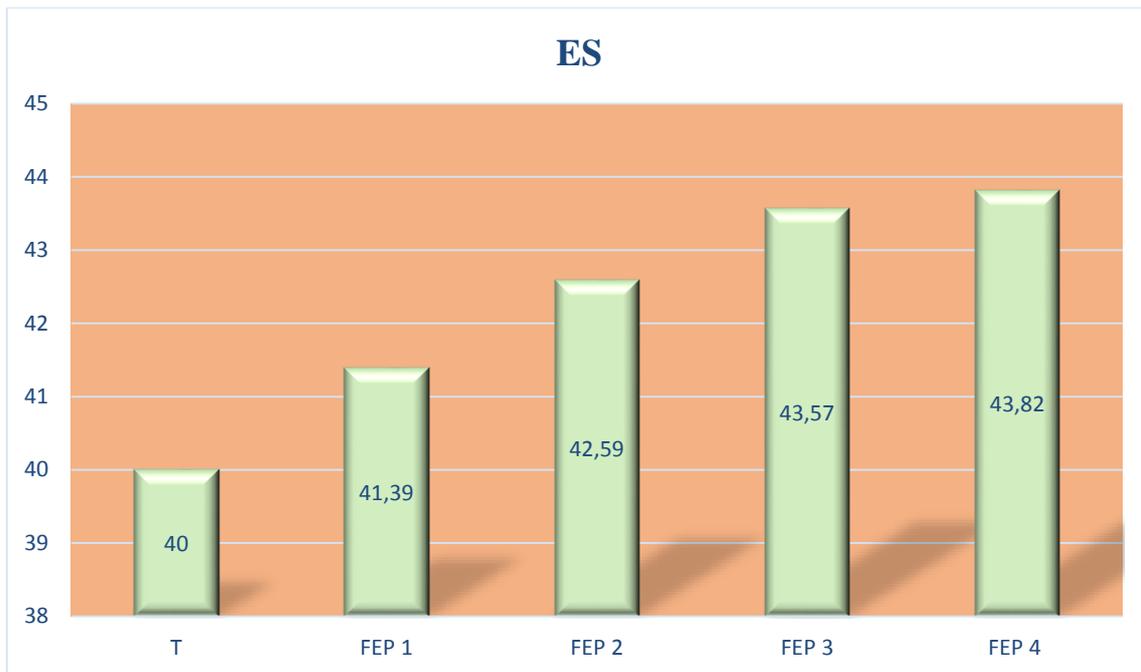


Figure 08 : Les teneurs en extrait sec des fromages fondus analysés.

Les valeurs de l'extrait sec des différentes formulations de fromages fondus sont comprises entre 41.39 et 43.82%. Nous avons constaté que l'extrait sec total augmente avec l'augmentation de la teneur en poudre d'épinards.

Le taux d'extrait sec dans un fromage fondu dépend entre-autre de la quantité de fromage utilisé pour la fonte et du taux d'extrait sec des autres matières premières mises en œuvre pour la fabrication du fromage fondu (**Eck et Gillis, 1997**). Le taux d'extrait sec dans un fromage fondu dépend entre-autre de la quantité de fromage utilisé pour la fonte et du taux d'extrait sec des autres matières premières mises en œuvre pour la fabrication du fromage fondu (**Eck et Gillis, 1997**). Un taux d'EST faible facilite le processus d'échange d'ions et conduit à une augmentation du coefficient de «peptisation». En effet, plus les caséines sont hydratées, plus leur structure est lâche, ce qui permet aux sels de fonte de pénétrer plus facilement les molécules des caséines et d'améliorer la «peptisation» (**Dimitreli et Thomareis, 2005**). Cette propriété qui est également dépendante de la minéralisation des fromages est exploitée pour avoir des fromages fondus tartinables.

5.1.3. Détermination du taux de la matière grasse

Les valeurs de la matière grasse des différents essais de formulation de fromages fondus sont représentées dans la figure 9.

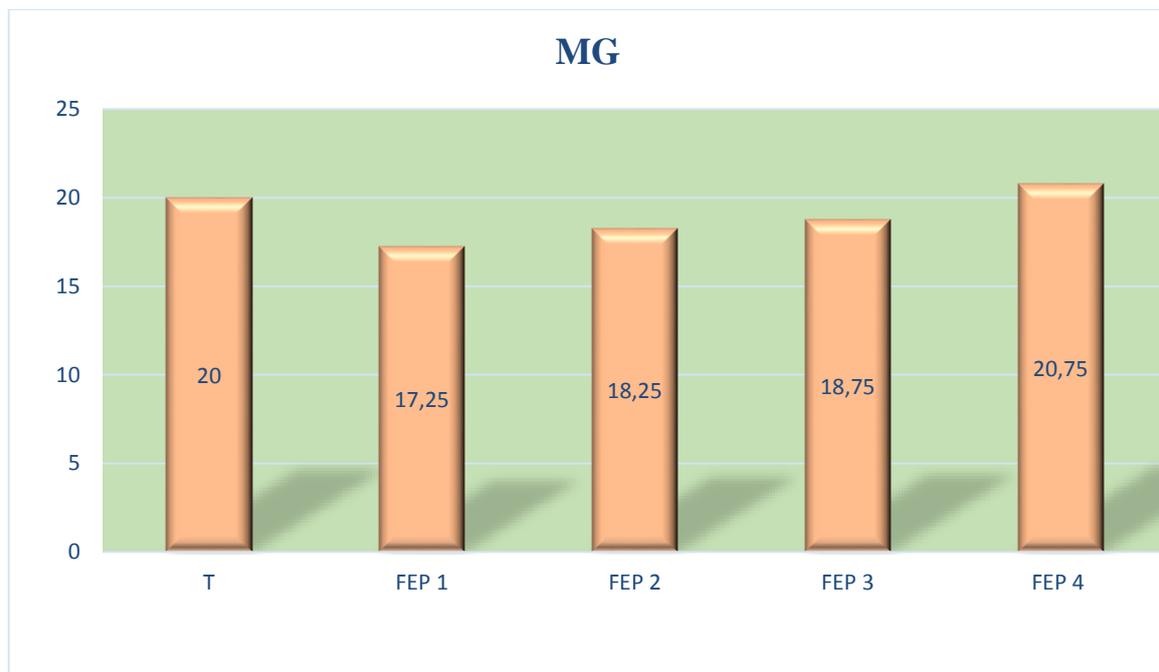


Figure 9 : Les teneurs en matières grasses des fromages fondus examinés.

L'incorporation de la poudre d'épinards à différents taux a conduit à une variabilité de la teneur en matières grasses des fromages fondus examinés. Ces valeurs varient de 17.25 à 20.75% et sont conformes aux recommandations des normes en vigueur.

La qualité du fromage fondu, comme tout aliment, est directement liée aux attributs sensoriels tels que l'apparence, la texture et la saveur, qui doivent être en harmonie pour que le produit final soit bien apprécié (**Foegeding et al. 2010**). L'un des principaux problèmes découlant de la réduction de la teneur en matière grasse dans le fromage est le développement d'une texture moins onctueuse, compromettant la mastication. Le comportement inverse est observé pour les fromages riches en matières grasses (**Rogers et al., 2010**).

5.1.4 Détermination du rapport matière grasse/matière sèche

Les valeurs du rapport matière grasse /matière sèche obtenues pour les différentes formulations de fromages fondus sont représentées dans la figure 10.

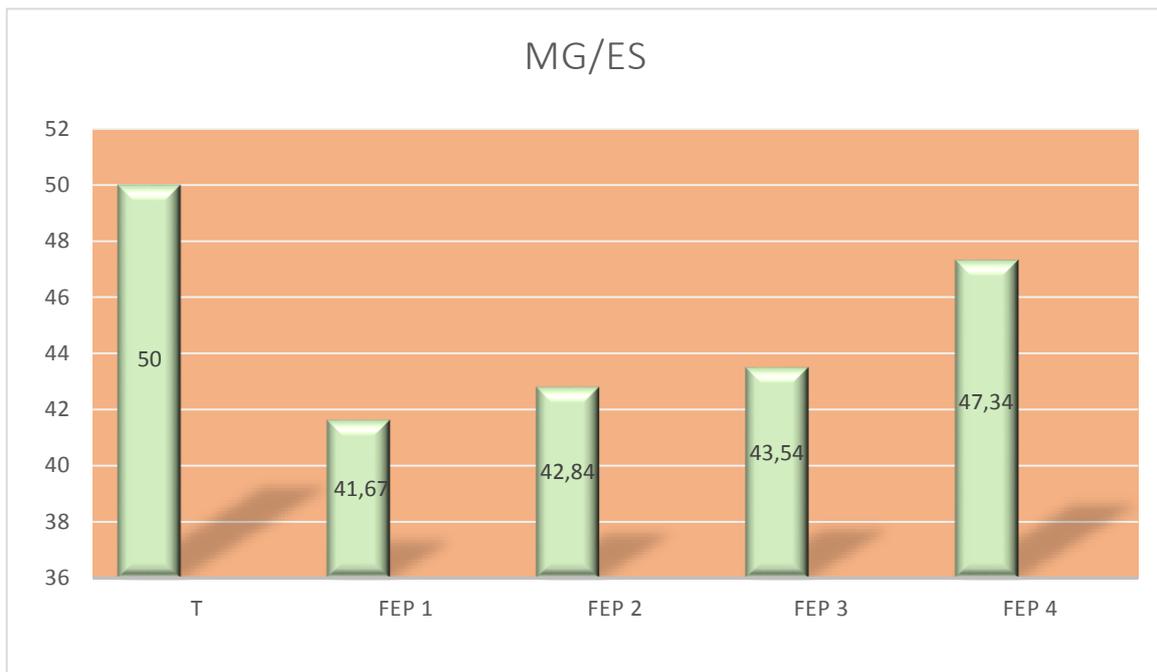


Figure 10 : Rapport matière grasse/extrait sec des fromages fondus analysés.

La détermination de la matière grasse et l'extrait sec total, permet d'évaluer le rapport G/S.

Les résultats du rapport gras/sec varient de 41.67% à 47.34% pour les fromages enrichis en poudre d'épinards et sont inférieurs à ceux du témoin qui est de 50%. Nous pouvons ainsi déduire que le rapport (G/S) dépend essentiellement du taux de matières grasses ajoutées au mélange.

5.1.5. Détermination du taux d'humidité

Les taux d'humidité des fromages formulés sont représentés dans la figure 11.

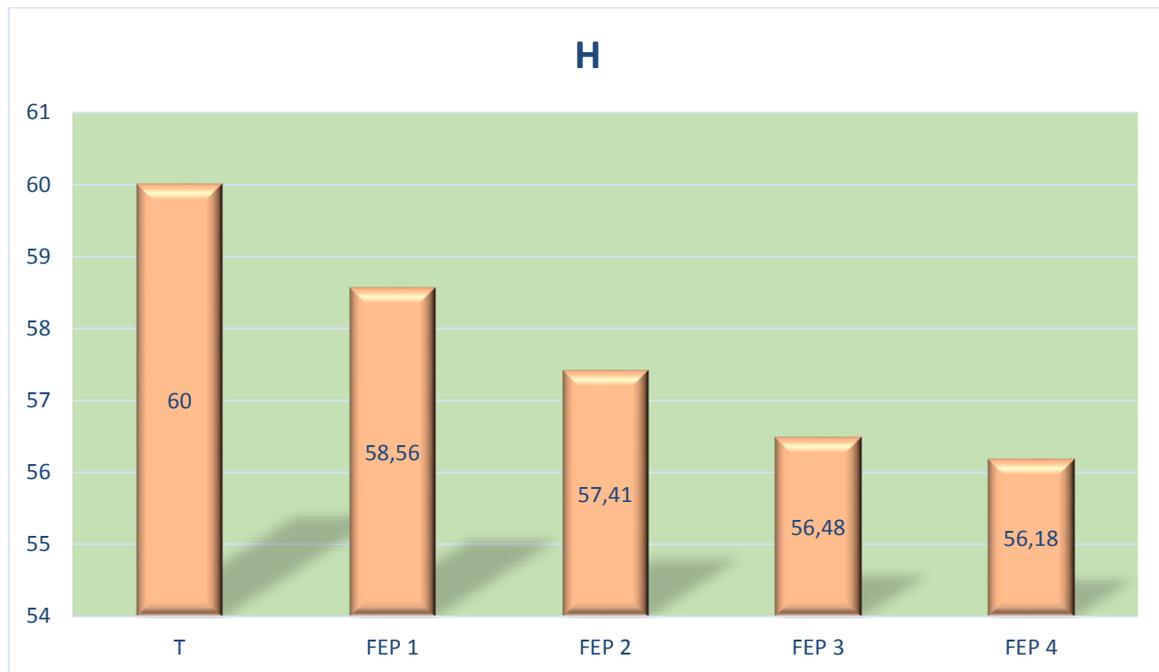


Figure 11 : Taux d'humidité des fromages fondus formulés.

La détermination de la teneur en humidité est importante pour se conformer aux exigences de la spécification du produit. Les variations d'humidité peuvent affecter les propriétés texturales et la durée de conservation du fromage fondu. En outre, la teneur en eau peut affecter les paramètres du produit final tels que la stabilité microbiologique ou la conformité aux exigences légales ou industrielles.

De ce fait, la teneur en humidité du fromage fondu doit être soigneusement contrôlée.

Les valeurs de l'humidité sont comprises entre 58.56 et 56.18% pour les fromages enrichis en poudre d'épinards et de 60% pour le témoin. Nous avons constaté que plus le pourcentage de la poudre d'épinards augmente plus le taux d'humidité diminue et nous pouvons en conclure que l'addition de la poudre a une influence considérable sur la teneur en eau du produit fini.

5.1.6. Détermination de la teneur en protéines

Les teneurs en protéines des différentes formulations de fromages fondus sont représentées dans la figure 12.

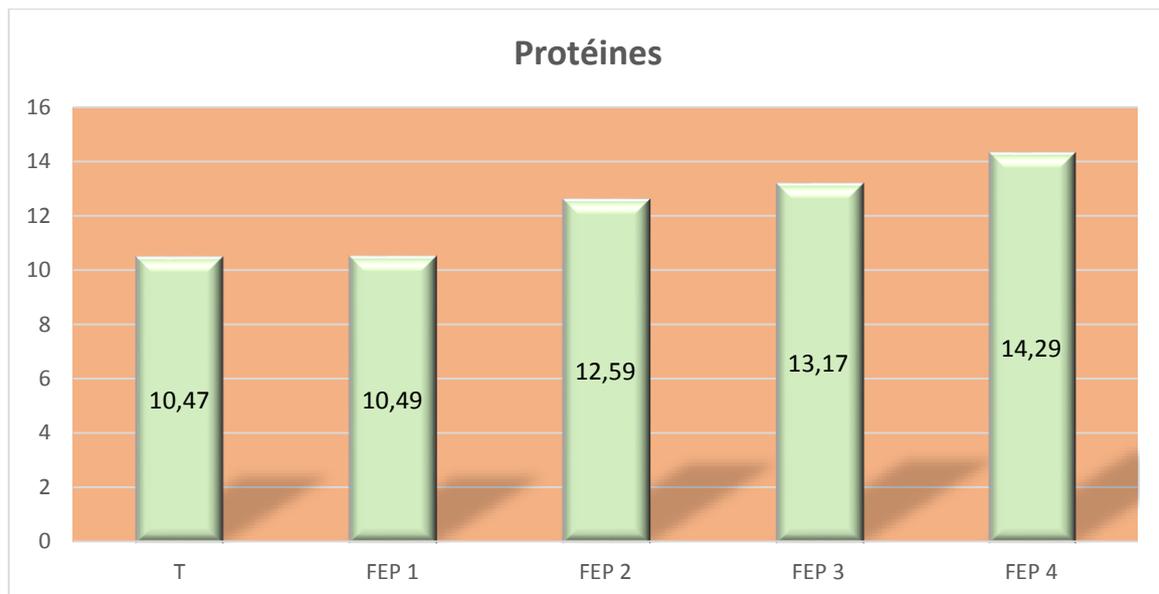


Figure 12 : Teneur en protéines des fromages fondus élaborés.

Les résultats de la teneur en protéines des essais de formulation varient entre 10.49 et 14.29 % pour les fromages fondus enrichis en poudre d'épinards et le contenu du témoin est de 10.47%. Comparativement au témoin, l'augmentation des teneurs en protéines est attribuée aux quantités de poudre d'épinards ajoutées.

En se référant au témoin nous pouvons dire que l'ajout de la poudre de feuilles d'épinards séchée permet l'enrichissement en protéines des fromages fondus formulés.

Dans les fromages fondus, les protéines sont apportées par les ingrédients laitiers : lait, fromages et concentrés protéiques principalement. La qualité nutritionnelle de ces protéines lactières repose sur une forte digestibilité (> 95 %) et une composition en acides aminés indispensables particulièrement bien équilibrée (**Richonnet, 2016**).

Les protéines jouent un rôle majeur dans la texture des fromages car elles constituent la seule phase solide continue. Toute diminution du taux des protéines dans le fromage fondu aura une répercussion sur ses propriétés rhéologiques (Kfoury *et al.* 1989).

5.2. Analyses microbiologiques

5.2.1. La poudre d'épinards

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur la poudre de feuilles d'épinards sont récapitulés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques de la poudre d'épinards séchée.

Germes recherchés	La poudre d'épinards
FTAM à 30°c	Présence
Clostridium sulfito réducteurs	Absence
Levure et moisissures	Présence
Spoires anaérobies gazogènes	Absence
<i>Staphylocoques</i>	Absence
<i>Entérocoques</i>	Absence
<i>Streptocoques</i> la famille D	Absence
<i>Escherichia coli</i>	Absence

D'après les résultats des analyses microbiologiques de la poudre d'épinards obtenue par séchage, nous pouvons constater une absence totale des germes pathogènes ainsi qu'une présence de quelques germes non pathogènes (Flore totale aérobie mésophile et levure et moisissures) et cela peut être attribué à l'absence du traitement thermique pour la préservation de la valeur nutritionnelle.

5.2.2. Produit fini

Les contrôles microbiologiques des fromages fondus formulés sont obligatoires et ont pour objectif de détecter les microorganismes pouvant être responsables de ces altérations, et de vérifier l'efficacité des technologies après leur application afin de stocker et de commercialiser les produits microbiologiquement stables (Annexe 8).

Le tableau 9 représente les résultats des analyses microbiologiques du produit fini.

Tableau 9 : Résultats des analyses microbiologiques des fromages fondus examinés.

Germes recherchés	Fromages fondus enrichie en poudre d'épinards				Témoin	Norme
	0.5%	1%	1.5%	2%		
FTAM à 30°c	Présence	Présence	Présence	Présence	Absence	(3300).105
Clostridium sulfito réducteurs	Absence	2 colonies	2 colonies	1 colonie	Absence	<50
Levure et moisissures	Présence	Présence	Présence	Présence	Absence	102/g
Spores anaérobies gazogènes	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Staphylocoques	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	10/100Ufc (2/5)
Streptocoque la famille D	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	10 germes/g
Salmonella sp	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence/25 g (0/5)
Escherichia coli	Absence	Absence	Présence	Présence	Absence	100/1000

D'après les résultats microbiologiques du produit fini obtenus nous remarquons la présence des germes non pathogènes qui est due à l'absence du traitement thermique et une absence de tous les germes pathogènes sauf celle d'*Escherichia coli* avec tolérance. Cependant, d'après les recommandations exigées par l'entreprise FALAÏT spa notre produit fini est conforme aux normes en vigueur.

5.3. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle nous a permis de classer les quatre essais de formulations sur la base de fiche de dégustation renseignée par les dégustateurs volontaires (Annexe 9).

- ✦ La texture et le goût ont la même réponse pour l'ensemble des sujets, nous n'avons donc pas relevé de changement important de texture par rapport au fromage fondu témoin et pas de mauvais goût.
- Pour l'essai avec la dose de 0.5 g/100g, 93.55% des dégustateurs ont très légèrement senti le goût d'épinard mais 16% préfèrent ce goût.
- Par contre pour l'essai avec la dose de 2g/100g, 96% des dégustateurs ont senti le goût très fort de l'épinard mais 93.45% n'ont pas qualifié ça. En parallèle 6.45% ont fortement apprécié ce goût.
- Pour l'essai avec la dose de 1.5g/100g, l'ensemble de dégustateurs l'ont jugé moyen mais 9.67% des dégustateurs ont préféré cette formulation.
- L'essai avec la dose 1g/100g est qualifié équilibré et a eu le pourcentage le plus élevé.
- ✦ La couleur a été jugée très agréable par 100% du jury de dégustation pour les fromages fondus formulés avec les doses de 0.5g/100g et 1g/100g de poudre d'épinards. Par contre la couleur vert foncé a été plus marqué dans les essais avec les doses de 1.5 et 2 g/100g et a été jugée désagréable par 100% des dégustateurs.
- L'odeur a été jugée désagréable pour le fromage fondu formulé avec la dose 2g/100g, mais agréable pour le fromage avec la dose 1.5g/100g et très agréable pour les fromages avec la dose de 0.5 et 1 g/100g.
- ✦ Pour l'appréciation, l'ensemble des dégustateurs a jugé l'essai avec la dose de 0.5g/100g comme étant bon, qui est de même pour l'essai témoin, ainsi pour l'essai avec la dose de 1g/100g qui est jugé bon par 51.61% de dégustateurs. Cependant 9.67% des dégustateurs

ont jugé l'essai avec la dose de 1.5g/100g moyen et 6.45% des dégustateurs ont aimé l'essai avec la dose de 2g/100 mais ils ont jugé acceptable les autres, cela peut être due à l'habitude de consommer un produit qui comprend les caractères réguliers d'un fromage fondu. Néanmoins l'essai avec la dose de 2g/100g est jugé respectivement de 93.55% par les dégustateurs comme étant acceptable, 6.45% des dégustateurs l'ont aimé, ce jugement peut être s'expliquer par la variation des goûts des consommateurs.

D'après les résultats obtenus nous pouvons conclure que l'incorporation de la poudre d'épinard pour l'essai avec la dose de 1g/100 a modifié la saveur du fromage fondu avec une apparition moyenne du goût d'épinards et a fait apparaitre un nouveau goût équilibré et apprécié par la majorité des dégustateurs.

5.3.1. Résultats du test de classement

Les résultats de classement des fromages fondus selon les préférences des dégustateurs sont indiqués dans le tableau 10 et illustrés sur la figure 13.

Tableau 10 : Classement des essais des fromages fondus formulés.

Classes	Pourcentages
1 ère classe : Dose 2 : fromage aux épinards avec la dose de 1 g/100g	51,61%
2eme classe : Dose 1 : fromage aux épinards avec la dose de 0,5g/100g	16%
3eme classe : Dose 3 : fromage aux épinards avec la dose de 1,5g/100g	9.67%
4em classe : Dose 4 : fromage aux épinards avec la dose de 2g/100g	6.45%

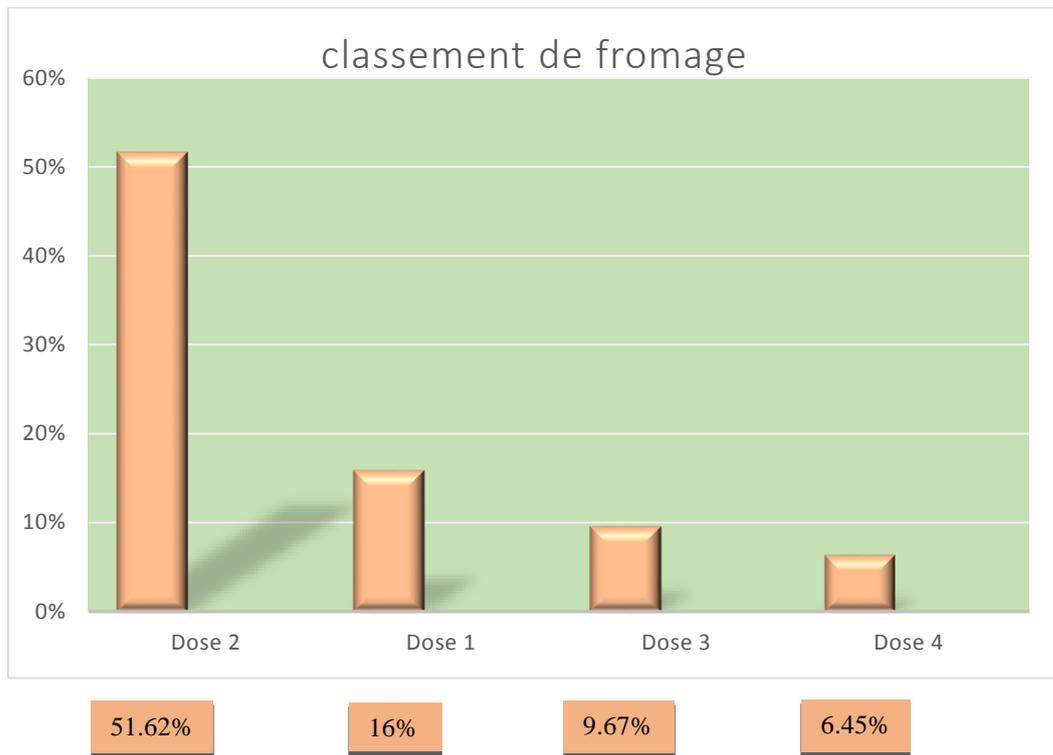
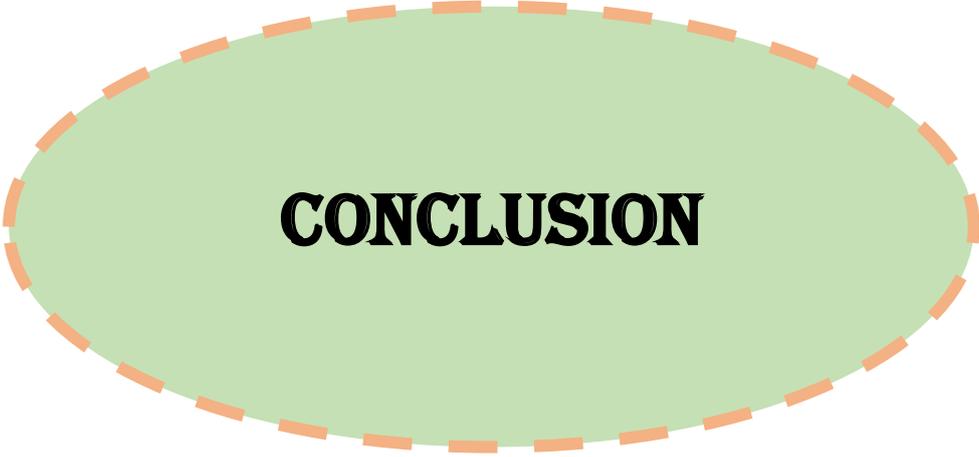


Figure 13 : Classement des fromages fondus formulés.



CONCLUSION

Cette étude a été menée dans le but d'évaluer l'effet de l'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu sur ses qualités physicochimique, microbiologique, nutritionnelle et organoleptique.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que l'addition de la poudre d'épinards dans la formulation des fromages fondus présente un effet positif sur la teneur en protéines (10.49-14.29%) et le taux d'extrait sec total (41.39-43.82%).

Les analyses microbiologiques de la poudre d'épinards ont montré une absence totale des germes pathogènes et une présence de quelques germes non pathogènes notamment les probiotiques.

Concernant les analyses microbiologiques du produit fini, la présence de quelques germes pathogènes et de quelques germes non pathogènes a été notée.

Les analyses sensorielles ont montré une acceptabilité par les dégustateurs de tous les fromages fondus formulés et ont surtout révélé une préférence pour celui enrichi par 1g de poudre d'épinards.

De ce fait, nous pouvons dire que l'incorporation de la poudre d'épinards dans la fabrication du fromage fondu a contribué à l'amélioration de ses caractéristiques organoleptiques notamment son goût, son odeur et sa couleur et à son enrichissement nutritionnel ainsi qu'à la diversification de la gamme des fromages fondus.

Pour conclure, ce travail mérite d'être complété par d'autres études plus approfondies, qui permettront de :

- ✓ Trouver des méthodes efficaces pour le séchage et la stérilisation des feuilles d'épinards avant leurs incorporations dans le fromage fondu afin d'assurer sa conformité aux normes.
- ✓ Réaliser des études comparatives sur la composition en fer, en fibres alimentaires, en antioxydants et en vitamines.
- ✓ Lancement et commercialisation du fromage fondu enrichi en poudre d'épinards sur le marché algérien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

A

- **AFNOR. (1983).** Recueil des normes Françaises, lait et produits laitiers.
- **AFNOR. (1986).** Contrôle de la qualité des produits laitiers. Ed. AFNOR. Paris : p (222-321).
- **Agraphid, Monnet Y., Hulle M., Ighil E.T. et Robert Y., (1999).** Les pucerons des plantes maraîchères : cycles biologiques et activités de vol.136.
- **Ankita K.P.** Characterization of dehydrated functional fractional spinach powder. *Biotechnol. Indian J.* (2015); 11: 426-435.
- **Anne-Cécile fournet-fayard. (2017).** Analyse sensorielle <http://www.delicesdinities.fr/>.
- **Anonyme 01.** <https://www.lespritjardin.be/mache-ou-salade-des-bles-et-epinard-dautomne-quelles-precautions-prendre-pour-les-semis/>
- **Anonyme 03.** <http://www.jardinage.eu/article/epinard-182>
- **Anonyme 04.** <https://www.rxlist.com/spinach/supplements.htm#>
- **Anonyme 05.** <https://www.transparencymarketresearch.com/spinach-powder-market.html#:~:text=Moreover%2C%20spinach%20powder%20is%20used,it%20in%20their%20diet%20plan.>
- **Anonyme 06. JORA DZ N°42. (2005) :** Arrêté du 23 janvier 2005 rendant obligatoire une méthode de recherche des salmonella dans le lait et les produits laitiers.
- **Anonyme02.** <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-aliments/epinard/composition>
- **Asai A. Terasaki M. Nagao A.** An epoxide-furanoidrearrangement of spinach neoxanthin occurs in the gastrointestinal tract of mice and in vitro: formation and cytostatic activity of neochrome stereoisomers. *J. Nutr.* (2004); 134: 2237-2243.

B

- **Banville, C.; Vuilleumard, J. C.; Lacroix, C.** Comparison of different methods for fortifying cheddar cheese with Vitamin D. *Int. Dairy J.* (2000), 10(5–6), 375–382. DOI: 10.1016/S0958-6946(00)00054-6.

- **Bauer W.J., Badoud R., Loliger J., Etaurnaud A. (2010).** Science et ère Technologie des Aliments, chap. 3 Lipides, chap. 11 Analyse Sensorielle, 1 éd. Presses polytechniques et universitaires, Italie, ISBN : 978-2-288074-754-1, p. 636-643, p. 167-168.
- **Benamara, R.N., (2017).** Identification et caractérisation de spores de Bacillus cereus isolées de fromages fondus fabriqués en Algérie. Thèse de Doctorat, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Tlemcen. 161 P.
- **Benoit Goldschmidt on 21 July (2020).** <https://www.researchgate.net/profile/Benoit-Goldschmidt>.
- **Boudjerare, H. and Messaoudi, R., (2018).**Caractérisation physico-chimique et microbiologique du fromage Bouhezza au cours de sa conservation : Détermination d'une date limite de conservation (DLC). Thèse de Master, Université de Larbi Ben M'hidi Oum El- Bouaghi, Oum El-Bouaghi. 80 P.
- **Bougeois, C.M. and Leveau, J.Y., (1980).** Le contrôle microbiologique, technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaire. Technique et documentation, Lavoisier.480 p.
- **Boullard B., (2001).** Plantes Médicinales Du Monde : Croyances Et Réalités. Ed. Estem, 636.
- **Boutonnier J-L. (2000).** Fabrication du fromage fondu : technologie de fabrication et contrôle qualité. Ed Technique De L'ingénieur. Paris.

C

- **Carole.L et Vignol.A.M. (2002).** Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed, presses internationales polyethniques, Québec Inc, 600p.
- **Chaiti, H. and Zermane, R., (2019).** Validation et vérification des paramètres de production de fromage fondu et mise en place d'un protocole de contrôle car de l'entreprise Celia. Thèse de Master, Université de Blida 1, Blida. 105P.
- **Chambre M. et Daurelles J. (1997).** Le fromage fondu. In : Eck A. et Gillis J. C. (Coordinateurs). Le fromage. Paris : Technique et documentation Lavoisier, 3rd Ed, pp. 691 708.
- **Chérifi, N. and Riane, A., (2017).** Vérification de la mise en place du système HACCP auniveau de la fromagerie SARL PROMASIDOR (Fromage fondu en portion « Le Berbère »).Mémoire de Master II. Université Blida 1. Blida 260 P.
- **Commission du codex Alimentarius. (2016).** Projet d normes générale. Rome.

- **Crédoc, (2013).** CCAF. Tris spécifiques. CNIEL.

D

- **Debry G. (2001).** Lait, Nutrition et santé. Tec et Doc. Lavoisier.
- **Deshoux A. (2020).** Le marché des fromages (fondu) en Algérie. Bretagne Commerce International info.
- **Dimitreli G., Thomareis A.S. and Smith P.G. (2005).** Effect of emulsifying salts on casein peptization and apparent viscosity of processed cheese. *Int J Food Eng*, 1(4), p. 1-17

E

- **Eck A. et Gillis J.C. (2006).** Le fromage. 3^{eme} Ed. Tec et Doc, Lavoisier. Paris. 891 p.
- **Eck A., et Gillis J. C. (1997).** Le Fromage. Paris : Technique et documentation Lavoisier, 3rd Ed.
Eck A., et Gillis J. C. (1997). Le Fromage. Paris : Technique et documentation Lavoisier, 3rd Ed.
- **El-Sayad, (2020).**<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03278>.

F

- **Fernández-Segovia I, Lerma-García M.J. Fuentes A. Barat J.M.** Characterization of Spanish powdered seaweeds: composition, antioxidant capacity and technological properties. *Food Res. Int.* (2018); 111: 212-219.
- **Foegeding E. A., Çakir E., and Koç H. (2010).** Using dairy ingredients to alter texture of foods: Implications based on oral processing considerations. *Int Dairy J*, 20, 562-570.
- **Fox P.F., GUINEE T.P., COGAN T.M., MC SWEENEY P.L.H. (2000).** Fundamentals of cheese science. Maryland: Aspen Publishers Inc. p. 429–451.
- **Fox P-F, Guinee T-P, Cogan T-M, McSweeney P-L-H. (2000).** Processed cheese and substitutes or imitation cheese products. *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publications. Gaithersburg, 429-423.
- **Fredot, E. (2006).** Connaissance des aliments. Bases alimentaires et nutritionnelles de l'adiététique (éd. Tec. Et doc) Lavoisier, paris. Pp59-87.
- **Fredot, E. (2005).** Connaissance des aliments. Paris : TEC & DOC, Lavoisier. P360.

G

Références bibliographiques

- **Gelais-St.D., Tirard-C.P., Belonger G., Couture R. et Drapeau R. (2002).** Fromage. In : Vignola CL. Sciences et technologies du lait, transformation de lait. Presses. Internationales, polytechniques, Québec, pp. 349-412.
- **Ghezali et al., (2016).** Caractérisation physicochimique et microbiologique du fromage fondu, « Le Picon » de la fromagerie Bel Algérie, Thèse de Master, Université Saad Dahleb –Blida 1, 27 P.
- **Guiraud J. et Galzy P. (1980).** L'analyse microbiologique dans l'industrie alimentaire. Edition : l'Usine Nouvelle. Paris. 234p.
- **Guiraud J-P., (1998).** Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, 651p.
- **Guiraud, J.P., (2003).** Alimentaire. Paris : Dunod. P.

J

- **Joffin, C et Joffin, J.N. (2010).** Microbiologie alimentaire. DOC.PED, Bordeaux. P.
- **JORF (Journal Officiel de La République Française), (2007).** Décret n° 2007-628(2007, 27avril): Relatif aux fromages et spécialités fromagères (JORF du 29/04/2007).Modifiée par:Décision n° 307014 du Conseil d'Etat du 28 octobre 2009 (non publiée au JORF),Décret2013-1010 du 12 novembre 2013 (JORF du 14/11/2013), Décision 374602 du 17 avril2015 (JORF du 23/04/2015) Applicable au 1er septembre 2015.

K

- **Kfoury M., Mpagana M., and Hardy J. (1989).** Influence de l'affinage sur les propriétés rhéologiques du camembert et du saint-paulin. Le lait, 69 (2), 137-149.

L

- **Lacoste S., (2014).** Ma bible de la phytothérapie : Le guide de référence pour se soigner avec les plantes. Leduc.s Éditions, 648.
- **Larpent J. P. (1997).** Microbiologie alimentaire techniques de laboratoire. Ed. Technique et documentation, lavoisier. Paris11p.
- **Legrand P. (2008).** Intérêt nutritionnel des principaux acides gras des lipides du lait.Cholédoc, P. 105.
- **Longnecker M.P. Newcomb P.A. Mittendorf R. Greenberg R. Willet W.** Intake of carrots, spinach, and supplements containing vitamin A in relation to risk of breast cancer. Cancer Epidemiol. Biomark. Prev. (1997); 6: 887-892.
- **Luquet F.M. (1985).** Lait et produits laitiers, vaches, brebis et chèvre. Tome 2, 2ème édition. Edition Techniques et Documentation -Lavoisier, Paris, 632p.

M

- **Magri, W. Belarouci, M. and Meriouli, Y., (2016).** Contribution à l'étude de la qualité physico chimique et microbiologique du fromage fondu pasteurisé. Thèse de Master, Université M'hamedBougara Boumerdes, Boumerdes. 80 P.
- **Mahaut M. Jeantet R. et Brulé G. (2000).** Initiation à la technologie fromagère. Ed. Tec et Doc, Lavoisier. Paris.194 p.
- **Małgorzata Kowalska. Sławomir Janas. Magdalena Woźniak.** Innovative application of the moisture analyzer for determination of dry mass content of processed cheese. Heat and Mass Transfer volume 54, pages3071–3080 (2018)
- **Mappa D.(2010).** Les productions légumières. Educagri éditions, dijon. 163.
- **Mariasaarila, (2007).** functional dairy products, CRC Press, England, Vol,2, p 418.
- **Mazoyer M.,(2002).** Larousse agricole, le monde paysan au XXIe siècle. Ed. Lavoisier, Paris, 770.
- **Meyer A. (1973).** Processed Cheese Manufacture. Food Trade Presss Ltd, 201.
- **Munro D. B. et Small E., (1998).** Les légumes du Canada. Ed. NrcResearchPress. 436.

R

- **Recham, R., (2015).** L'essentiel De L'agroalimentaire Et L'agriculture Le Marché des Industries Alimentaires en Algérie. N°97.13-14.
- **Richonnet C. (2016).** Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. Cahier de nutrition et de diététique. Fromagerie Bel, Paris, 2-9.
- **Rogers N. R., McMahon D. J., Daubert C. R., Berry T. K., and Foegeding E.A. (2010).** Rheological properties and microstructure of cheddar cheese made with different fat contents. J Dairy Sci, 93(10), 4565-4576.
- **Roustel S, Boutonnier J-L. (2015).** Fromage fondu : technologie de fabrication et contrôle qualité. Technique de l'ingénieur, 31-35.
- **Roustel S. et Boutonnier J.L. (2015).** Fromage fondu : Technologie de fabrication et contrôle qualité. Techniques de l'ingénieur, F6311 : 1 : 1-19.

T

- **Tamime A. Y. (2011).** Processed cheese and analogues: An overview. Processed cheese and analogues. Oxford, UK.
- **Thierry, M., (2012).** Fabrication des fromages, Dangers, règlements et normes, technique de l'ingénieur, F9000 v1.

U

- **Ugo Picciotti, Alessandro Massaro, Angelo Galiano & Francesca Garganese (2021):** Cheese Fortification: Review and Possible Improvements, Food Reviews International, DOI: 10.1080/87559129.2021.1874411.
- **Upreti, P.; Mistry, V. V.; Warthesen, J. J.** Estimation and fortification of Vitamin D3 in pasteurized processcheese. J. Dairy Sci. (2002), 85(12), 3173–3181. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74405-6.

V

- **Vazquez E. Garcia-Risco M. Jaime L. Reglero G. Fornari T.** Simultaneous extraction of rosemary and spinach leaves and its effect on the antioxidant activity of products. J. Supercrit. Fluids. (2013); 82: 138-145.
- **Vignola, C.L. (2002).** Science et technologie du lait –Transformation du lait, École polytechnique de Montréal.

W

- **Wang Y. Chang C.F. Chou J. Chen H.L. Deng X. Harvey B.K. Cadet J.L. Bickford P.C.** Dietary supplementation with blueberries, spinach, or spirulina reduces ischemic brain damage. Exp. Neurol. (2005); 193: 75-84.

Z

- **Zeller, B., (2005).** Le fromage de chèvre : spécificités technologiques et économiques. Thèse de doctorat en science vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse, France. 78 P.

ANNEXES

Annexe 01 : Séchage à l'air libre.

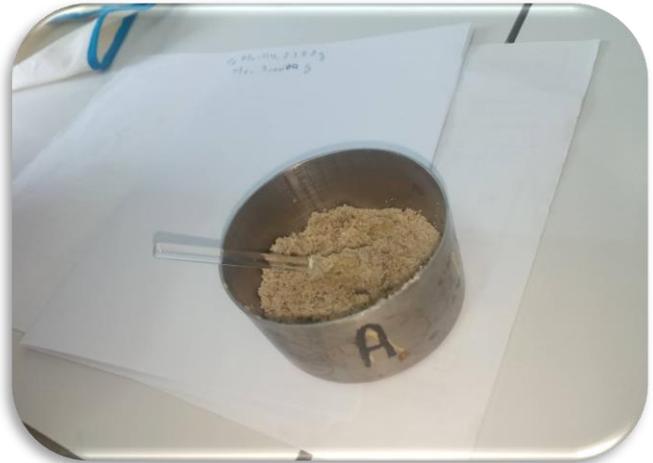
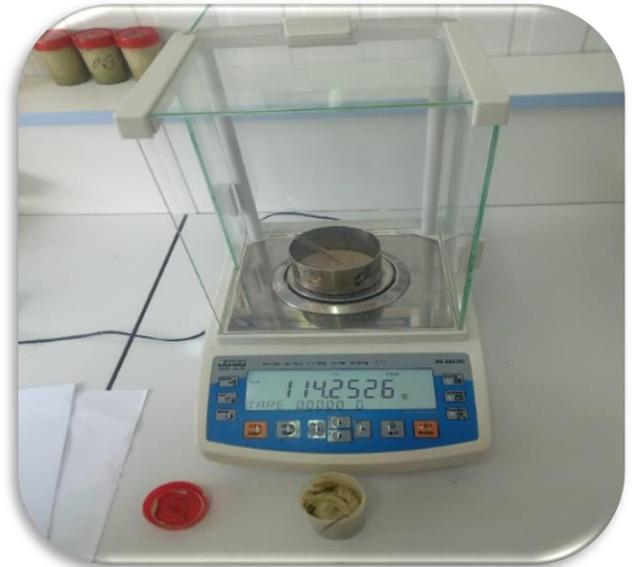


Annexe 02 : Photo originale de l'incorporation de la poudre d'épinards dans le fromage fondu.



Annexe 03 : Photo Originale de la détermination du Ph.





Annexe 04 : Photos originales de la détermination de l'extrait sec total.

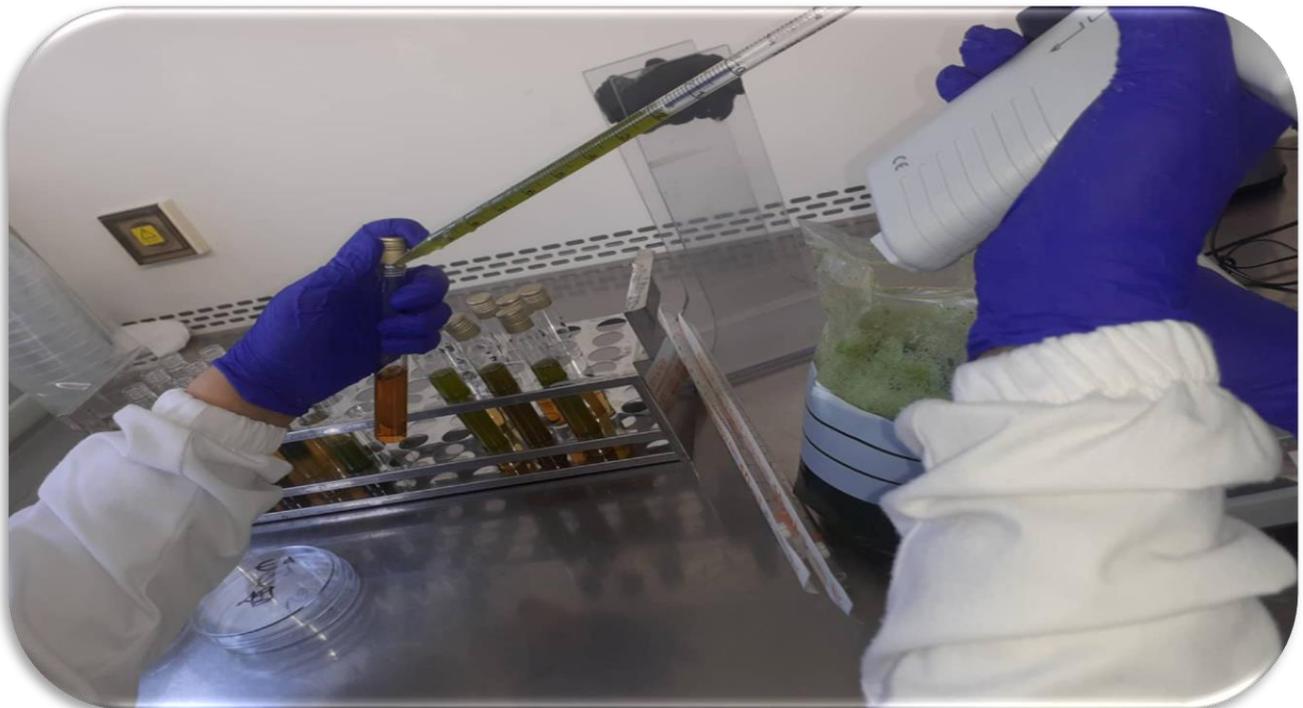
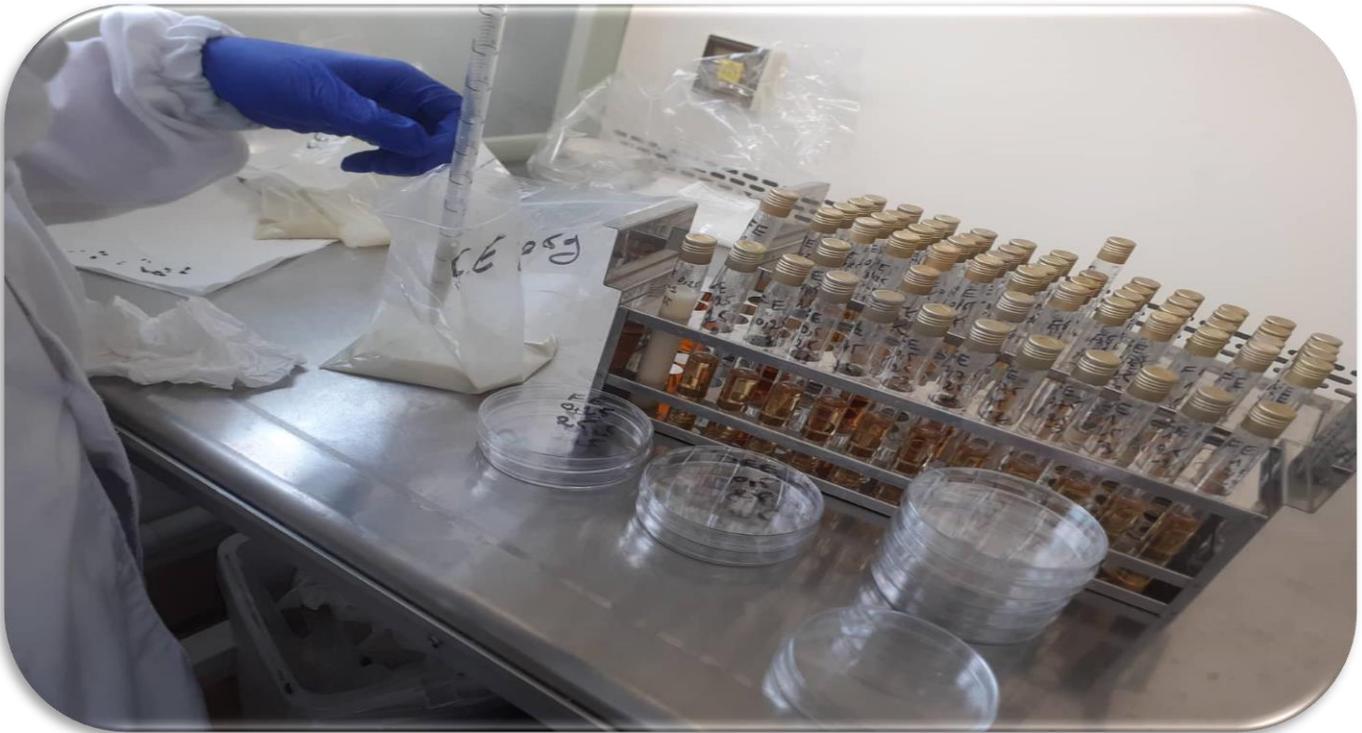


Annexe 05 : Photos originales de la détermination de la matière grasse.

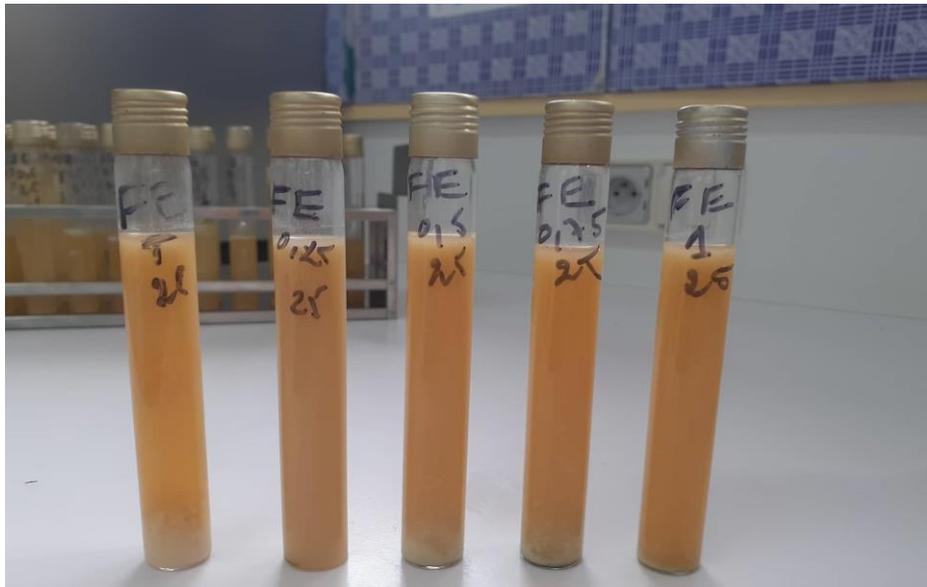
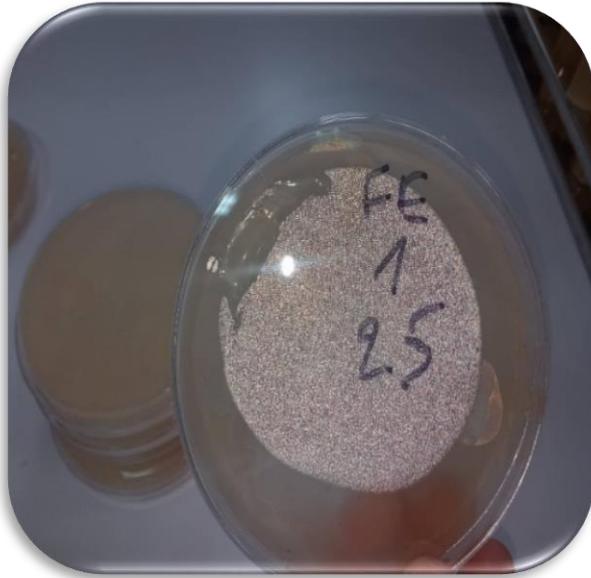


Annexe 06 : Photos originales de la détermination du taux de protéines.

Annexe 07 : Analyses microbiologiques.



Annexe 08 : Résultats des analyses microbiologiques.





Appréciation	Fromage 1	Fromage 2	Fromage 3	Fromage 4	Fromage Témoin
Couleur					
Blanche					
Verte claire					
Verte foncée					
Gout					
Mauvais					
Moyen					
Bon					
Texture					
Ferme					
Molle					
Tendre					
Odeur					
Peu agréable					
Agréable					
Très agréable					

Annexe 09 : Fiche de dégustation.