

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des sciences agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de master académique en
Sciences alimentaires
Spécialité: agroalimentaire et contrôle de la qualité

Thème

Caractéristiques Physicochimiques, Nutritionnelles, et Sensorielles de Cinq Marques de Fromage « Fondu/Analogue » Commercialisées en Algérie

Réalisé par : Lazoul Brahim

Devant le jury:

Président :	M. BENGANA M.	Maître de conférences B (UMMTO)
Promotrice :	Mme BENTAYEB S.	Maître assistante A (UMMTO)
Co- Promotrice :	Mme FEDALA N.	Maître assistante A (ESSAIA)
Examinatrice :	Mme Lami S.	Maître de conférences B (UMMTO)

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord **Mme BENTAYEB S.** Maître assistante « A » à (UMMTO) pour avoir encadré ce travail. Je tiens à vous remercier pour votre aide précieuse, vos conseils, votre objectivité, vos conseils précieux qui ont fait progresser ce travail. Il m'est aussi d'un agréable devoir de votre disponibilité, votre rigueur scientifique, et je vous adresse un grand merci pour la sympathie, la confiance et la liberté d'action dont j'ai bénéficié tout au long de ce mémoire. Soyez assurée de ma sincère estime.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à **Mme FEDALA N.** qui a accepté de co-encadrer ce travail. Je la remercie pour m'avoir permis de passer mon stage pratique chez Falait.

Je tiens à exprimer ma respectueuse reconnaissance à **M. BENGANA M.** Maître de conférences « B » à (UMMTO), pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury de ce travail.

Mes reconnaissances vont également à **Mme LAMMI S.** Maître de conférences « B » à (UMMTO), qui m'a fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail. Veuillez accepter mes plus vifs remerciements pour votre présence dans ce jury et soyez assurée de tout mon respect et de ma profonde gratitude.

J'exprime également mes sincères remerciements au personnel de l'entreprise FALAIT à Rouïba, particulièrement **M. BOUKLI H.**, le directeur de l'unité de production (Cheezy et Tartino) pour avoir mis à ma disposition les moyens humains et matériels.

Je voudrais adresser mes remerciements au personnel du laboratoire pédagogique de physicochimie de département agronomie (UMMTO) en particulier **Mme CHAOUCHI D.** Et aussi l'équipe de laboratoire pédagogique de chimie pharmaceutiques et laboratoire de recherche de chimie appliqué et génie chimie à Hasnaoua et aussi l'équipe de laboratoire des analyses chimiques de l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIES AZAZGA en particulier **Mme ABDELLAOUI.** Que les participants des séances sensorielles soient remerciés pour leur disponibilité et leur application.

Mes sentiments de reconnaissance et mes remerciements vont aussi à toute personne ayant participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A mes très chers PARENTS

A qui je dois ce que je suis

Je leur exprime ma profonde gratitude pour

Les sacrifices consentis pour mon éducation,

La bienveillance avec laquelle ils m'ont toujours entourée,

Et le soutien qu'ils n'ont jamais cessé de m'apporter

Sommaire

Introduction générale	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Fromage fondu	
1. Fromage fondu	4
1.1. Historique	4
1.2. Définitions normatives et réglementaires	4
1.3. Les principaux avantages du fromage fondu	5
1.4. Les différents types des fromages fondus	5
1.5. Caractéristiques des fromages fondus	6
1.5.1. Caractéristiques physicochimiques	6
1.5.2. Caractéristiques Nutritionnelles	8
Chapitre II : Fromage Analogue	
1. Fromage analogue	16
1.1 Définition	16
1.2. Classification	17
1.3. Législation	17
1.3.1. En Europe	17
1.4. Les raisons du développement du fromage analogue	18
1.5. Matières premières	19
1.5.1. Matières premières laitières	20
1.5.2. Matières premières non laitières	22
1.5.3. Les sels de fonte	24
1.5.3.1. Définition	24
1.5.3.2. Rôles technologiques des sels de fonte	24
1.5.3.3. Classification des sels de fonte	25
1.5.3.4. Choix du sel de fonte	26
Chapitre III : Technologie de Fabrication des fromages fondus/Analogues	
1. Rôle technologique des différents ingrédients	28
2. Les étapes de fabrication de fromage fondu/fromage analogue	30
3. Défauts de fabrication de fromage fondu	37
PARTIE PRATIQUE	
Chapitre IV : Matériels et Méthodes	
1. Objectif de l'étude	40
2. Echantillonnage	40

2.1. Prélèvement et présentation des échantillons	41
3. Analyses physicochimiques	45
3.1. Détermination du pH	45
3.2. Détermination de la teneur en cendres	46
3.3. Mesure de l'extrait sec	47
3.4. Détermination de l'acidité titrable	48
3.5. Détermination de la teneur en matière grasse	49
3.6. Détermination de la composition en acide gras	51
3.7. Détermination de la teneur en protéines	55
3.8. Détermination de la teneur en lactose	56
3.9. Détermination de la teneur en chlorure de sodium	58
4. Détection de produits amylacés	59
5. Quantification des Acides Gras Trans	60
6. Détermination des teneurs en minéraux	61
7. Caractérisation sensorielle	70
8. Traitement Statistique des données	71

Chapitre V. Résultats et Discussions

1. Résultats des analyses physicochimiques	73
1.1. Acidité titrable	73
1.2. Taux de cendres	74
1.3. Taux de l'extrait sec	75
1.4. Taux de matières grasses (MG) et Rapport G/S	77
1.5. Taux de l'humidité	80
1.6. Taux de chlorure de sodium	81
1.7. Taux de protéines	84
1.8. Taux de Lactose	85
1.9. pH	87
2. Détection de produits amylacés	88
3. Minéraux	89
3.1. Calcium	89
3.2. Sodium	91
3.3. Potassium	95
3.4. Magnésium	97
3.5. Fer	99
3.6. Rapport Na/K	101
4. Quantification des Acides Gras Trans	101
5. Détermination de la composition en acide gras	107
6. Résultats de L'Analyse sensorielle	110

Conclusion et Perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Facteurs intervenant sur les caractéristiques des fromages fondus	15
2	Classification des fromages analogues	17
3	mode d'action des sels de fonte	24
4	Fonctionnement des sels de fonte avant et après	30
5	Broyeur	31
6	Cuiseur	31
7	Mélangeur	31
8	Unité de traitement UHT	32
9	Cuve se crémage	33
10	Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère	33
11	Conditionneuse	34
12	Chambre de froid	36
13	Processus de fabrication de fromage fondu	37
14	Protocole de l'échantillonnage	43
15	Les marques de fromage analysées	44
16	Principe de la CPG	52
17	Spectroscopie infrarouge en mode transmission (IRTF)	61
18	Principe de la spectroscopie à absorption atomique (SAA)	62
19	Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme	63
20	Questionnaire D'analyse Hédonique	70
21	Acidité titrable des différents échantillons analysés	73
22	Taux des cendres dans les échantillons analysés	74
23	Taux d'extrait sec total des différents échantillons analysés	75
24	Teneur en matière grasse des échantillons analysés	77
25	rapport G/S (B) des différents échantillons analysés	78
26	Valeurs de l'humidité des différents fromages étudiés	80
27	Taux de NaCl des différents des échantillons analysés	82
28	Taux de protéines des différents échantillons analysés	84
29	Taux de lactose des différents fromages étudiés	86
30	Valeurs de pH des différents échantillons analysés	87
31	Taux de calcium des différents échantillons analysés	89
32	Taux de sodium des différents échantillons analysés	92
33	Taux de potassium des différents échantillons analysés	95
34	Taux de Magnésium des différents échantillons analysés	97
35	Taux de fer des différents échantillons analysés	99
36	le Rapport Na/K des différents échantillons analysés	101
37	Les Spectres infrarouge des fromages analysés	102
38	Spectres Infra-Rouge d'une huile hydrogénée	104
39	superposition de 10 spectres de beurre pour évaluer la répétabilité spectrale	105
40	valeurs moyenne des notes d'appréciation hédoniques des fromages fondus étudié	110
41	Profils sensoriels des fromages analysés.	111

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Composition nutritionnelle du fromage fondu	8
II	Teneurs en calcium et en phosphore et ratio calcium/phosphore des produits laitiers	11
III	Couverture des besoins en potassium avec les produits laitiers à raison de 4 portions journalières	12
IV	Couverture des besoins en magnésium avec les produits laitiers à raison de 4 portions journalières	13
V	Quantités des vitamines dans 100g de fromage fondu	14
VI	Les ingrédients utilisés dans la fabrication du fromage analogues	28
VII	Les défauts d'origine chimique ou physique après conditionnement de fromage fondu	38
VIII	Description des échantillons de fromages étudiés	44
IX	Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques	54
X	les différentes solutions de la gamme étalon et leurs concentrations (SAA)	65
XI	Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des minéraux par (SAA)	66
XII	Caractérisation physicochimique des fromages étudiés	72
XIII	les teneurs en calcium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs	90
XIV	les teneurs en sodium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs	92
XV	les teneurs en de potassium dans les fromages fondus cités par les auteurs	96
XVI	les teneurs en Magnésium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs	98
XVII	les teneurs en fer dans les fromages fondus cités par les différents auteurs	100
XVIII	Composition en acides gras des fromages fondus/analogues analysées	108

Liste des abréviations

AA: Acide aminé

A.C.I.A: Agence Canadienne de l'Inspection des Aliments

AFNOR: Association française de normalisation

A.C.I.A: Agence canadienne d'inspection des aliments

AG: Acide gras

AGS: Acides gras saturés

AGt: Acides gras trans

ANSES: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail– France

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

C. C. I. L: Centre Canadien d'Information Laitière

CACQE: Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage

CCAF: Comportements et consommations alimentaires en France

CNIS: Centre National de l'Informatique et des Statistiques – Algérie

CNRC: Centre National du Registre du Commerce – Algérie

D-A-CH: Sociétés de nutrition allemande, autrichienne et suisse

EFSA : L'Autorité européenne de sécurité des aliments

FDA: Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux

JORADP: Journal Officiel de La République Algérienne

JORF: Journal Officiel de La République Française

ISO : Organisation internationale de standardisation

IR: Infra-rouge

IRTF: Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

NA: Norme Algérienne

OMS : Organisation mondiale de la santé

PNNS : Programme national nutrition santé (PNNS) – France

SAA: Spectrométrie d'absorption atomique

UE : Union Européenne

UHT: Ultra Haute Température

USDA : Département de l'Agriculture des États-Unis

Introduction générale

Les fromages fondus sont des produits laitiers de seconde transformation, mélanges d'un ou de plusieurs fromages à différents stades d'affinage et d'ingrédients laitiers, fondus ensemble sous l'action de la chaleur pour former une pâte onctueuse. Fromages modernes dont le goût accessible et la présentation, souvent en portion individuelle, séduisent un grand nombre de consommateurs à travers le monde, et notamment les enfants, leurs profils nutritionnels et leurs contributions en font une véritable portion de produit laitier. Ils contribuent ainsi efficacement aux apports en calcium et à l'atteinte des recommandations de consommation de trois produits laitiers par jour, à condition de choisir les recettes apportant le plus de calcium et le moins de lipides et de sodium. **(Richonnet, 2016)**

L'Algérie, a connu ces deux dernières décennies un fort développement des filières agro-alimentaires notamment l'industrie de transformation laitière et fromagère. L'Algérie compte 159 unités de transformation fromagère enregistrées au centre national du registre du commerce **(CNRC, 2018)**. Ces unités sont réparties à travers tout le territoire Algérien, cependant elles ne sont pas toutes en activité.

Les fromages les plus produits et les plus consommés en Algérie sont les fromages fondus. La quantité consommée a été de 101 273 tonnes en 2015 soit une moyenne de 2,51 kg/an/habitant **(CNIS, 2015)**.

Les fromages analogues sont décrits comme des produits qui ressemblent au fromage, qui sont fabriqués selon la technique de fabrication du fromage fondu, mais dans lesquels la matière grasse du lait a été partiellement ou complètement remplacées par d'autres matières grasses **(Commission codex alimentarius, 2004)**. Par conséquent, il a été suggéré par **Shaw (1984)** qu'en réponse à l'augmentation des coûts de fabrication du fromage fondu, les produits d'imitation ont été développés pour répondre à la demande dans les établissements de restauration rapide les pizzerias, pour les aliments cuisinés et les aliments formulés **(Bachmann, 2001)**

La graisse végétale est plus économique que la matière grasse laitière, malgré l'inconvénient de leur richesse en acides gras saturés, et leur impact négatif sur la santé humaine **(Bachmann, 2000)**. Depuis de nombreuses années, les produits fromagers synthétiques ont été réalisés en remplaçant la matière grasse présente dans le fromage naturel par une autre, moins chère, graisse animale ou végétale. Dans presque tous les cas, les

fromages synthétiques sont offerts à moindre coût, ce qui était probablement le facteur le plus important dans l'acceptation initiale de ces produits laitiers synthétiques. Au cours des dernières années, et, avec la sensibilisation accrue du public aux dangers de cholestérol qui se trouve dans les graisses animales, les produits fromagers synthétiques dans lesquels la matière grasse est remplacée par une graisse végétale ont gagné en popularité (**Kong- Chan et al, 1991**).

Comme tout aliment transformé, le fromage fondu ou bien analogue tire ses spécificités de sa formulation mais aussi des procédés qui lui sont appliqués. Ses qualités sensorielles et nutritionnelles dépendent en partie de réactions physicochimiques qui favorisent l'apparition de composés à impact positif ou négatif sur la saveur du produit fini (**Bertrand, 2011**).

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire vise une meilleure connaissance des phénomènes physicochimiques intervenant pendant le procédé de fabrication du fromage fondu/analogue et une évaluation des caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles et aussi sensorielles de Cinq marques de fromage fondu/Analogue commercialisés en Algérie. Une attention particulière est prêtée à l'estimation de la qualité de la matière grasse et le profil en acides gras ainsi qu'à la teneur des sels minéraux majeurs présents dans ces fromages.

A cet effet, notre étude se structure de la manière suivante : Une partie bibliographique qui définit et catégorise les fromages fondu et les fromages analogues en deux chapitres distincts. Les processus de fabrication sont détaillés dans un troisième chapitre. Une partie pratique où nous décrivons la méthodologie de sélection, de préparation et d'analyse des échantillons et une partie où nous présentons et discutons nos résultats.

1. Fromage Fondu

1.1. Historique

Le lait étant très périssable, le fromage a été l'un des premiers moyens de sa conservation. Cependant, même le fromage n'offre qu'une stabilité relative et variable (**Richonnet, 2016**).

Par rapport à certains fromages dont l'existence remonte à plusieurs siècles, les fromages fondus sont récents : ils datent seulement du début du 20^{ème}. Les premiers essais eurent lieu en 1908. Trois ans plus tard, deux suisses, Walter Gerber et Fritz Stetter, inventent un procédé permettant de transformer une pâte d'emmental fondue et granuleuse en une émulsion stable pouvant se conserver longtemps. Les premiers fromages fondus sont nés. En 1917, une première usine voit le jour (**Paul, 2008**).

En 1929, les polyphosphates sont découverts. Ils sont utilisés comme sels de fonte pour la fonte du fromage et l'on met ainsi au point de nouveaux fromages fondus aux textures encore plus moelleuses. Un peu plus tard, on invente les portions individuelles et les célèbres triangles de Vache qui rit enveloppés de papier d'aluminium feront vite le tour du monde. Aujourd'hui, plus de 10 millions de portions de ce fromage fondu sont dégustées chaque jour sur la planète, soit 2500 portions toutes les 20 secondes (**Paul, 2008**).

1.2. Définitions normatives et réglementaires

Sur le plan réglementaire, la dénomination « fromage fondu » est réservée au produit obtenu par la fonte et l'émulsification, à l'aide de la chaleur (à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison équivalente), de fromage ou d'un mélange de fromages, additionné éventuellement d'autres produits laitiers.

Le fromage fondu présente une teneur minimale en matière sèche de 40 % de produit fini. Par dérogation, un fromage fondu allégé en matière grasse et dont la dénomination "fromage fondu" est complétée sur l'étiquetage d'une mention faisant état de cet allègement en matière grasse présente une teneur minimale en matière sèche de 30% de produit fini (**Décret n° 2013-1010, JORF N°0264, 2013**).

Pour le **Centre canadien d'information laitière**, le fromage fondu est l'aliment fabriqué par fragmentation et mélange thermique de la (des) variété(s) de fromage et/ou d'ingrédients facultatifs et d'additifs autorisés en une masse homogène. Le fromage fondu doit contenir au moins 51 % d'ingrédients laitiers, dont au moins 50 % sont du fromage

Les matières premières utilisées dans la fabrication des fromages fondus se distinguent en trois catégories: Catégorie «a» représente les fromages; Catégorie «b» englobe produits laitiers riches en matière grasse (par exemple, beurre, huile de beurre, crème, crème en poudre); Catégorie «c» est représentée par: lait et produits laitiers autres que ceux mentionnés ci-dessus (par exemple, laits concentrés, babeurre, laits en poudre, protéines de lait, poudres de lactosérum, lactose).

Le changement des techniques de transformation et de la composition entraînent des textures différentes allant de filant, tartinable, semi-solide à tranchable.

Les fromages fondus portant un ou des noms de variété sont des fromages fondus, tel que définis précédemment, caractérisés par l'utilisation en cours de fabrication d'une ou de plusieurs variétés de fromage figurant dans leur nom (**Codex alimentarius, 2015**).

- Dans le cas du fromage fondu (nom de la variété), le(s) fromage(s) utilisé(s) doit (vent) répondre aux normes de composition de la (des) variété(s) de fromage dénommée(s).

Le fromage fondu (nom de la variété) doit avoir une teneur totale en ingrédients fromagers d'au moins 51 %.

- Dans toutes les versions de fromage fondu, l'aliment fini doit contenir au plus 60 % d'humidité, sauf dans le cas des fromages fondus allégés (réduits en gras) qui peuvent contenir un maximum de 65 % d'humidité.

Le fromage fondu peut contenir les ingrédients sans danger et acceptables suivants : ingrédients laitiers et ingrédients laitiers modifiés, sel, vinaigre, édulcorants, arômes, assaisonnements, épices, condiments, chocolat, fruits, légumes, cornichons, noix, viande préparée ou en conserve, poisson préparé ou en conserve et additifs alimentaires autorisés.

Le nom de l'aliment doit être fromage fondu. Dans le cas d'ingrédients ajoutés dénommés, il doit être fromage fondu avec (nom des ingrédients ajoutés) (**C.C.I.L., 2005**).

1.3. Les principaux avantages du fromage fondu sont :

- Produit stabilisé par un traitement thermique, ce qui lui confère son aptitude à la conservation et permet sa commercialisation même sous des climats chauds.
- Produit à goût doux et régulier.
- Produit présentant une excellente valeur nutritionnelle du fait de l'origine laitier des matières premières utilisées.
- Produit à larges possibilités de présentation, d'usage et d'aromatisation : le produit peut être consommé à tout moment de la journée, à froid comme à chaud, pour le grignotage, le tartinage ou la cuisine (Eck et Gillis, 2006).

1.4. Les différents types des fromages fondus

Les produits issus de la fonte de fromages peuvent être regroupés en sept familles classées ici par ordre d'apparition sur le marché mondial :

- **Fromage fondu de type « bloc »**

Le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, comparable à celle d'un fromage classique. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée (Richonnet, 2016).

- **Fromage fondu type « coupe »**

Moins ferme que le bloc, mais non tartinable. Il contient 3 à 4 % 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

- **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). Ils existent principalement sous trois formes: La portion aluminium (la plus répandue), la présentation en barquette et, plus marginale, la présentation en tube (Tamime, 2011).

- **Fromage fondu ayant une texture « crème »**

Ils possèdent généralement un ratio caséines sur protéines totales plus faible que les fromages fondus tartinables. Ils conservent une propriété d'écoulement à température ambiante (caractère visqueux) et sont généralement conditionnés en barquettes, pots, tubes (Roustel, 2014).

- **Fromage fondu toastable (pour refonte)**

Originnaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheese-burgers.

Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle. Ils peuvent être produits à partir de fromages fondus de type « bloc », mais aussi après coulage dans un film plastique, suivi d'un refroidissement rapide, d'une préparation fromagère fondue dont la texture est obtenue, entre autres, par la gélification d'un hydrocolloïde (carraghénanes en général) (Boutonnier, 2000; Roustel, 2014).

- **Fromage fondu thermostable**

Issu d'une demande extrême-orientale, à 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. Ces préparations peuvent être appertisées, et les cubes de fromage fondu doivent rester intacts après la stérilisation (Oliveira et al., 2016; Richonnet, 2016).

- **Fromages frais fondus**

Ces fromages fondus sont obtenus à partir de fromages non affinés. De ce fait, ils présentent des caractéristiques sensorielles très différentes des autres produits. De texture courte et tartinable, ils sont généralement de couleur blanche et ont des saveurs plus lactiques (Roustel, 2014).

1.5. Caractéristiques des fromages fondus

1.5.1. Caractéristiques physicochimiques

Ses principales caractéristiques sont :

- **pH**

Le pH du fromage fondu varie entre :

- 5,3 à 5,8 **Eck et Gillis (1997)**
- 5,4 et 5,8 **Roustel (2014)**
- 5,50 à 5,55 **Roustel et Boutonnier (2015)**

Le pH final a des effets significatifs sur la qualité, la microstructure et le type d'interactions entre les protéines dans le fromage fondu (**Marchesseau et al., 1995**).

Le pH agit à plusieurs niveaux, son effet intervient dès le processus d'échanges d'ions. en effet, l'augmentation du pH provoque un accroissement de la charge négative des protéines et améliore l'action des sels de fonte, ce qui facilite la deuxième phase du processus de fonte: La peptisation.

Il est à noter que des petites variations de pH peuvent affecter la structure et la composition du fromage fondu (**Roustel, 2014**).

- **L'extrait sec total et la teneur en eau**

La teneur en matière sèche du fromage fondu varie de 29, 34 et 57% pour les fromages fondus avec une teneur minimale en fromage de 75% pour un rapport G/S allant de G/S < à 30%, G/S 30% et G/S > 50% respectivement. Alors que pour les fromages fondus avec une teneur minimale en fromage de 51%, la teneur minimale en extrait sec est de 29, 34 et 50% avec un rapport du G/S allant de G/S < à 30%, G/S 30% et G/S > 50% respectivement. Tandis que pour les fromages fondus tartinables, la teneur en matière sèche est de 25, 30 et 40% avec un rapport du G/S allant de G/S < à 30%, G/S 30% et G/S > 50% respectivement (**Codex alimentarius, 2015**).

Alors qu'en **2016, Richonnet** préconise un taux de 50% de matière sèche dans les fromages fondus fabriqués en France.

L'augmentation de la teneur en humidité des fromages facilite le processus d'échange d'ions et conduit à une augmentation du coefficient de peptisation. De ce fait, il a été montré que plus les caséines sont hydratées, plus leur structure est ouverte, ce qui

permet aux sels de fonte de pénétrer plus facilement les molécules des caséines et d'améliorer le phénomène de peptisation (Dimitreli et Thomareis, 2005).

1.5.2. Caractéristiques Nutritionnelles

Le fromage fondu est un système complexe composé de protéines, de matière grasse, de sels minéraux et d'autres ingrédients (Dantas Cavalcante, 1995).

Tableau: I : Composition nutritionnelle du fromage fondu selon (Dantas Cavalcante, 1995).

<i>Composition pour 100g de produit</i>	<i>Fromage fondu à 20% de G/S</i>	<i>Fromage fondu à 50% de G/S</i>
Energie (Kcl)	172	264
Energie (Kj)	880	1100
Protéines (g)	13.0	10.2
Glucides (g)	15.7	6.5
Lipides (g)	7.0	22.5
Acides gras saturés (AGS)(g)	/	14
Eau (g)	65.8	54.7
Sodium (mg)	665	737
Phosphore (mg)	695	703
Calcium (mg)	492	576

Les quantités de nutriments indiquées sont des valeurs moyennes, pouvant varier selon le type de fromages fondus.

- **Protéines**

Le fromage fondu contient 18g de protéines/100g de fromage et entre 10 à 17g /100 g de fromage selon Eck et Gillis (1997) et Richonnet (2016) respectivement.

Les fromages fondus présentent globalement moins de protéines que les autres fromages: Environ 10 à 17g/100g contre 22 à 27g/100g pour les pâtes molles et pâtes pressées non cuites.

La source des protéines dans les fromages fondus est représentée par les ingrédients laitiers tels que le lait, les fromages et les 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 permettant de satisfaire les besoins de l'homme (Debry, 2001).

Dans les fromages fondus, les caséines sont les protéines majoritaires (92 % des protéines), caractérisées par une teneur élevée en proline et un taux relativement faible en acides aminés (AA) soufrés (cystéine notamment) (**Richonnet, 2016**).

Il a été constaté, qu'un fromage fondu devait avoir une teneur en caséine intacte de 12% au minimum dans le produit fini. Selon les paramètres de fabrication, il est toutefois possible d'obtenir un produit stable avec seulement 8% de caséines intactes (**Roustel, 2014**).

- **Lipides**

La teneur des fromages fondus en lipides est de l'ordre de 21 à 22g/100g de fromage selon **Richonnet (2016)** alors que **Oliveira et al.(2016)** rapportent une teneur en lipides 30%.

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% des acides gras (**Legrand, 2008**).

Il convient donc de choisir les fromages les moins gras au quotidien. 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 (Camembert 20%) et 28% pour les pâtes pressées (**Crédoc, 2013**).

- **Lactose**

La teneur en lactose dans les fromages fondus est de l'ordre de 6,5 à 7g/100g de fromage fondu. Cette teneur a une influence sur la consistance du produit fini. Le lactose a un effet favorable sur la plastification et la structuration du gel, ce qui favorise la tartinabilité du fondu. Cependant, son taux d'incorporation ne doit pas être trop élevé pour éviter l'apparition du goût sucré et les réactions de Maillard, voire de cristallisation du lactose (**EFSA, 2010**).

- **Cendres**

Les sels minéraux du fromage fondu sont constitués des sels de fonte ajoutés au cours de la fabrication et des sels contenus dans le fromage matière première (**Varunsatian et al., 1983**).

Les sels de fonte sont des agents importants pour la fabrication de fromages fondus, ils sont d'ailleurs à l'origine de l'industrie de la fonte (**Roussel, 2014**).

Le taux maximal de sels de fonte autorisé est de l'ordre de 2 à 3% dans la formule selon le règlement **UE n° 1333/2008** et **Eck et Gillis (1997)** respectivement.

- **Calcium**

Les fromages fondus contiennent en moyenne 562 à 576mg de calcium pour 100g de fromage. Le calcium provient 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. Chez l'enfant, la consommation de fromages fondus participe donc à la couverture du besoin nutritionnel moyen en calcium et se traduit par un meilleur statut en calcium chez les consommateurs (**Weaver et al., 1999**).

- **Phosphore**

L'apport idéal dans l'alimentation pour une efficacité de la rétention osseuse (accrétion) du calcium chez le jeune en croissance doit se faire selon un rapport massique $\text{Ca/P} \geq 1$. Celui du lait 1,3 est donc idéal (**Takeda et al., 2014**).

Ce rapport se construit avec les différents aliments composant la diète. Mais on peut admettre que les aliments avec un rapport ≥ 1 sont favorables, apportant plus de calcium que de phosphore.

Dans les fromages fondus, l'ajout de sels de fonte de type phosphate (polyphosphate de sodium, pyrophosphate de sodium. . .) qui contiennent environ 25 % de phosphore induit une élévation des teneurs en phosphore et un rapport Ca/P moins satisfaisant (**Tableau 2**).

Il faut donc préférer les fromages fondus avec un taux de calcium optimal et dont les sels de fonte, surtout ceux de type polyphosphate sont réduits.

Tableau II : Teneurs en calcium et en phosphore et ratio calcium/phosphore des produits laitiers, d'après (ANSES, 2013).

<i>Fromages</i>	<i>Calcium (mg/100 g)</i>	<i>Phosphore (mg/100 g)</i>	<i>Ration Massique Ca/P</i>
Fromage à pâte molle	463	378	1.2
Fromage à pâte pressée cuite	766	561	1.4
Fromage fondu	576	703	0.8
Fromage frais à tartiner	85	155	0.6
Lait ½ écrémé UHT	117	92	1.3
Yaourt ou spécialité laitière nature	146	100	1.5
Fromage blanc nature ou aux fruits	111	113	1
Fromage frais type petit suisse au lait demi-écrémé nature	117	127	0.9

Les besoins quotidiens en phosphore des enfants de 1 à 10 ans sont de l'ordre de 500-800 mg et de 1250 mg chez ceux de 10 à 19 ans. Les besoins d'un adulte ont été établis à 700 mg/jour, à 800 mg/jour pour une femme enceinte et à 900 mg/jour pendant l'allaitement.

Selon des études récentes sur la nutrition, l'approvisionnement de la population en phosphore est suffisant. Il l'est également pour les jeunes, chez qui le lait joue un rôle prépondérant comme source de ce minéral (Richonnet, 2016).

- **Sodium**

Le sodium se trouve à l'état naturel dans divers aliments, comme le lait, la viande et les crustacés. Il est souvent présent en grandes quantités dans les aliments transformés, comme le pain, le fromage, les viandes fumées et séchées, les produits de grignotage, ainsi que dans certains condiments (sauce de soja ou de poisson, bouillons ou bouillon cubes, par exemple). (OMS, 2012)

Le chlorure de sodium ou plus généralement le sel a de nombreux effets sur le fromage fondu. Il a un rôle au niveau biochimique, microbiologique et organoleptique. Il intervient également sur le développement des saveurs et également sur la texture des fromages (Guinee et al., 2004).

Le sodium présent dans les fromages fondus a trois origines: Les fromages ingrédients, les sels de fonte sodiques et le chlorure de sodium (sel de cuisine) ajouté lors de la

production. Avec une moyenne de 737mg à 1600mg de sodium, les fromages fondus se situent au niveau de certaines pâtes pressées (**Richonnet, 2016**).

- **Potassium**

Le potassium fait partie des micronutriments dont on sous-estime facilement l'importance. Et pourtant, c'est un minéral essentiel pour la musculature, jouant notamment un rôle de premier ordre dans la conduction de l'excitation du muscle cardiaque.

Une carence potassique peut rapidement entraîner un affaiblissement de la musculature squelettique et des troubles de la fonction cardiaque. Plusieurs études révèlent encore d'autres effets intéressants de cet élément présent non seulement dans les légumes et les fruits, mais aussi dans les produits laitiers (**Elisabeth et al., 2011**).

Des apports suffisants de potassium sont nécessaires pour l'entretien de la concentration intracellulaire de potassium et la croissance de la masse cellulaire. Les besoins en potassium du nourrisson et de l'enfant sont relativement élevés vu leur croissance rapide, et ils sont proportionnels à l'ingestion totale d'énergie. Si les besoins du nourrisson (0-12 mois) sont de 400 à 650 mg/jour, ceux de l'enfant (1-15 ans) se situent entre 1000 et 1900 mg/jour, alors que les besoins moyens journaliers de l'adolescent et de l'adulte sont de 2000 mg/jour (**milk Swisse, 2013**).

Tableau III: Couverture des besoins en potassium avec les produits laitiers à raison de 4 portions journalières selon (**Elisabeth et al., 2011**).

Produit laitier	Teneur en potassium (mg)
1 portion de lait (2dl)	310
1 portion de yogourt (180g)	302
1 portion de fromage (env.40g)	33
1 portion de séré/cottage cheese (200g)	260
Total	905 mg = 45% (près de la moitié) des besoins journalière

- **Le magnésium**

Le magnésium est le deuxième minéral le plus abondant dans la cellule. Il joue un rôle clé dans de nombreux processus physiologiques, et notamment dans le métabolisme énergétique et dans la contraction musculaire. Des études lui attribuent par ailleurs un effet anti-stress. Or, des recherches sur la nutrition révèlent que près d'un quart de la population affiche un statut magnésique insuffisant et n'atteint pas la valeur de référence. Les besoins journaliers

en magnésium sont toutefois bien couverts avec une alimentation équilibrée et suffisamment énergétique (**Elisabeth et al., 2011**)

Le Mg^{2+} et le Ca^{2+} disposant de la même charge électrique, ils sont sur le plan physiologique des antagonistes. Vu sa plus grande affinité chimique avec le ligand, le calcium peut se substituer au magnésium.

L'organisme tire parti de ce phénomène dans de nombreuses réactions biochimiques, par exemple dans la contraction musculaire. L'absorption du magnésium dans l'intestin peut également être influencée par le calcium. Néanmoins, une inhibition de la résorption du magnésium par le calcium n'est observée qu'à partir de doses journalières de calcium dépassant 2 g (**Elisabeth et al., 2011**).

Les valeurs de référence (**DACH**) préconisent pour les adultes un apport de magnésium de 350 à 400 mg/jour (décroissant avec l'âge) chez les hommes et de 300 à 350 mg/jour chez les femmes. Pendant la grossesse et l'allaitement, les besoins augmentent à 390 mg/jour. Un déficit de magnésium peut favoriser l'apparition de crampes au mollet nocturnes.

Tableau IV: Couverture des besoins en magnésium avec les produits laitiers à raison de 4 portions journalières (**Elisabeth et al., 2011**).

Produit laitier	Teneur en magnésium (mg)
1 portion de lait (2dl)	20
1 portion de yogourt (180g)	27
1 portion de fromage (env.40g)	12
1 portion de séré/cottage cheese (200g)	20
Total	79 mg = Pratiquement ¼ (23%) des besoins quotidiens

- **Fer**

Le fer est un oligo-élément qui entre dans la composition de l'hémoglobine des globules rouges, de la myoglobine des muscles, et de nombreuses réactions enzymatiques nécessaires à la respiration des cellules (**Š. ZAMBERLIN et al., 2012**).

Les produits laitiers, y compris le fromage, apportent peu (traces) de fer alimentaire. La carence en fer est couramment observée dans les pays en développement comme dans les pays développés (**milk Swisse, 2013**).

Par conséquent, on s'est intéressé à enrichir les produits laitiers avec du fer pour augmenter leurs valeur nutritive. Le cheddar et le fromage fondu ont été enrichis de fer avec succès (**Zhang et Mahoney 1989a, b, 1990, 1991**).

- **Vitamines**

En ce qui concerne les vitamines, les fromages fondus sont une source intéressante de vitamines hydrosolubles du groupe B (essentiels à la synthèse des cellules sanguines et nerveuses) et ainsi que des vitamines liposolubles, comme la vitamine A, qui favorise la croissance, la vision, la bonne santé des tissus, nos défenses immunitaires et aide à prévenir les cancers, et aussi la vitamine D qui joue un rôle essentiel dans la fixation du calcium par l'organisme. Elle intervient dans le processus d'absorption du calcium et du phosphore par l'intestin, et permet de maintenir les os et les dents en bonne santé (**Anonyme, 2017**)

Tableau V : Quantités des vitamines dans 100g de fromage fondu selon (**Holland et al., 1989**).

Vitamine	Quantité
Rétinol (μg)	270
Carotène (μg)	95
Vitamine D (mg)	0.21
Vitamine E (mg)	0.55
Thiamine B ₁ (mg)	0.03
Riboflavine B ₂ (mg)	0.28
Niacine B ₃ (mg)	0.10
Vitamine B ₆ (mg)	0.08
Vitamine B ₁₂ (μg)	0.9
Folates B ₉ (μg)	18
Pantothenate B ₅ (mg)	0.31
Biotine B ₈ (μg)	2.3

D'une manière générale, le fromage fondu est un produit soumis à de nombreuses transformations. Ses caractéristiques sont par conséquent dépendantes de nombreux facteurs, pouvant interagir entre eux (**figure 1**).

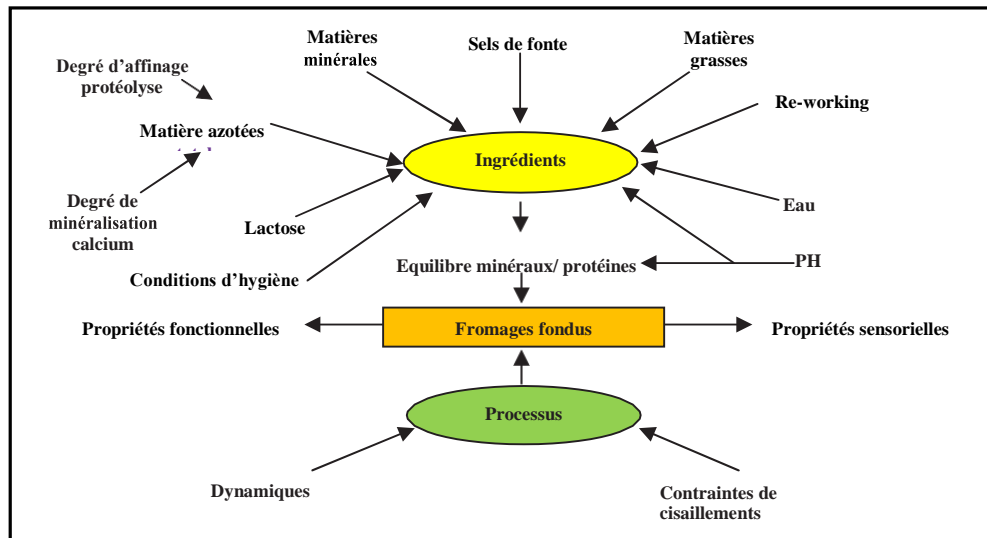


Figure 1: Facteurs intervenant sur les caractéristiques des fromages fondus (Roustel, 2014)

1. Fromage analogue

Le fromage analogue est fabriqué à partir de mélanges de produits laitiers et / ou des protéines non-laitiers et graisses / huiles. Par conséquent, il a été suggéré par **Shaw (1984)** qu'en réponse à l'augmentation des coûts de fabrication du fromage fondu, les produits d'imitation ont été développés pour répondre à la demande dans les établissements de restauration rapide les pizzerias, pour les aliments cuisinés et les aliments formulés (**Bachmann, 2001**). Il est évident qu'il y a beaucoup de similitudes entre la fabrication du fromage et ses analogues.

1.1. Définition

Les fromages analogues sont décrits comme des produits qui ressemblent au fromage, mais dans lesquels la matière grasse du lait a été partiellement ou complètement remplacées par d'autres matières grasses (**Commission codex alimentarius, 2004**).

Aux Etats-Unis, un fromage analogue est défini comme un produit qui est un substitut et ressemble au fromage, mais est nutritionnellement inférieur, où l'infériorité nutritionnelle implique une réduction de la teneur d'un nutriment essentiel présent dans une quantité mesurable, mais ne comprend pas une réduction de la teneur calorique ou de matière grasse (**FDA, 2003**).

Les fromages analogues sont des substituts du fromage naturel, qui sont fabriqués selon la technique de fabrication du fromage fondu, mais en utilisant des matières premières laitières et /ou non laitières. Ce type de fromage est de plus en plus utilisé pour le bon rapport (qualité/prix) et aussi grâce à la simplicité de sa production (**Jana et al., 2017**).

Le fromage analogue peut prendre plusieurs nominations tel que : artificiel, synthétique, imitation, substitut, spécialité fromagère. Ce fromage peut être certifié Casher ou Halal (**Bachmann, 2001**).

1.2 Classification

Les fromages analogues peuvent être classés comme produits laitiers, produits laitiers partiels ou produits non laitiers, selon que la matière grasse ou les protéines proviennent de source laitière ou végétale (**figure 2**) (**Chavan et Jana, 2007**).

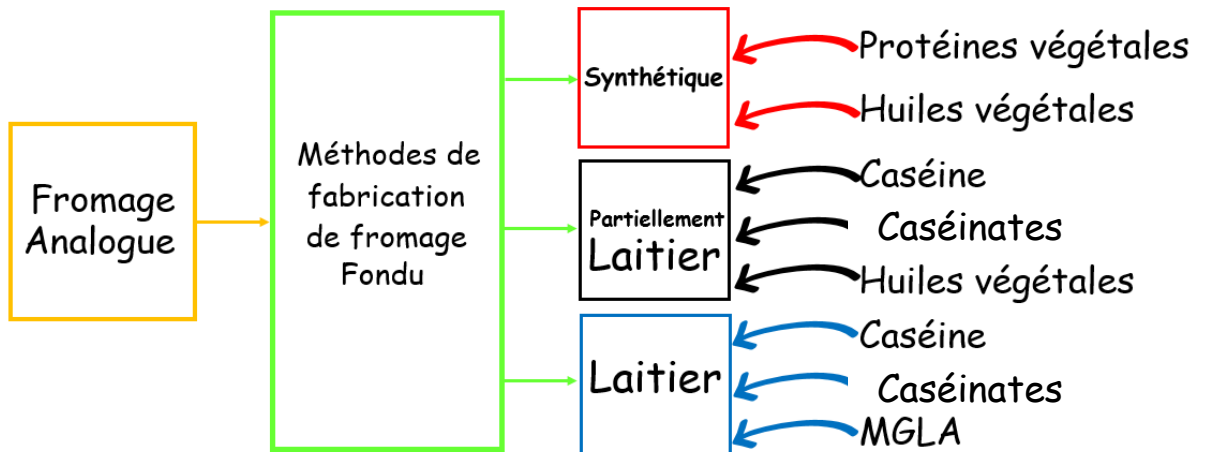


Figure 2 : Classification des fromages analogues (Chavan et Jana, 2007)

1.3. Législation

1.3.1. En Europe

La Commission Européenne a autorisé l'utilisation de ce fromage analogue à condition que les ingrédients qui le composent soient indiqués sur l'étiquette des emballages et ces produits devraient être appelés « préparation fromagère » ou « spécialité fromagère » et non fromage.

Cependant que la dénomination "fromage" est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitières suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse (JORF, 2007).

Le règlement 1169/2011 précise dans son article 7 que les informations sur les denrées alimentaires ne doivent pas induire en erreur, notamment sur les caractéristiques de la denrée alimentaire : la nature, l'identité, les qualités, la composition, la quantité, la durabilité, le pays d'origine ou le lieu de provenance, le mode de fabrication ou d'obtention de cette denrée (JOUE, 2011).

1.4. Les raisons du développement du fromage analogue

Les analogues de fromages, qui ne bénéficient pas sur le plan réglementaire de la dénomination fromage, restent des produits souffrant d'une mauvaise image. Or, ce sont des produits spécifiques, qui répondent à des besoins et des objectifs différents de ceux des fromages traditionnels. Ils ont la particularité de ne nécessiter ni fromages (à la différence des fromages fondus), ni lait frais en tant que matière première. Cela est particulièrement intéressant dans les pays où la production de lait n'est pas développée, ou à des niveaux de qualité très variables. L'importation des matières premières devient alors le seul moyen de fabriquer des produits fromagers (**Larché, 2016**).

De nombreux changements dans les comportements alimentaires ont été observés ces dernières années. En effet, il a été constaté une diminution du temps de préparation des repas et, parallèlement, une augmentation très forte de la consommation des plats cuisinés (quiches, pizzas, salades, sandwiches...). Or, dans ces plats cuisinés, on note la présence très fréquente de fromages analogues et cela est dû à plusieurs raisons, certaines d'entre elles sont discutées ici :

- Le fromage naturel coûte plus cher que ses analogues. Le coût de production de l'imitation de fromage peut être considérablement inférieur à celui de ces homologues naturels. En plus des économies dans l'équipement et les procédés de fabrication, la substitution de la graisse du lait par l'huile végétale qui est moins coûteuse et l'absence totale de maturation permet une production plus rapide (**Guinee et al., 2004**).
- La faible production de lait dans certaines régions du monde a conduit à un intérêt accru pour l'utilisation d'ingrédients de substitution à partir de sources végétales (**McNutt, 1989 ; Ahmed et al., 1995**). Dans les pays en développement où les produits laitiers sont chers et en quantité insuffisante, les substituts laitiers préparés à partir de matière végétale fournissent une alternative nutritive (**Santos et al., 1989**).
- Les fromages analogues ont une stabilité à la conservation sous des températures modérées, ce qui réduit le coût de stockage et du transport (**Christensen et al., 2003**).
- Le respect de certains interdits alimentaires d'ordre religieux (le Fromage Analogue peut être certifié Casher ou Halal) ou des régimes alimentaires spécifiques

comme le végétalisme « un Végétalien pourra consommer ce faux fromage alternatif sans origine animale » (Cargill, 2007).

- Possibilité de modifier facilement les formulations pour obtenir des produits présentant des caractéristiques de texture, de fusion et/ou nutritionnelles spécifiques (par exemple, texture ferme, faible teneur en matières grasses, à faible teneur en sel) (O'riordan *et al.*, 2008).

1.5. Matières premières :

Plusieurs composants peuvent être utilisés dans la fabrication de fromage analogue comme le montre le **tableau VI**.

Tableau VI: Les ingrédients utilisés dans la fabrication du fromage analogue (Chavan et Jana, 2007)

Ingrédient	Fonction	Exemples
Les Protéines de lait	Donne composition et la texture souhaitée, (texture semi-dure)	Caséine présure Caséine acide Caséinates Protéines de lactosérum
Les Protéines végétales	Donne la composition désirée -alternative moins chère que les protéines de lait	Protéines de soja, -Protéines de riz Protéines D'arachides
La Matière Grasse	-Donne la composition, la texture désirée -Donne la saveur laitière.	-Matière grasse laitière anhydre (MGLA) -Huile de colza -Huile de soja, -Huile de maïs -Huile de palmier (partiellement hydrogénés)

Sels de fonte	-Chélate le calcium - Ajuster le pH du produit à la bonne valeur -Augmenter le pouvoir émulsifiant -Effet bactériostatique -Augmenter la capacité de rétention d'eau -Améliorer les propriétés texturales de produit	-Citrates, -Orthophosphates -Pyrophosphates -Polyphosphates
Conservateurs	-Retarde la croissance des moisissures, -prolonger la durée de conservation	-Sorbate de potassium -Nisine, -Calcium ou Sodium -Propionate
Acidulant	-Aider le contrôle du pH dans le produit final.	-Acide lactiques -Acide acétiques -Acide citrique -Acide phosphorique
Hydrocolloïdes	-Améliorer la stabilité du produit -modifie les propriétés texturales et fonctionnelles de produit	-La gomme guar, -Amidon -La gomme xanthane -Carraghénane
Eau	-Solubiliser et disperser les protéines. -Emulsionner la matière grasse.	-Eau froide -Vapeur

1.5.1. Matières premières laitières

- **Caséines**

La principale source de protéines dans les fromages analogues est le Caséinate ou la caséine présure. Le premier est utilisé principalement pour les produits à tartiner. La caséine présure est quant à elle utilisée pour les produits en blocs semi-durs et particulièrement le cheddar où elle donne généralement une texture filamenteuse et extensible (Fox et al., 2000).

La caséine est un produit riche en protéines, préparé à partir de la coagulation enzymatique du lait écrémé frais pasteurisé. Il convient pour une utilisation végétarienne. La

caséine se présente généralement sous forme d'une poudre granuleuse, de couleur blanc jaunâtre, soluble en milieu alcalin, mais insoluble dans l'eau (Fox et al., 2000).

Il y a deux types de base de caséine, la caséine acide et la caséine présure. Ils sont nommés conformément à l'agent coagulant utilisé (Asper, 1980).

- **La caséine acide**

Est obtenu en utilisant des acides minéraux tels que l'acide chlorhydrique ou sulfurique. L'acide dilué, est pulvérisé sur le lait écrémé à chaud (45° à 50 °C) que l'on agite constamment jusqu'à ce que le lait précipite en particules fines (Southward, 1994).

- **La Caséine présure**

La caséine présure est obtenu par la coagulation de lait écrémé par la présure. Des ions calcium solubles sont nécessaires pour cette réaction. Des quantités suffisantes d'ions calcium sont déjà présentes dans le lait. Au cours du chauffage du lait. La coagulation ne peut avoir lieu ou très lentement et de manière incomplète avec la présure. L'addition d'une solution de chlorure de calcium peut aider la présure pour coaguler correctement.

La caséine présure est un produit différent de la caséine acide, il est utilisé dans l'industrie dans la production de substances artificielles. De petites quantités de caséine présure sont également utilisées comme matière première pour le fromage fondu. La caséine est un produit insoluble dans l'eau.

- **Poudre de lait**

La poudre de lait écrémé tend à améliorer la qualité et la stabilité des traités les fromages analogues (Guinee, 2016).

- **Cheddar**

Cheddar est l'une des plus grandes variétés de fromage dans le monde. Avec environ 1,6 millions de tonnes produite chaque année aux États-Unis, il occupe le deuxième rang après Mozzarella (Statista, 2015). Il est largement consommé à la fois comme un fromage de table

et comme ingrédient dans divers plats culinaires tels que les soupes et les sauces (**Guinee, 2016**).

Le cheddar est un fromage à pâte ferme, fait à partir de lait de vache, affiné dans la masse et contenant au minimum, 31% de matières grasses et au maximum, 39% d'humidité. Sa texture est ferme, lisse et cireuse sans ouverture. Sa pâte fondante en bouche possède une couleur uniforme allant du blanc ivoire à une couleur plus orangée alors que sa saveur varie considérablement selon le temps d'affinage (**St-Gelais & Tirard-Collet 2010; Codex Alimentarius 2013b**).

1.5.2. Matières premières non laitières

- **Eau**

L'humidité des fromages étant généralement faible, puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire (**Marshall, 1990**), c'est à dire avec une faible teneur en micro-organismes et en contaminants chimique tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140°C et sous une pression de 2, 105 à 4, 105 Pa (**MARSHALL, 1990; BERGER et al., 1993; GLIGUEM et al., 2009a**).

- **Graisse végétale**

La graisse végétale est plus économiques que la matière grasse laitière, malgré l'inconvénient de leur richesse en acides gras saturés, et leur impact négatif sur la santé humaine (**Bachmann, 2000**). Depuis de nombreuses années, les produits fromagers synthétiques ont été réalisés en remplaçant la matière grasse présente dans le fromage naturel par une autre, moins cher, graisse animale ou végétale. Dans presque tous les cas, les fromages synthétiques sont offerts à moindre coût, ce qui était probablement le facteur le plus important dans l'acceptation initiale de ces produits laitiers synthétiques. Au cours des dernières années, et, avec la sensibilisation accrue du public aux dangers de cholestérol qui se trouve dans les graisses

animales, les produits fromagers synthétiques dans lesquels la matière grasse est remplacée par une graisse végétale ont gagné en popularité (*Kong- Chan et al., 1991*).

Différentes procédures de substitution de la matière grasse laitières avec de l'huile végétale hydrogénée, comme le soja, l'arachide, le palmiste, les graines de coton, la noix de coco ou le maïs ont été développés (*Arellano-Gomez et al., 1996*). L'utilisation de matières grasses végétales peut donner au fromage une cohérence qui le rend plus adapté pour certaines applications. L'huile de soja confère une dureté et une adhérence pour les substituts de fromages, mais risque de diminuer leur cohésion et leur souplesse (*Lobato-Calleros et al., 1997*). Des fromages analogues formulés avec des proportions différentes d'acide butyrique et / ou de l'huile de soja ont montré d'importantes variations de texture (*Arellano-Gomez et al., 1996*).

- **Protéines végétales**

Des études ont été entreprises pour le remplacement de la caséine dans les spécialités fromagères par différents types de protéines végétales ; les protéines de soja, des arachides et le gluten du blé. Ces dernières ont une capacité élevée d'absorption d'eau et génèrent une consistance épaisse et peu fluide. Elles doivent être incorporées à de faibles doses (2 à 3 %) (*Chen et al., 1979*).

- **Amidon**

Aucun autre ingrédient alimentaire ne rivalise avec l'amidon en termes de polyvalence et d'application dans l'industrie alimentaire. Les amidons ont été employés pour la diversification des textures ; l'amélioration de l'esthétique des produits ; la simplification de la déclaration du label ; la réduction des coûts de production ; la garantie de la consistance des produits et pour prolonger la durée de conservation (*Taggart et al., 2009*).

L'amidon a été incorporé dans le fromage analogue, principalement pour remplacer la caséine qui est plus cher (*Zwiercan et al., 1987; Mounsey et O 'Riordan, 2001*). L'amidon de maïs natif est le plus utilisé.

L'amidon natif peut être utilisé à des concentrations de 2-4% pour remplacer environ 10-15% de la caséine totale du fromage analogue. **Mounsey et O 'Riordan (2001)** ont observé une

réduction de la cohésion dans les fromages analogues contenant un taux élevé d'amidon. La dureté de ces fromages a augmenté lors de l'utilisation des amidons de blé, de pomme de terre et l'amidon de maïs, mais elle a été réduite par l'utilisation d'amidon cireux de maïs ou de riz.

1.5.3. Les sels de fonte

1.5.3.1. Définition

Les sels de fonte, également appelés "sels de fusion" ou "sels chélatants", sont des composés ioniques constitués de cations monovalents et d'anions polyvalents utilisées comme ingrédient dans la fabrication des fromages fondus (Kapoor, 2008 ; Jana *et al.*, 2017).

Dans le cas des fromages analogues, les sels de fonte jouent un rôle encore plus important puisque les ingrédients protéiques séchés sont utilisés hydratés pour obtenir la qualité de fromage souhaitée (Jana *et al.*, 2017).

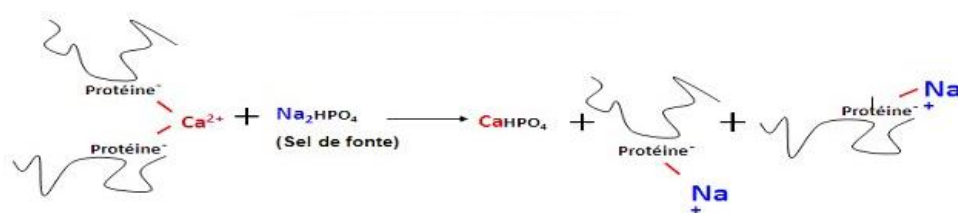
1.5.3.2. Rôles technologiques des sels de fonte

Les sels de fonte sont ajoutés dans les fromages fondus pour permettre le mélange homogène des différents ingrédients. Ils ont deux rôles technologiques principaux : émulsifiant et structurant.

- **Rôle émulsifiant**

Pour donner sa texture homogène au fromage fondu, les sels de fonte dissocient les protéines lactières apportées par les matières premières lactières, grâce à un échange d'ions entre le sodium des sels de fonte et le calcium des micelles de caséine (figure 3).

Celles-ci acquièrent alors des propriétés émulsifiantes et interagissent avec la matière grasse lactière. L'émulsion créée est stable et permet d'éviter une exsudation de matière grasse au cours de la durée de vie du produit.



Les caséines liées dans le fromage par des ponts calciques se déplissent grâce à l'échange d'ion entre caséines et sels de fonte

Figure 3 : mode d'action des sels de fonte

- **Rôle structurant**

La consistance et la texture du fromage fondu sont issues d'une réorganisation des protéines dans laquelle les sels de fonte, ayant piégé le calcium, jouent un rôle important.

La quantité de sel de fonte nécessaire à la fabrication du fromage fondu dépend de la matière première du fromage, du type de sel de fonte utilisé, des conditions de transformation et du type de fromage fondu. (Mozuraityte *et al.*, 2019).

1.5.3.3. Classification des sels de fonte

Il existe 13 types de sels de fonte qui peuvent être utilisés dans la fabrication du fromage fondu, seuls ou en combinaison les uns avec les autres (Lucey, Maurer-Rothmann, & Kaliappan, 2011).

Selon (Mayer, 1973; Kapoor, 2008), les deux principaux types de sels de fonte utilisés lors de la fabrication du fromage fondu sont les citrates et les phosphates.

1.5.3.3.1. Citrates

Il s'agit des sels de l'acide citrique, par exemple le citrate tri-sodique (TSC), qui sont préférés pour les fromages en bloc et les fromages en tranches. Les citrates sont très solubles et ont un assez bon pouvoir de dissolution des protéines. Ils contribuent à la structure longue et élastique du fromage fondu ; la structure du fromage reste ferme et lourde.

Les citrates présentent quelques inconvénients qui sont :

- Le manque d'écémage,
- L'absence d'action bactériostatique
- Le risque de sablage et de marbrure dans le fromage.

1.5.3.3.2. Phosphates

Ce sont des sels d'acide phosphorique. Il existe deux types de phosphates :

- Monophosphates /Orthophosphates : (NaH_2PO_4 , Na_2HPO_4 et Na_3PO_4)
- Phosphates condensés : ($\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ et NaPO_3)

1.5.3.3.2.1. Monophosphates/Orthophosphates

Il s'agit notamment des orthophosphates mono-sodiques, di-sodiques et tri-sodiques (TSP). Les monophosphates sont solubles dans l'eau et ont d'excellentes propriétés tampon, mais n'exercent aucun effet d'écémage. Le monosodium et le TSP sont les plus couramment utilisés pour l'ajustement du pH.

1.5.3.3.2.2. Phosphates condensés

Ceux-ci sont classés en polyphosphates en chaîne, métaphosphates en cycle et ultraphosphates réticulés. Les polyphosphates formant la chaîne sont classés en polyphosphates à chaîne courte et longue. Les polyphosphates ont une forte action d'écémage et exercent une propriété bactériostatique. Leur capacité tampon dépend de la longueur de leur chaîne.

- **Polyphosphates à chaîne courte**

Il s'agit principalement des triphosphates et des tripolyphosphates dont le pH de la solution à 1,0 % varie de 2,7 à 10,2. Les sels couramment utilisés sont les diphosphates monosodiques, di-sodiques, tri-sodiques et tétra-sodiques.

- **Polyphosphates à longue chaîne**

Ceux-ci ont un degré moyen de condensation allant de 4 à 25. Le sel de Graham (c-à-d. l'hexaméta-phosphate de sodium - SHMP) avec un degré de condensation de 10-25 a une capacité d'échange d'ions exceptionnelle. L'inconvénient est leur tendance à l'hydrolyse partielle pendant le traitement. Le pH de sel de fonte couramment utilisé (sous forme de solution à 1,0 %).

1.5.3.4. Choix du sel de fonte

L'une des questions les plus fréquentes qui se posent lors de la sélection des sels de fonte pour la fabrication du fromage fondu est leur capacité de séquestration du calcium et leurs mécanismes d'élimination du calcium des caséines. (**Kapoor , 2008**).

Les propriétés des sels de fonte utilisés pour la fabrication du fromage fondu ont fait l'objet de plusieurs études (**Palmer & Sly, 1944 ; Meyer, 1973 ; Thomas, 1973 ; Caric' et al, 1985**

; Zehren & Nusbaum, 1992 ; Caric´ & Kalab,´ 1993 ; Berger *et al*, 1998 ; Guinee *et al*, 2004). Cependant, Palmer et Sly (1944) ont énuméré les propriétés suivantes qui sont nécessaires pour obtenir un sel de fonte idéal :

- Le sel de fonte doit être un émulsifiant puissant capable de transformer le fromage fondu en une émulsion lisse, crémeuse et fluide, entièrement exempte d'huile.
- Au refroidissement, cette émulsion devrait se solidifier en un fromage à pâte ferme de texture lisse et de bonne qualité de tranchage.
- La saveur du fromage ne doit pas être altérée par la présence des sels de fonte.
- Lors du stockage du fromage fondu, les sels de fonte ne doivent pas avoir tendance à se cristalliser.
- Les sels de fonte doivent être facilement solubles, exempts d'impuretés nocives et disponibles à un coût raisonnable.

1. Rôle technologique des différents ingrédients

Le fromage fondu est un mélange d'un ou plusieurs fromages frais ou à différents stades d'affinage, fondus ensemble sous l'action de la chaleur pour former une pâte onctueuse (**Eck A, Gillis JC, 1987**).

Le fondeur (fabricant de fromage fondu) utilisera principalement des pâtes pressées (cheddar, gouda. . .) ou pâtes pressées cuites (emmental, gruyère, comté. . .) pour leur aptitude à la fonte liée à leur minéralisation importante (**Boutonnier, 2000**).

Mais des fromages à pâte molle, à croûte fleurie ou fromages blancs peuvent aussi être utilisés ou ajoutés au mélange, pour leurs attributs organoleptiques. Tous ces fromages peuvent être au lait de vache mais aussi de chèvre ou de brebis (**Richonnet, 2016**).

Le temps où les grands fromagers valorisaient leurs chutes de fromages en les réemployant dans les fromages fondus est désormais loin même si des fromages présentant des défauts de présentation peuvent être intégrés avantagement s'ils sont de bonne qualité.

Pour assurer la stabilité de l'émulsion et donc du fromage fondu, des concentrés protéiques laitiers, des caséines ou des protéines de sérum peuvent être ajoutées pour ajuster la teneur en protéines (**Richonnet, 2016**).

L'apport de lactose par ajout de poudre de lait écrémé et de lactosérum notamment permet de baisser la quantité totale de protéines pour améliorer la tartinabilité (**Boutonnier, 2000**).

Des matières grasses laitières (beurre, crème, matière grasse laitière anhydre) peuvent être incorporées au mélange de fromages afin d'équilibrer les teneurs en matière grasse et diminuer la viscosité de la pâte.

Une adjonction de sel directement dans le mélange peut être effectuée afin de renforcer le goût, mais est de moins en moins pratiquée.

Les matières premières d'origine laitière représentent la majeure partie des matières premières sèches utilisées en fonte (**Eck A, Gillis JC, 1987**).

Mais d'autres matières premières peuvent être employées permettant aux fromages fondus d'être un des secteurs fromagers les plus variés et innovants : ingrédients d'aromatization d'origine animale (jambon, bœuf fumé, crustacés . . .) ou végétale (épices, aromates, fruits, légumes. . .), dans la limite de 30 % en poids du produit fini (**Décret n° 2013-1010 du 12 novembre 2013 modifiant le décret n° 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères (France).**)

Si d'autres matières premières non laitières sont employées à des fins économiques ou nutritionnelles, comme des matières grasses végétales ou protéines végétales, le produit perd alors sa dénomination « fromage fondu » dans certains pays et notamment en France.

Enfin, la fabrication de fromage fondu nécessite généralement la présence de sels de fonte (essentiellement famille des phosphates de sodium ou de potassium et citrates de sodium) qui sont des additifs alimentaires d'origine minérale ou organique (**Richonnet, 2016**).

Le règlement **UE n° 1333/2008** fixe à 2 % (exprimé en P_2O_5) de la totalité des ingrédients la quantité maximale de sels de fonte pouvant être utilisée lors de la fabrication des fromages fondus. En général, les formulations en contiennent entre 1 et 1,5 %.

D'autres additifs autorisés par la réglementation européenne (**95/2/CE**) peuvent être utilisés en tant que gélifiants, épaississants ou émulsifiants (**Eck A, Gillis JC, 1987**).

2. Les étapes de fabrication de fromage fondu/analogue

La fonte des fromages consiste à un mélange et a une stabilisation qui comporte plusieurs voies, selon le type de fromage fondu fabriqué, le type de matériel utilisé et la sévérité du traitement thermique visé. En outre, le volume de production réalisé induira un processus continu ou discontinu (**Chambre et Daurelles in Eck et Gillis, 1997**) (**figure: 12**)

2.1. Préparation des matières premières

Cette étape consiste au nettoyage des fromages éventuellement souillés en surface ou pour lesquels la croûte est considérée comme indésirable. En effet, dans certains cas, la dureté de celle-ci peut entraîner des difficultés de fonte et la présence dans le produit fini de particules infondues. Cet écroûtage peut se faire par raclage, par abrasion ou encore par jets d'eau ou de vapeur sous pression (**Boutonnier, 2000; Richonnet, 2016**).

2.2. Mélange, cuisson et fonte :

Le plus souvent, le mélange est effectué dans plusieurs pré-mélangeurs fonctionnant de manière décalée afin d'assurer un fonctionnement continu de la ligne de fabrication. L'homogénéité du mélange est fondamentale pour assurer une bonne qualité du produit fini ; elle est notamment d'agitation, ainsi que de la durée du traitement. Deux paramètres sont fondamentaux : la température et le temps de fonte (**Roustel et Boutonnier, 2015**).

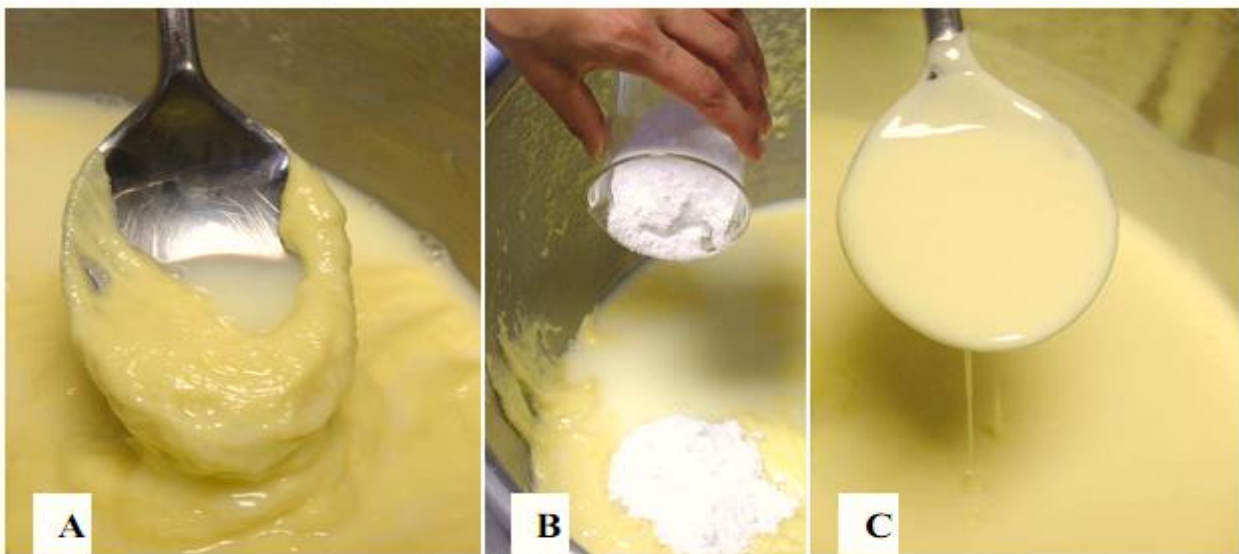


Figure 4 : Fonctionnement des sels de fonte ; (A) avant l'ajout des sels de fonte (B) L'ajout des sels de fonte, (C) après l'ajout des sels de fonte.

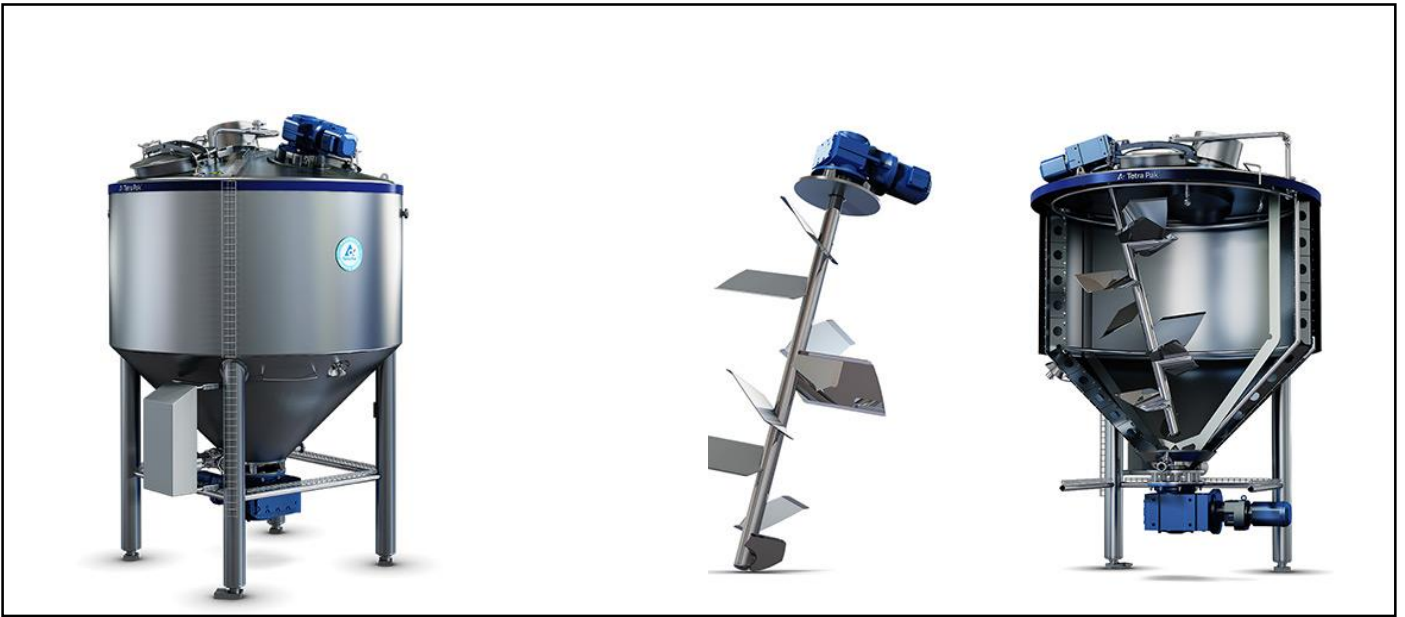


Figure 5: Broyeur marque TETRAPACK



Figure 6: cuiseur marque TETRAPACK



Figure 7: Mélangeur Marque TETRAPACK

2.3. Stabilisation thermique de la pâte

Deux possibilités s'offrent aux industriels : une pasteurisation, ou une stérilisation. Le choix s'effectue en fonction de la qualité bactériologique des fromages mis en œuvre, du matériel à disposition et du type de produit fini. En pratique, les températures rencontrées s'échelonnent de 70°C pour des produits finis à pouvoir de refonte élevé, jusqu'à 140°C, voire 145°C, pour des fromages fondus tartinables (Oliveira et al., 2016).



Figure 8 : Unité de traitement UHT marque TETRAPACK

2.4. Crémage

Pour les fromages fondus tartinables, et ce d'autant plus que le mélange est sévèrement chauffé, on doit contrôler la gélification des protéines, c'est à dire leur restructuration partielle en réseau tridimensionnel. Cette opération peut se réaliser directement dans le pétrin ou le cutter pour les petits volumes. Pour les productions continues, le crémage est effectué dans une cuve, avec un système d'agitation servant de tampon entre le traitement thermique du fromage fondu et son conditionnement. Cette étape a pour but l'ajustement de la consistance (**Boutonnier, 2000**).



Figure 9 : Cuve se crémage

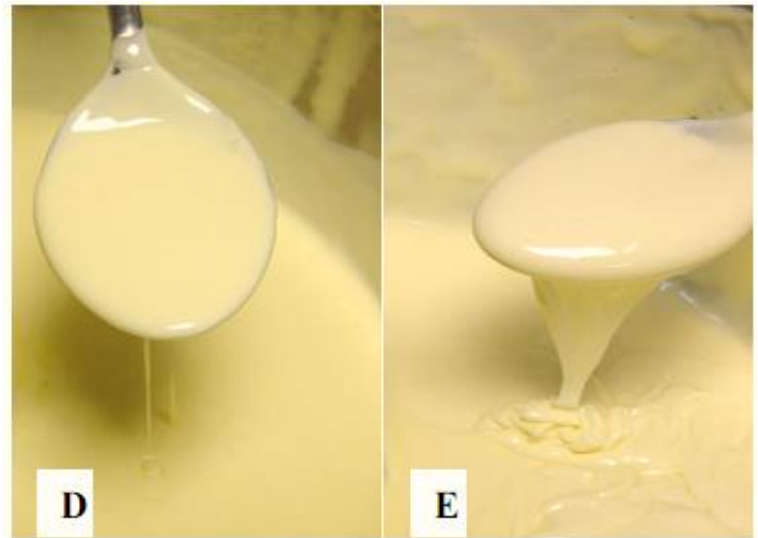


Figure 10 : Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère ; (D) avant écémage, (E) après écémage

2.5. Conditionnement du fromage fondu

Le conditionnement du fromage fondu doit faire l'objet d'une attention particulière pour plusieurs raisons: Présentation extérieure du produit ; assurance d'une fermeture étanche garantissant au fromage fondu le statut de semi-conserve. Le conditionnement est généralement réalisé de manière entièrement automatique, à des cadences relativement rapides, le tout avec une grande sécurité hygiénique (**Oliveira et al., 2016**).

Parmi les différents types de conditionnement du fromage fondu, c'est le conditionnement en portions à tartiner qui est le plus populaire. Celui-ci s'effectue dans une feuille d'aluminium vernie sur les deux faces. La feuille est préformée par pression sur la machine sous forme d'une coquille qui, après remplissage avec la pâte fondue, reçoit un

couvercle avant l'accomplissement du scellage. Le scellage a lieu 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).

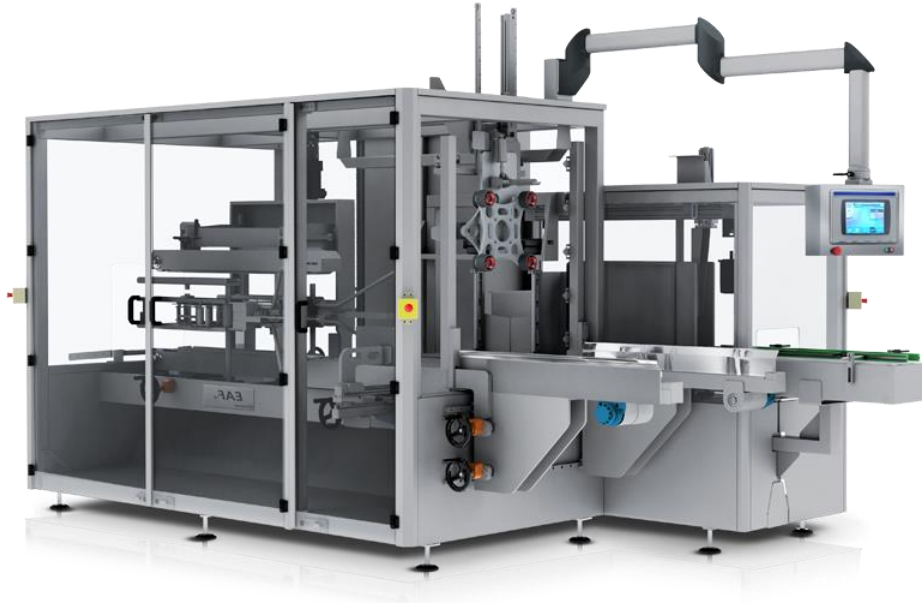


Figure 11 : Conditionneuse

2.6. Refroidissement du produit fini

Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type du produit. Dans la majorité des cas, le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement non enzymatique de la pâte (réaction de Maillard). Cette vitesse de refroidissement varie avec la taille du produit et son système d'emballage. Ce refroidissement peut se faire par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant, mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement (Boutonnier, 2000).

2.7. Stockage du produit

Les produits finis mis en carton sont stockés dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C et la durée de conservation peut être estimée entre 6 à 12 mois si les conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication sont bien respectées. A des températures de stockage comprises entre 30 et 35°C, une contamination par les

moisissures, les levures et *Clostridium botulinum* pourra survenir ce qui peut mener à une sécrétion des toxines (Eckner et al., 1994; Eck et Gillis, 1997).



Figure 12 : Chambre de froid

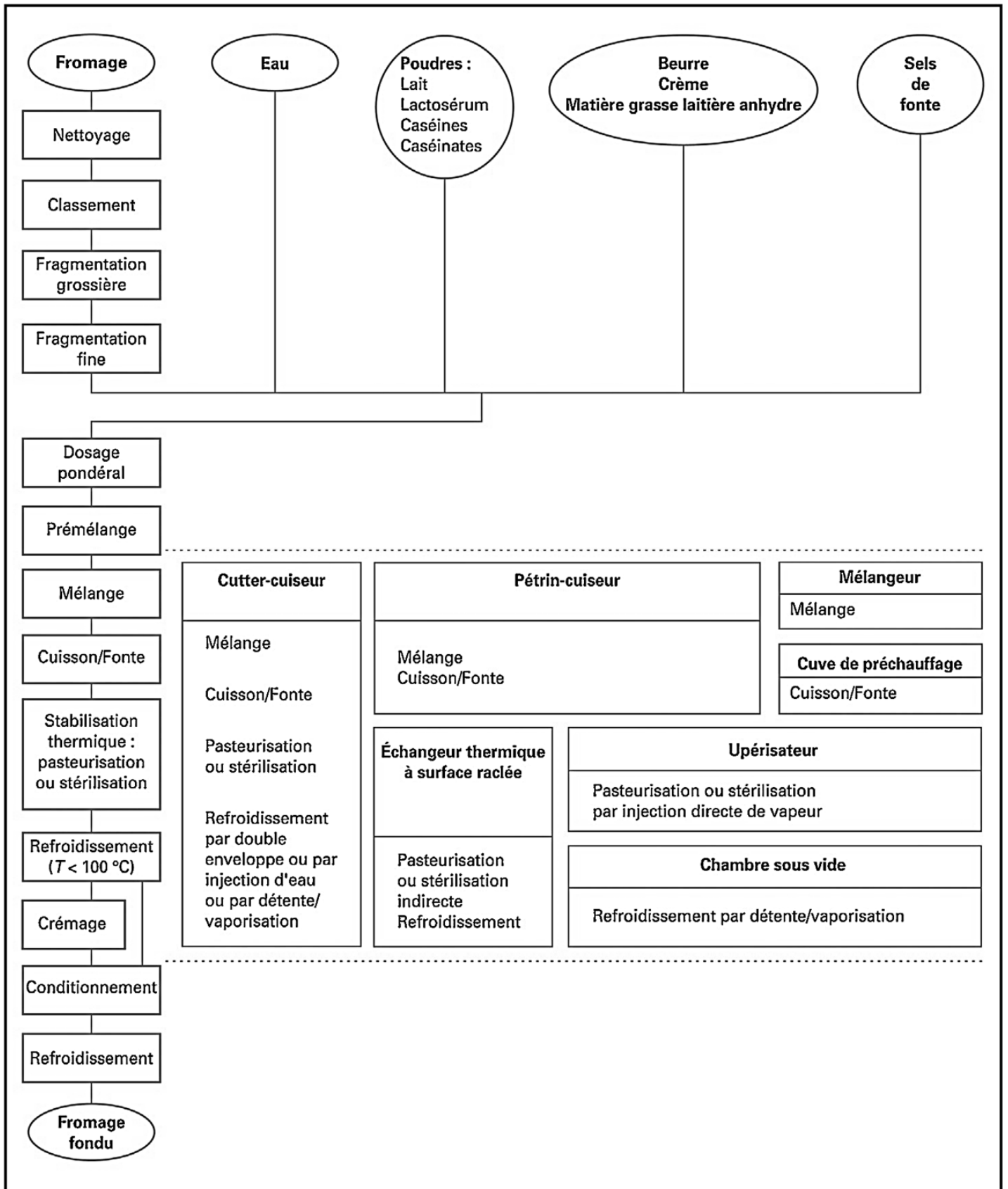


Figure 13 : Processus de fabrication de fromage fondu(Boutonnier, 2000)

3. Défauts de fabrication de fromage fondu

La qualité d'un fromage fondu est influencée par de nombreux facteurs liés à la formulation et au procédé 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 dès le stade de fonte ou après un certain temps de stockage (**Roustel et Boutonnier, 2015**).

Ces défauts peuvent être décelés lors de la fabrication ou bien après conditionnement et ils ont pour origine des facteurs chimiques, physiques ou microbiologiques.

Plusieurs défauts peuvent être décelés avant les opérations du conditionnement, parmi lesquels : La pâte présente un aspect grumeleux, la pâte reste liquide; La pâte destinée au fromage fondu à tartiner fait des fils; Le produit présente un défaut de coloration brun clair à brun foncé; La séparation des phases s'accompagne d'exsudation de matière grasse, due à une mauvaise émulsification de la matière grasse (**Richonnet, 2016**). Alors que parmi les principaux défauts, causes et corrections qui surviennent d'origine chimique ou physique après conditionnement sont illustrés dans (**Tableau VI**).

Tableau VI : Les défauts d'origine chimique ou physique après conditionnement de fromage fondu

<i>Défauts</i>	<i>Causes</i>	<i>Corrections</i>
<i>Texture molle</i>	Humidité élevée, quantité de sels insuffisante, agitation lente, fonte prolongée, pH élevé, refroidissement rapide, excès de fromages affinés dans le mélange	Réduire la teneur en eau, utiliser un autre sel de fonte, augmenter le pH, ralentir le refroidissement, augmenter la teneur en fromages jeunes, réduire le temps de fonte, augmenter la vitesse d'agitation
<i>Texture dure</i>	Humidité basse, sels de fonte non adaptés (dose, nature), faible pH, refroidissement long, mélange adapté, excès de fromages ayant une forte aptitude au crémage	Augmenter la teneur en eau, ajuster les sels de fonte, augmenter le pH, augmenter la vitesse de refroidissement, changer la formulation des fromages, éviter l'ajout de préfonte trop crémée
<i>Texture gluante (fromage tartinable)</i>	Excès de fromages jeunes, sels de fonte non adaptés, absence de la préfonte dans le mélange, fonte rapide et agitation lente	Augmenter la proportion de fromages affinés, utiliser un sel de fonte adapté, ajouter de la préfonte, augmenter le temps de la fonte, augmenter la vitesse de l'agitation
<i>Texture ferme avec exsudation de l'eau pendant le stockage</i>	Effet de surcrémage, développements microbiens conduisant à la baisse du pH	Éliminer tous les facteurs qui causent un crémage excessif, bien choisir les ingrédients, conserver une température de fonte supérieure à 85°C.
<i>Texture granuleuse (non homogène)</i>	Processus de fonte et mélange insuffisants, sels de fonte en excès ou insuffisants, pH bas, temps de fonte réduit, température de fonte basse, quantité d'eau ajoutée insuffisante, agitation inadéquate	Ajouter des fromages jeunes, utiliser le sel de fonte adapté et en quantité suffisante, régler le pH, prolonger le temps de fonte en vue d'obtenir une masse homogène, augmenter la température de fonte au-delà de 85°C, augmenter la teneur en eau ajoutée, agiter en continu durant la fonte et le remplissage
<i>Texture friable, cassante</i>	Apparition fréquente lorsque le pH final du fromage fondu est très faible (<5,3). Les caséines sont alors proches de leur point isoélectrique, ce qui augmente la contraction du réseau protéique et les interactions protéines-protéines dont la résultante peut être l'apparition d'une texture friable et cassante	Ajuster le pH du produit fini par l'emploi de sels de fonte correcteurs de pH et/ou d'une formulation plus adaptée des fromages
Produit collant (adhérent au papier d'emballage)	Emballage métallique collant, pH trop élevé, masse fondue laissée chaude pendant un long moment sans agitation	Changer l'emballage, augmenter la proportion des fromages affinés ou améliorer le crémage, conserver le pH<6 et une agitation continue jusqu'à l'opération d'emballage

<i>Présence de cristaux</i>	Cristaux de di- et de mono-phosphate de calcium (quand ces anions sont utilisés dans le sel de fonte), cristaux de calcium (quand le citrate est utilisé comme sel de fonte), usage de préfonte sableuse, sels de fonte insolubles, formation de cristaux de lactose, précipitations des grains de tyrosine (fromages à pâte pressée cuite trop affinés)	Éviter l'usage du mono ou di-phosphate comme sel de fonte, réduire le citrate, éliminer la préfonte sableuse, augmenter le temps de fonte, ajouter le sel de fonte en solution (si nécessaire), utiliser une dose précise de sels de fonte, réduire les apports de lactose (poudre de lactosérum par exemple), éliminer les fromages contenant des cristaux de tyrosine
<i>Produit rance</i>	Fromages trop affinés, beurre ou matière grasse de mauvaise qualité	Corriger la composition du mélange (ajout des fromages jeunes), changer de corps gras
<i>Produit amer</i>	Fromages amers dans le mélange, quantité de calcium à l'état ionisé trop importante	Ajouter des fromages affinés (avec un pH élevé), d'après un sel de fonte correcteur de pH et plus séquestrant
<i>Produit trop salé</i>	Fromages salés, excès du sel de fonte	Ajouter des fromages jeunes et non salés, diminuer la quantité du sel de fonte
<i>Produit sucré</i>	Fromages initiaux avec ouvertures (propioniques), teneur en lactose excessive	Corriger la formulation du fromage fondu
<i>Produit sucré-salé</i>	Concentration élevée en lactose et sels minéraux (utilisation de poudre de lactosérum en excès)	Réduire la quantité de produits de lactosérum dans le mélange
<i>Particules brûlées</i>	Surchauffage par vapeur indirecte avec la présence du lactose (dégradation thermique du lactose)	Réduire la température du traitement thermique lors des chauffages indirects
<i>Brunissement</i>	Réaction de Maillard (lactose et acides aminés), usuellement lors de l'utilisation des fromages très jeunes ou des produits de lactosérum.	Choisir une température de fonte <90°C, refroidir les fromages fondus directement après emballage, éviter un pH élevé dans le produit, revoir la formulation
<i>Apparition d'une coloration rose</i>	Apparition principalement dans les fromages fondus colorés avec de l'annatto ou élaborés à partir de fromages contenant de l'annatto	Supprimer ou réduire l'emploi d'annatto

1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est une analyse physicochimique, nutritionnelle, et sensorielle d'une sélection de marques de (fromage fondu/fromage analogue) de date récente, présentes sur le marché algérien. Une attention particulière est prêtée à l'estimation de la qualité de la matière grasse et le profil en acides gras ainsi qu'à la teneur des sels minéraux major qui présentent dans ces fromages.

Les analyses effectuées ont été réalisées au niveau de différents laboratoires à savoir:

- **Le laboratoire d'analyses physicochimiques de l'unité de production de FALAÏT (Rouïba).** (Extrait sec, Matière grasse, pH)
- **Le laboratoire physico-chimique de technologie alimentaire du département sciences agronomiques, (UMMTO).** (NaCl, lactose, protéines, acidité)
- **Le laboratoire d'analyses instrumentales de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA).** (CPG)
- **Laboratoire de chimie-pharmaceutique du département chimie (UMMTO).** (Evaporateur Rotatif)
- **Laboratoire de recherche de chimie appliquée et génie chimie (UMMTO).** (IRTF)
- **Laboratoire de d'analyses chimiques de l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIES (AZAZGA).** (SAA)

2. Echantillonnage

Notre démarche pour procéder à cette étude n'est pas arbitraire et nous nous sommes alignés sur la méthodologie suivie par différents auteurs (**Tavella et al., (2000)** ; **Martin, (2005)** ; **Karabulut, (2007)** ; **Baylin et al., (2007)** ; **Saunders et al., (2008)** ; **Richter et al., (2009)**).

Pour la sélection des échantillons, nous avons opté pour un échantillonnage aléatoire stratifié, basé sur l'étude effectuée par (**Karabulut, 2007 et Saunders et al., 2008**) qui préconisent de petites enquêtes pour s'assurer que les produits retenus soient les plus disponibles sur le marché.

2.1. Prélèvement et présentation des échantillons

Le prélèvement des échantillons des aliments sélectionnés a été effectué en se référant aux études menées par différents auteurs ayant traité ce point (**Tavella et al, 2000**) ; (**Martin, 2005**) ; (**Greenfield et Southgate, 2007**).

(Vingt-cinq) (25) boîtes de (fromage fondu/ fromage analogue) représentant 5 marques différentes ont été achetées chez des commerçants de détail de la wilaya de Tizi-Ouzou (100 km à l'est de la capitale Alger) (**Tableau VIII**) durant la période allant de Décembre 2018 à Avril 2019.

Chaque boîte comprend 16 portions. Cinq marques (codées F01 à F05 dans ce travail) étaient représentées par 5 boîtes chacune (3 boîtes pour les analyses physicochimiques, et 2 boîtes pour les analyses sensorielles).

Les marques des échantillons ont été choisies d'une enquête alimentaire mise en ligne sur les marques de fromages fondus et analogues les plus consommés en Algérie avec une participation plus de 500 personnes.

Tableau VIII: Description des échantillons de fromages étudiés.

Produit	Code	Date de Fabrication	Composition
1 (16 Portions)	F01	25/03/19 20/04/19 25/04/19	Fromage Cheddar. Beurre. Poudre de lait. Eau. Protéines laitières. Lactosérum. NaCl. Matière grasse laitière. Matière grasse végétale. Stabilisants : sin339-sin450-sin452 Régulateurs d'acidité : sin331-sin330 Epaississants : sin508-sin410-sin407 Teneur en Phosphore < 20g/kg
2 (16 Portions)	F02	25/03/19 03/04/19 15/03/19	Lait écrémé reconstitué (poudre de lait. Eau). Fromages. Sel, Protéines laitières Régulateurs d'acidité : sin331-sin330 Stabilisants:sin339-sin450-sin452 Teneur en Phosphore < 20g/kg
3 (16 Portions)	F03	01/04/19 04/03/19 11/03/19	Lait écrémé reconstitué (poudre de lait. Eau). Matière grasse laitière. Fromages. Protéines laitières. Améliorants : sin341-sin452 Régulateurs d'acidité : sin330 Conservateurs : sin202 Autres : sel, gluconate de zinc, pyrophosphate de fer, vitamine B12, vitamine D Teneur en Phosphore < 2000mg/kg
4 (16 Portions)	F04	31/12/18 03/03/19 16/04/19	Lait écrémé reconstitué (poudre de lait. Eau).Cheddar, Beurre, sel Stabilisants:sin339-sin450-sin452 Régulateurs d'acidité : sin331-sin330 Teneur en Phosphore < 20g/kg
5 (16 Portions)	F05	3/3/19 12/4/19 16/3/19	Fromage Cheddar. Beurre. Poudre de lait. Eau. Protéines laitières. Lactosérum. NaCl. Matière grasse laitière. Stabilisants : sin339-sin450-sin452 Régulateurs d'acidité : sin331-sin330 Epaississants : sin508-sin410-sin407 Teneur en Phosphore < 20g/kg

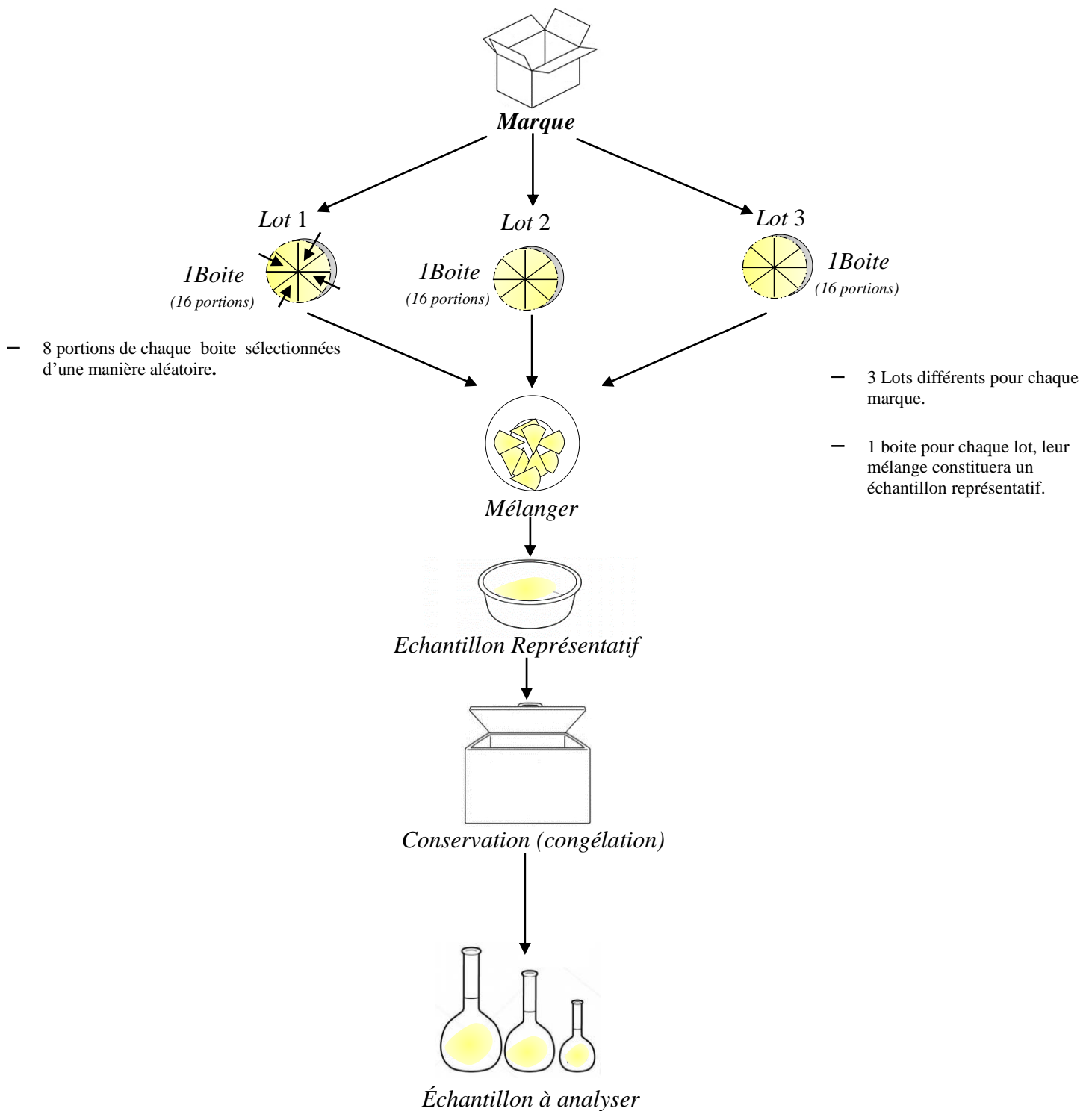


Figure 14 : Protocole de l'échantillonnage



Figure 15 : Les marques de fromage analysées

3. Analyses physicochimiques

3.1. Détermination du pH

- **Principe :**

Le pH est une mesure de l'acidité ionique du produit à analyser, on le mesure habituellement à l'aide d'un pH-mètre.

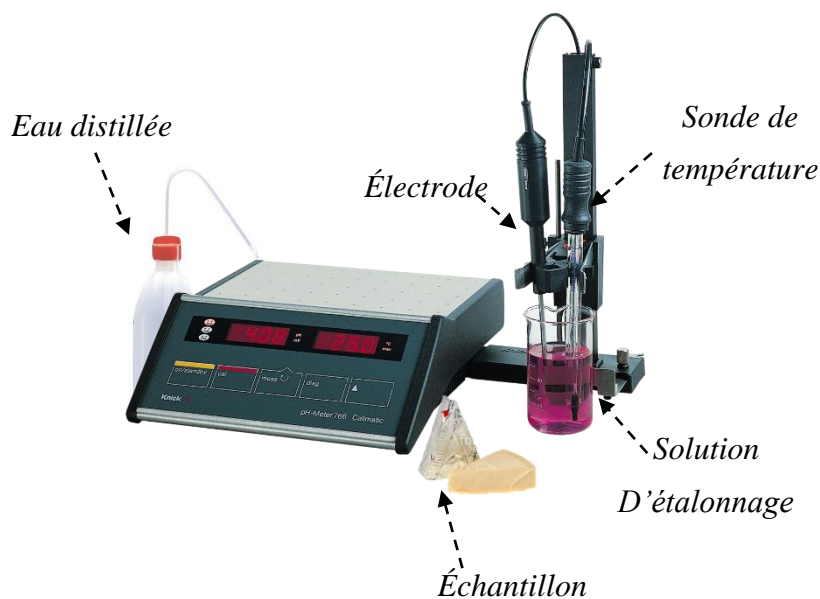
- **Mode opératoire :**

1. Etalonner l'appareil avec des solutions tampons.
2. Rincer l'électrode du pH-mètre avec l'eau distillée
3. Plonger l'électrode dans un bécher contenant le produit à analyse
4. La lecture se fait directement sur le pH-mètre

Selon la norme **AFNOR (1980)**, la sonde du pH-mètre a été introduite directement dans l'échantillon de la pâte de fromage à une température de **25°C**. La mesure a été répétée 2 fois pour chaque échantillon.

- **Matériel:**

- pH-mètre :



3.2. Détermination de la teneur en cendres

- **Principe :**

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de **550°C** jusqu'à combustion complète de la matière organique (**ISO 6884, 2008**).

- **Mode Opérateur :**

- Peser un creuset vide à l'aide d'une balance de précision
- Peser 5g d'échantillon dans un creuset
- Peser le creuset avec la prise d'essai
- Mettre dans un four à une température de 550 °C pendant 4 heures
- Transférer les creusets contenant les cendres dans un dessiccateur puis peser avec une Balance de précision à 0.001g

Les résultats sont exprimés à 0,01 % près et rapportés à la matière sèche.

$$Tc (\%) = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 10$$

- Tc : Taux de cendres (%)
- P₀ : Poids du creuset vide
- P₁ : Poids du creuset + prise d'essai
- P₂ : Poids du creuset+ résidu calciné

- **Matériels :**

1-creuset



2- Balance de précision



3- Four à moufle



4- dessiccateur



3.3. Mesure de l'extrait sec

La détermination de l'extrait sec est réalisée par un dessiccateur PMB 250.

- **Principe :**

Le principe repose sur l'élimination de toute l'eau à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'un poids constant de la prise d'essai analysée.

- **Mode Opérateur :**

Une prise d'essai de 3 g est étalée sur toute la surface d'une capsule en aluminium préalablement tarée, puis introduite dans le dessiccateur et l'analyse est lancée. La valeur de l'extrait sec en pourcentage (%) est lue directement sur l'afficheur numérique après le bip sonore. Les mesures sont effectuées en double.

- **Matériel :**

-Dessiccateur



Puis l'**humidité** est calculée par la différence ($100 - \text{Extrait sec total}$).

3.4. Détermination de l'acidité titrable

- **Rappel :**

L'acidité titrable indique le taux d'acide lactique formé à partir du lactose. On exprime couramment l'acidité d'un lait en degrés Dornic. Ce dernier étant le nombre du dixième de millilitre de soude utilisée pour titrer 10 millilitres de lait en présence de phénolphthaléine.

Quelques gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées à la prise d'essai (10 ml de lait) puis titré avec une solution de Na(OH) à 0.1 N jusqu'à virage au rose de la solution qui doit persister pendant une dizaine de secondes. L'acidité est exprimée en degré Dornic (°D) et donné par la lecture directe du volume de soude versé.

- **Cas du Fromage :**

L'acidité titrable est déterminée selon la méthode officielle de l'AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (AOAC.947.05). Elle repose sur le même principe donné pour le lait.

- **Mode Opérateur :**

Un échantillon de **10 g** du **fromage** finement **broyé** est mis dans une fiole jaugé de 100ml

Ce volume est ajusté au trait de la jauge avec de l'eau distillée chauffée à **40°C** puis Filtré dans un erlenmeyer.

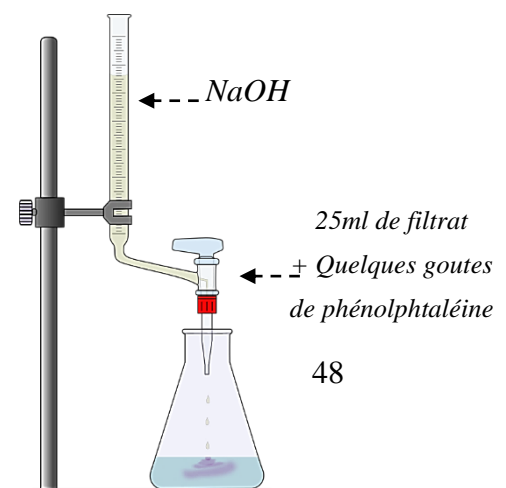
Un volume de **25 ml** de la solution est considéré comme 2,5g du fromage titré par le **Na(OH)** en présence de **phénolphthaléine**

Chaque **1 ml** de **NaOH** représente **0,009 g acide lactique**.

L'acidité est donc donnée par la formule suivante :

Acidité du fromage = $(V' \times 0,009)$ exprimée en (g acide lactique/ 100 g du fromage)

V' représente le volume de NaOH qui neutralise 100 g de fromage.



3.5. Détermination de la teneur en matière grasse

Méthode de Gerber

- **Principe :**

Après la dissolution des protéines de fromage par addition d'acide sulfurique, séparation de la matière grasse par centrifugation dans le butyromètre de la séparation étant favorisée par l'addition de d'une petite quantité de l'alcool amylique.

- **Mode Opérateur :**

- Peser **3g ±0.005g** de fromage dans un système de pesage adapte à un bouchon approprié, fermer le col au moyen du bouchon en caoutchouc muni du système de pesage contenant le système de pesage contenant la prise d'essai.
- Ajouter l'**acide sulfurique** par autre extrémité reste ouverte, jusqu'à ce que l'acide atteint une hauteur d'environ **2/3** de la chambre de butyromètre et que le système de pesage soit complètement entouré d'acide sulfurique.
- Placer le butyromètre, le col en bas pendant **5 min** dans un bain d'eau à **65°C ± 2°C**.
- Retirer le butyromètre du bain d'eau et l'**agiter énergiquement** pendant **10** secondes, répéter les opérations de chauffage et l'agitation jusqu'à **dissolution complète** de **fromage**.
- Retirer le butyromètre du bain d'eau, et après avoir soigneusement agité. Ajouter **1ml** de **d'alcool amylique**, agiter à nouveau immédiatement pendant 3 secondes.
- Ajouter de l'acide sulfurique par l'ouverture étroite jusqu'à ce que le niveau atteint le trait repère **35%** de l'échelle, fermer immédiatement avec un petit bouchon et retourner le bouchon et retourner le butyromètre.
- Agiter énergiquement pendant 10 secondes des que la matière grasse est montée dans la chambre du butyromètre, Placer butyromètre, le col en bas pendant **5 min** dans un bain d'eau à **65°C ± 2°C**.
- Retirer le butyromètre du bain, et centrifuger pendant **10 minutes** et Ajuster le bouchon du col de façon à amener la colonne de matière grasse dans la partie graduée.
- **Expression des résultats:** Obtention de la teneur en matière grasse en grammes pour 100g de fromage, par **lecture directe** sur l'échelle de butyromètre.

• Matériels :

- Butyromètre



- Vortex



- Bain-marie



- Balance



- Centrifugeuse



- Burette



3.6. Détermination de la composition en acide gras

- **Extraction des lipides :**
- **Le choix de la méthode :**

L'extraction dans le **chloroforme-méthanol** est bien connue (méthode de Folch). Cette méthode a été choisie en raison de ses douces conditions de travail (ni chaleur ni pression élevées), ce qui évite d'éventuelles modifications de la matière grasse extraite. De nombreux auteurs ont également opté pour cette méthode (**Tavella *et al.* 2000 ; Martin *et al.* 2005 ; Priego-Capote *et al.* 2007 ; Greenfield et southgate, 2007**).

- **Principe :**

Elle combine la **capacité de pénétration** de l'**alcool** dans les tissus avec le **pouvoir dissolvant** du **chloroforme** pour les lipides. Cette méthode d'extraction est préférable quand l'extrait est utilisé pour mesurer les acides gras. La méthode est efficace pour les aliments complexes et fait partie des méthodes officielles **AOAC (Greenfield et southgate , 2007)**.

- **Mode Opérateur :**

Nous avons suivi le protocole analytique appliqué par plusieurs auteurs (**Parcerisa et al., 1999 ; Priego-Capote et al., 2007**)

- 200g de l'échantillon
- Ajouter 150ml du mélange chloroforme/méthanol (2:1 v/v) dans un Erlenmeyer de 250 ml
- Mélange pendant 45 mn avec agitateur magnétique
- Filtrer le mélange
- Extraire à nouveau la phase solide 1 ou 2 fois avec le même volume de l'extractant
- Combiner les phases liquides dans une ampoule à décanter
- On ajoute 50 ml de solution de NaCl saturée
- Agiter le mélange
- Après une séparation de phases, filtrer ensuite sécher la phase chloroforme avec du sulfate de Sodium anhydre
- Filtrer à nouveau
- Mettre la phase chloroformique dans le ballon
- **Passer au Rotavapor (Température : 40°C)**

Matériels :

- ampoule à décanter

- tube à essai

- évaporateur rotatif



- **Détermination de la teneur en acide gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) :**
- **Principe :**

Le principe de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) consiste, après formation d'esters méthyliques des acides gras, à les entraîner à travers une colonne contenant un liquide inerte à une haute température, de telle sorte que selon le partage entre le gaz entraîneur et le liquide, les divers esters sortent de la colonne à des moments différents (Voir figure: 15).

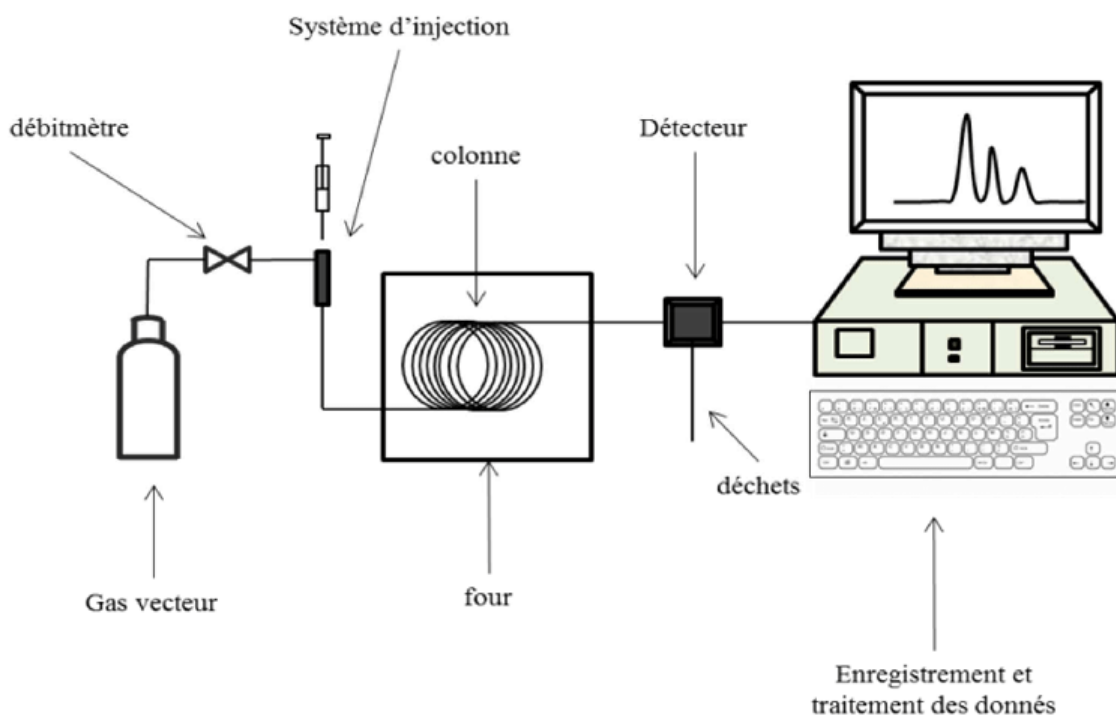


Figure 16 : Principe de la CPG

- **Préparation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG/FAME) :**

La chromatographie directe des corps gras n'est pas toujours possible en raison de leurs températures d'ébullition trop élevées et leurs instabilités thermiques. Généralement, les acides gras sont analysés sous forme estérifiée. Cette transformation chimique permet d'abaisser leurs points d'ébullition et obtenir ainsi des dérivés thermostables (Wolff, 1968).

La méthode choisie est celle utilisée par plusieurs auteurs à l'instar de (Alonso et al., 2000) et (Vucic et al., 2015).

- **Matériel:**

- Epprouvettes à bouchon vissant (capacité 5ml)
- Pipettes graduées

- **Réactifs :**

- Méthanol CH₃OH
- Hexane
- Hydroxyde de potassium KOH
- Solution méthanolique MeOH à 2N

- **Mode opératoire:**

- Prendre 100mg de matière grasse
- Ajouter 3ml d'hexane
- Ajouter 0,1 ml de KOH methanolique
- Agiter pendant 1mn
- 30mn à 5°C
- Laisser reposer pendant 15mn
- Récupérer la phase hexane
- Analyser par CPG

- **Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) :**

Les acides gras sont identifiés par leurs temps de rétention en comparaison à un chromatogramme de référence d'un mélange standard d'esters méthyliques de composition et

concentration connues. Le mélange de standards utilisé contient 28 composés, allant du C4:0 methyl butyrate au C22:6 methyl docosa hexaenoate.

Tableau IX : Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques sont comme suit :

<i>Chromatographe</i>	<i>Chromopack CP 9002</i>
<i>Détecteur</i>	<i>FID</i>
<i>Injecteur</i>	<i>SPLIT 1/100</i>
<i>Gaz vecteur</i>	<i>Azote</i>
<i>Colonne capillaire</i>	<i>DB 23 (50% cyanopopyl)</i>
<i>Longueur</i>	<i>30 m</i>
<i>Diamètre intérieur</i>	<i>0,32 mm</i>
<i>Epaisseur</i>	<i>0,25 µm</i>
<i>Températures</i>	
<i>Injecteur</i>	<i>250 °C</i>
<i>Détecteur</i>	<i>250 °C</i>
<i>Four</i>	<i>150 °C-----240 °C à 5°C/min</i>
<i>Quantité injectée</i>	<i>1 µl</i>
<i>Vitesse du papier</i>	<i>0,5 cm/mn</i>

La teneur en acides gras est exprimée en pourcentage des acides gras totaux.

3.7. Détermination de la teneur en protéines

Titration au formol

- **Principe :**

La méthode utilisée pour l'estimation des protéines est basée sur **la combinaison** du **formaldéhyde** avec les **groupements basiques** de la **lysine** et de **l'arginine** et la **libération** d'un **proton** par site de fixation.

Pour le mode opératoire nous nous sommes inspirés de la méthode de **Wolfschoon et Vargas (1978)**.

- **Mode Opératoire :**

Pour ce faire, **1g** de fromage fondu a été dilué dans **9mL** d'eau distillée. **0,4ml d'oxalate de potassium** saturé et **1ml** de **phénophtaléine** y sont ajoutés.

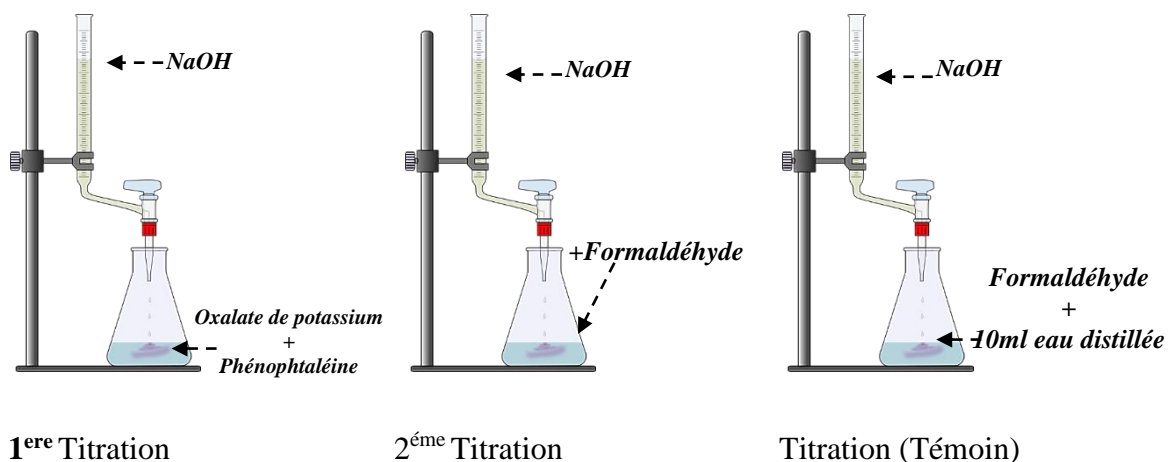
Le titrage du mélange a été effectué en présence de **NaOH (0,1N)** jusqu'à l'obtention d'une couleur **rose pale**.

Ensuite on y ajoute **2ml** de **formaldéhyde**. le titrage du mélange est effectué toujours en présence de **NaOH (0,1N)** jusqu'à l'apparition de **la couleur rose pale**.

Le mélange de **10ml** d'eau distillée avec **2ml** de **formaldéhyde** est titré en présence de **NaOH**. Il sert de **témoin**.

La teneur des protéines est exprimée selon la formule suivante :

Chute de formaldéhyde x 1.71



3.8. Dosage du lactose

La méthode à la liqueur de Fehling (afnor, 1986)

- **Principe**

Le lait sera d'abord déféqué puis le lactose va provoquer la réduction de la liqueur de Fehling pour donner un précipité rouge brique d'oxyde cuivreux Cu_2O .

- **Réactifs :**

La liqueur de Fehling est le mélange au moment d'emploi de 2 solution **A** et **B**

-**Solution A:** $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 40g + 5ml H_2SO_4 pure à compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

-**Solution B:** tartrate double de **K** et **Na** 200g +150g de **NaOH** à compléter à 1000ml de l'eau distillée.

-Ferrocyanure de K^+ à 15% (**Carrez 1**)

-Acétate de Zinc à 25% (**Carrez 2**)

-**Solution étalon** de lactose à 5g/l

- **Matériels :**

- Plaque chauffante



-Balance



-Verrerie



- Papier *filtre*



- *Burette*



- **Mode opératoire**

Peser **5g** de **fromage** dans un bécher ou un erlen de **50ml**, ajouter **0.4ml** de carrez 1 puis **0.4ml** de réactif carrez 2 (défécation) puis compléter au trait de jauge avec l'eau distillée puis laisser décanter durant **15min.** ensuite filtrer sur papier filtre.

Verser le liquide filtrant dans une burette graduée de 10ml.

Dans un bécher de 100ml ou 150ml, verser **5ml** de liqueur A (solution cuivrique bleue) et **5ml** de la solution B (tartro alcaline incolore). Agiter. Il y a apparition d'une **coloration bleue**. Puis placer le bécher sur plaque chauffante mise en marche à rapprocher près de la burette et atteindre l'ébullition.

Verser le filtrat de fromage de la burette goutte à goutte jusqu'à la disparition de la couleur bleue. Noter le volume en ml de filtrat versé **V₁**.

Dans un second temps, verser dans la burette propre la solution étalon de lactose, et de préparer un bécher propre de 150ml dans lequel il faut introduire 5ml de la solution A et 5ml de la solution B. Agiter. Mettre à chauffer jusqu'à ébullition sur plaque chauffante. Ensuite titrer le mélange bleu jusqu'à décoloration vers le rouge brique. Soit **V₂** en ml la chute de burette.

Calculer la teneur en lactose en g/l de fromage étudié :

$$C_{\text{lactose (g/L)}} = V_1/V_2 \times 5$$

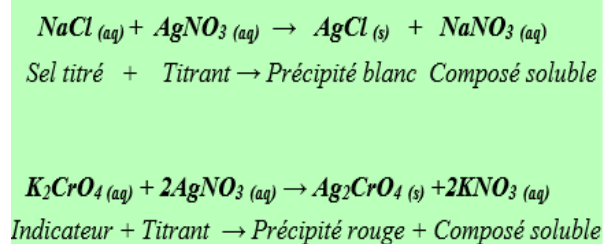
3.9. Détermination de la teneur en chlorure de sodium (NaCl)

Méthode de Mohr

Cette méthode concerne les produits neutres et légèrement basiques. Elle s'applique au beurre et au fromage.

- **Principe :**

Le titrage colorimétrique est basé sur la précipitation différentielle de deux anions : Cl^- et CrO_4^{2-} par ajout d'une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) en milieu neutre ou alcalin. L'ajout d'un indicateur coloré, le nécessaire.



- **Mode Opérateur :**

- Peser **10g** de fromage râpé dans un Erlen Meyer
- Ajouter **15ml** d'eau chauffée à **55-65 C°**
- **Agiter** à l'aide d'un agitateur magnétique
- Ajouter **25ml** d'eau pour disperser le fromage
- Compléter à **100 ml** avec de l'eau distillée
- Transférer **50ml** de la solution en filtrant dans un Erlen de 250ml
- Ajouter **1ml** de **chromate de potassium** à **10%**
- **Titrer** la solution avec nitrate d'argent AgNO_3 à **0.1M** jusqu'à l'apparition d'une **couleur rouge brique persistante** pendant **30** secondes.

- **Expression des résultats :**

La teneur en sel est calculée de la manière suivante :

$$\text{Ts}\% = \frac{\text{N} \times \text{Eq. NaCl}}{m \times 10}$$

Où :

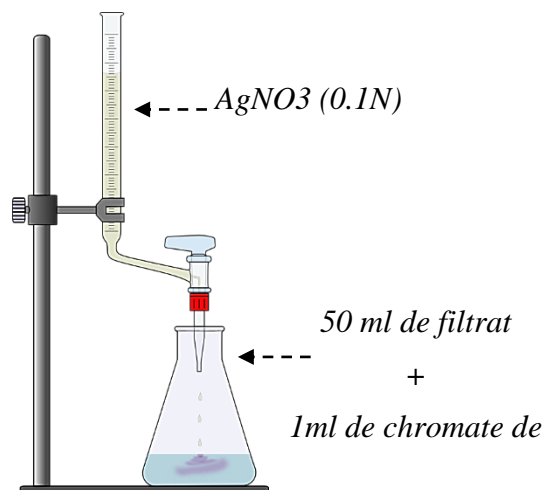
Ts : Teneur en sel exprimée en %

N : Normalité d'AgNO₃ (0.1N)

V (ml) : Volume en ml d'AgNO₃ utilisé pour le titrage

Eq.g (NaCl) : Equivalent grammes de NaCl égal à **58.5**

m: Prise d'essai en g.



4. Détection de produits amylacés

- **Principe :**

La détection de présence d'un produit amylacé dans un produit alimentaire est basée sur le principe **d'iodométrie**. La fixation par les colloïdes de l'iode libre en solution aqueuse produit une **coloration bleue**. Cette coloration indique la présence d'amidon dans le produit analysé (**Norme Algérienne: NA N° 10.96.22**).

- **Mode Opérateur :**

1g d'échantillon est mis dans un tube où furent ajoutés **20 ml** d'eau distillée.

Le tube est **agité** et mis dans un bain d'eau **bouillante** pendant **5 minutes** puis **refroidi** avant d'y ajouter **0,5 ml** de la **solution d'iode** (à **1%** d'Iode et à **2%** d'Iodure de potassium KI).

La présence d'un produit amylicé est caractérisée par l'apparition d'une **coloration bleue** plus ou moins intense du liquide, ainsi que par la **précipitation de grains bleus** au fond du tube.

- **Réactifs :**

1- solution d'iode

(1% d'Iode et à 2% d'Iodure de potassium KI)

Matériels :

1- Tube à essai



2-Vortex



3-plaque chauffante



4- Bécher



5. Quantification des Acides Gras Trans par spectroscopie infrarouge en mode transmission (IRTF)

- **Principe**

La teneur en insaturations trans est déterminée par une mesure de l'intensité de la bande d'absorption à 967 cm^{-1} (caractéristique des vibrations de déformation des liaisons C-H adjacentes à la double liaison $-\text{C}=\text{C}-$). Les diènes conjugués (cis, trans) et (trans, trans) absorbent dans l'infrarouge à 983 cm^{-1} et 988 cm^{-1} respectivement. Et les triènes conjugués (cis, cis, trans), (cis, trans, trans) et (trans, trans, trans) absorbent quant à eux à 989 cm^{-1} , 991 cm^{-1} et 994 cm^{-1} (**KOCHHAR&al., 1989**).

- **Méthode AOCS Cd14d-99**

Cette méthode est rapide et simple à mettre en œuvre car elle demande peu de manipulation (pas de dilution d'échantillon, pas de dérivation des AG, éventuellement séchage sur sulfate si présence d'eau).

Les huiles ou graisses (fondues si concrètes) sont déposées directement sur la cellule de lecture. La mesure de transmission IRTF est effectuée à 966 cm^{-1} (intégration entre 990 et 945 cm^{-1}).



Figure 17 : spectroscopie infrarouge en mode transmission (IRTf) (photo originale)

6. Détermination de la teneur en minéraux par spectroscopie à absorption atomique (SAA)

- **Principe de fonctionnement de l'AAS**

L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments doser. Dans le cas de l'absorption, on envoie donc sur les atomes à doser un faisceau monochromatique d'intensité connue, de longueur d'onde caractéristique à l'élément à doser. La mesure de l'intensité transmise permet de déduire le nombre d'atomes absorbants présents dans la flamme. Cette détermination est basée sur la loi de Beer-Lambert :

$$ABS = \text{Log } I_0/I = \epsilon \cdot l \cdot c$$

Avec:

ϵ = constante qui dépend de l'atome absorbant.

l =longueur de la flamme.

c =concentration de la solution en élément absorbant.

$\text{Log } I_0/I$ = l'absorbance ou densité optique

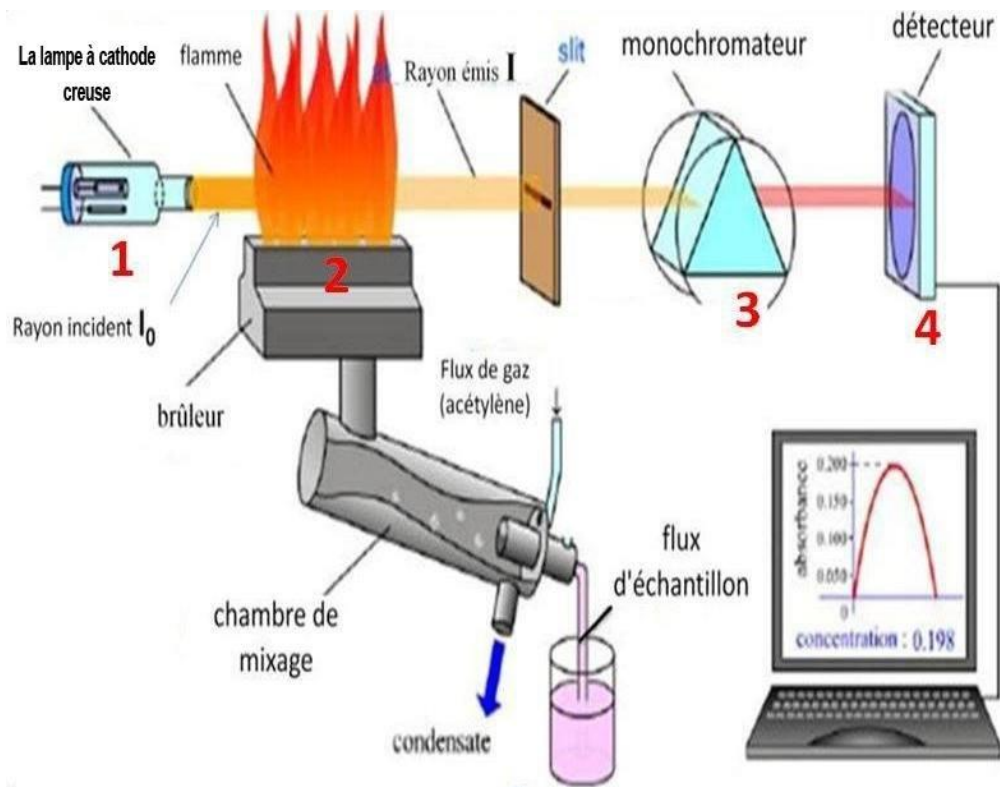


Figure 18 : Principe de la spectroscopie à absorption atomique (SAA)

Le spectrophotomètre utilisé dans le cadre de cette étude est le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de marque Thermo Scientific (ICE 3500 AAS) (**figure : 19**).

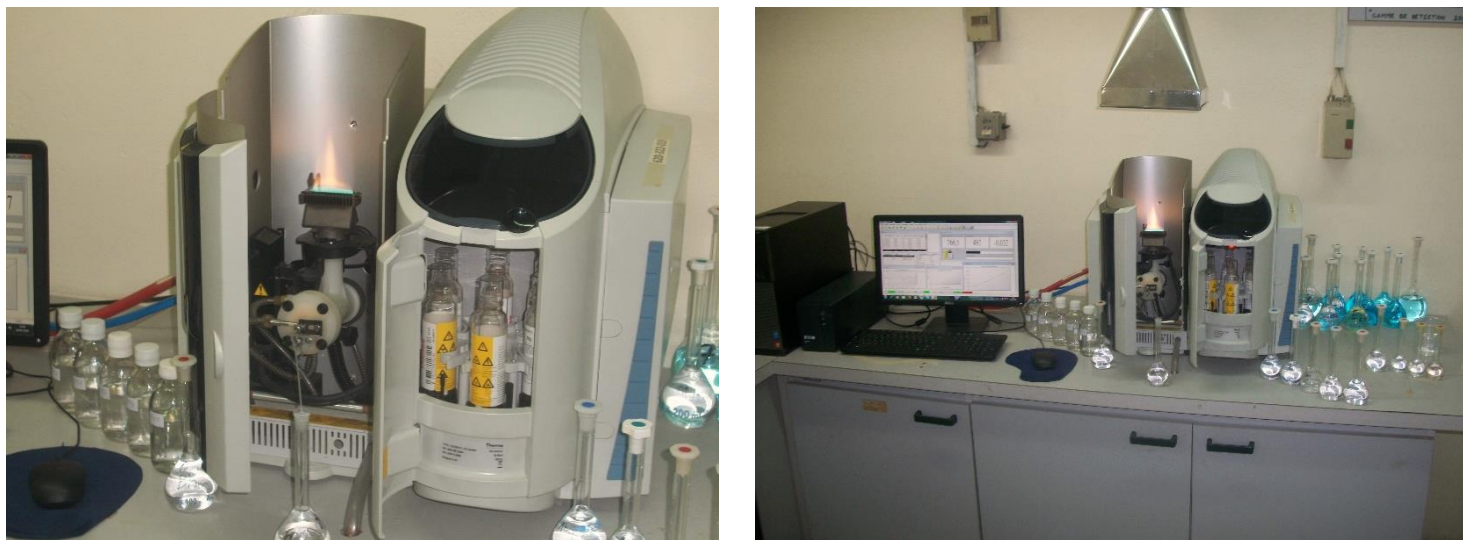


Figure 19 : spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de marque Thermo Scientific (ICE 3500 AAS) (**Photo originale**)

Méthode officielle ISO 8070 IDF 119 (2007) :

• **Réactifs :**

- Acide nitrique (HNO_3) pur (65%)
- Solution d'acide nitrique (HNO_3) (25%)

• **Solutions standards :**

- Solution standard de calcium $c(\text{Ca}^{2+}) = 1\text{g/l}$
- Solution standard de sodium $c(\text{Na}^+) = 1\text{g/l}$
- Solution standard de potassium $c(\text{K}^+) = 1\text{g/l}$
- Solution standard de magnésium $c(\text{Mg}^{2+}) = 1\text{g/l}$
- Solution standard de fer $c(\text{Fe}^{2+}) = 1\text{g/l}$
- Solution standard de Zinc $c(\text{Zn}^{2+}) = 1\text{g/l}$



- **Préparation de la solution de travail standard (ST) :**

A l'aide d'une micropipette prélever :

- 10ml de la solution standard de calcium
- 2ml de la solution standard de sodium
- 2ml de la solution standard de potassium,
- 1ml de la solution standard de magnésium

Ensuite transverse ces volumes dans une fiole de 100ml et mélanger, puis ajouter 5ml de l'acide nitrique (65%). Enfin, ces volumes sont ramenés à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Minéralisation et préparations des solutions d'échantillons :**

- **Minéralisation par voie sèche :**

Une quantité de 1g d'échantillon broyé est pesée dans un creuset en porcelaine puis mis au four à moufle à 550 °C pendant 6h. Après refroidissement, 1ml d'acide nitrique à 25 % est ajouté à la cendre obtenue.

Le résidu final est récupéré, puis versé dans une fiole de 250 ml. Le creuset est rincé deux fois avec l'eau distillée.

La fiole est complétée à 250ml avec l'eau distillé, dans les mêmes conditions, un essai à blanc est réalisé.

- **Préparation de la gamme étalon :**

Des volumes de 0, 1, 2, 3, 4, 5ml de solution standard de travail (ST) sont introduits successivement dans cinq fioles jaugées différentes de 100 ml chacune. Ensuite des volumes de 2 ml d'acide chlorhydrique concentré et 10 ml de solution de lanthane à 3 % sont ajoutés dans chacune des fioles. Enfin ces volumes sont ramenés à 100 ml avec de l'eau déminéralisée.

- **Mode opératoire :**

Les longueurs d'ondes des éléments à analyser sont d'abord définies sur l'appareil (424,7 nm pour le calcium, 589.6nm pour le sodium, 766.5 nm pour le potassium et 285.2nm pour le magnésium et 372.0 pour le Fer). Ensuite, les différentes lectures des gammes d'étalonnage permettent d'établir la courbe d'étalonnage traduisant l'absorbance en fonction

de la concentration. Enfin, les solutions contenant les cendres sont présentées à l'appareil afin de déterminer l'absorbance. Notons qu'il faut obligatoirement faire passer le blanc entre le passage de deux solutions différentes.

Tableau X : les différentes solutions de la gamme étalon et leurs concentrations.

Fiole	Solution D'ions de Calcium mg/l	Solution D'ions de Sodium mg/l	Solution D'ions de Potassium mg/l	Solution D'ions de Magnésium/Fer mg/l
1	0	0	0	0
2	1.0	0.2	0.2	0.1
3	2.0	0.4	0.4	0.2
4	3.0	0.6	0.6	0.3
5	4.0	0.8	0.8	0.4
6	5.0	1.0	1.0	0.5

Tableau XI : Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des minéraux par SAA.

Elément A dosé	Longueur d'onde (nm)	Type de gaz	Lampe (mA)	Type De signale
calcium	424,7	Air Acétylène	15	AA
Sodium	589.6	Air Acétylène	15	AA
Potassium	766.5	Air Acétylène	15	AA
Magnésium	285.2	Air Acétylène	15	AA-BG
Fer	372.0	protoxyde d'azote/acétylène	5	AA

Expression des Résultats :

$$W = \frac{C \times V}{m \times 1000} \times F_1 \times F_2$$

Avec:

- **W** : est la fraction massique de l'ion (exprimée en milligrammes par gramme) de la fraction de masse d'ions (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}) de l'échantillon.
- **C** : est la concentration en ions, en milligrammes par litre, dans la solution d'essai lue à partir de graphe d'étalonnage.
- **V** : est le volume, en millilitres, de la fiole dans laquelle la cendre sèche ($V = 250$ ml) ou les solutions digérées ($V = 50$ ml) sont transférés quantitativement.
- **m** : est la masse, en grammes, de la prise d'essai utilisée dans la procédure.
- **F₁** : est le facteur de dilution de la solution à examiner effectué lors de l'étape de préparation.

- F_2 : est le facteur de dilution de la solution à examiner effectué lors de la mesure.

6.1. Détermination de la teneur en calcium par la méthode colorimétrique

Méthode proposée par le professeur (schwarz, 1965)

- **Principe**

La totalité du calcium du lait est mise en solution et les matières protéiques sont précipitées par l'acide trichloracétique.

Le calcium contenu dans le filtrat est précipité sous forme d'oxalate de calcium, qui est séparé par centrifugation et titré à l'aide de permanganate de potassium.

- **Réactifs :**

- Oxalate d'ammonium saturée
- Acide acétique à 20%
- Acide sulfurique pur
- Permanganate ($KMnO_4$) à 0.02N
- Acide chlorhydrique (HCL)
- Rouge de méthyle à (0,05%)
- Ethanol à (95 %)
- Solution d'ammoniaque à (2%)

- **Matériels :**

-Balance de précision



-Bain-Marie



- Four a moufle



- Centrifugeuse



- Agitateur Magnétique



- burette



- Creuset



- Papier filtre



- Verrerie



Préparation de l'analyse (minéralisation) :

- **Minéralisation par voie sèche (avec /ou sans acétate de magnésium) :**

Dans une capsule de platine ou de quartz peser exactement environ 10g de fromage

Dans les cas où l'on aura à juger l'influence de l'acétate de magnésium, ajouter au contenu de la capsule 2 ml d'une solution aqueuse d'acétate de magnésium à 10p.100.

Evaporer à sec au bain-marie bouillant. Après dessiccation complète, calciner au four à moufle à une température comprise entre 500°C et 550°C jusqu'à obtention des cendres blanches.

Après refroidissement de la capsule, la couvrir avec un verre de montre, dissoudre les cendres dans quelques ml d'acide chlorhydrique (en principe 3ml de HCL) diluer avec de l'eau, transvaser dans une fiole jaugée de 50ml, rincer le verre de montre et la capsule, recueillir les eaux de lavage dans la fiole. Refroidir s'il y a lieu. Compléter à 50ml avec de l'eau. Mélanger. Filtrer. Recueillir le filtrat.

- **Séparation du calcium à l'état d'oxalate.**

Dans un tube de centrifugation cylindrique de 30ml de volume total, gradué approximativement à 20ml, introduire:

-10 ml du filtrat de la solution acide des cendres.

Ajouter 2 ml d'une solution aqueuse d'oxalate d'ammonium saturée à froid, 2 gouttes de rouge de méthyle à 0,05p.100 dans l'alcool à 95p.100 et 2 ml d'acide acétique à 20p.100.

Mélanger par agitation circulaire et ajouter peu à peu de l'ammoniaque au demi jusqu'à coloration jaune pâle puis quelques gouttes d'acide acétique à 20p.100 jusqu'à coloration rose.

Laisser reposer 4h à la température ordinaire. Diluer à 20ml avec de l'eau. Centrifuger 10mn à 1 400 G. Décantier le liquide surnageant avec un dispositif à succion muni d'un tube capillaire.

Introduire dans le tube de centrifugation, pour rincer les parois, (Mais sans remettre en suspension le culot d'oxalate de calcium) 5 ml de solution d'ammoniaque à 2 p.100. Centrifuger 5mn à 1 400g.

Enlever le liquide surnageant .Faire ainsi trois lavages. (Ces lavages ne sont nécessaires que lorsque le dosage se fera par manganimétrie. ils sont inutiles dans le cas du dosage par complexométrie.)

- **Dosage de calcium par manganimétrie :**

Sur le culot d'oxalate de calcium, ajouter 2 ml d'une solution d'acide sulfurique au quart environ (obtenue en mélangeant 20 ml d'acide sulfurique pur et 80ml d'eau) et 5 ml d'eau.

Placer le tube au bain-marie bouillant. Quand l'oxalate est entièrement, dissous; titrer avec KMnO_4 (0,02N).

La température doit rester supérieure à 60°C pendant le titrage.

1 ml de KMnO_4 (0,02N) = 0,4 mg de Ca.

Soit **V** le volume de Permanganate employé.

La teneur en calcium est exprimée par La formule suivante :

$$\text{Ca (mg)} = 0.004 \times V \times 1000/2$$

7. Caractérisation sensorielle:

Cette analyse permet la mise en évidence des caractéristiques sensorielles des 5 marques de fromage étudiées.

- **Test et panel de dégustation :**

Le panel dégustateur est constitué de **34** personnes non entraînées (naïfs). La majorité de ces membres sont des étudiants de (fin de cycle M2, M1, L3) et des enseignants, Administrateurs de département des sciences agronomiques (UMMTO).

- **Préparation des échantillons et déroulement du test :**

Les échantillons de fromage ont été présentés aux dégustateurs, environ 30 g de fromage codé par trois chiffres aléatoires, et on leur a demandé de remplir le bulletin de dégustation (**Voir annexe : 1**) et donner une note pour chaque descripteur selon son intensité après des observations visuelles, des perceptions tactiles et des dégustations répétées.

La caractérisation porte sur l'aspect, la texture, l'odeur l'arôme, la saveur et le goût du fromage. A la fin de dégustation un test de préférence est effectué.

Chaque attribut sensoriel a été évalué en utilisant une échelle d'intervalle de 1 à 9 points tels que définis dans la norme **ISO 4121** (Organisation internationale de normalisation, 2003) (**Figure 20**).

Questionnaire

Vous recevez l'échantillon N°

Goûtez-le et indiquez le caractère désagréable ou agréable sur **les échelles** ci-dessous :

1) *Texture (Sensation en bouche) :*

Très désagréable *Très agréable*

2) *Flaveur (arôme et saveur) :*

Très désagréable *Très agréable*

3) *Goût salé :*

Très désagréable *Très agréable*

4) *Appréciation globale :*

Très désagréable *Très agréable*

Figure 20 : Questionnaire D'analyse Hédonique

8. Traitement Statistique des données

Le traitement statistique des résultats a été effectué par l'application du test d'ANOVA sur le logiciel STATBOX.

Cependant pour la préparation des graphes nous avons utilisé le logiciel Microsoft Office Excel 2013.

Les résultats des analyses physicochimiques des échantillons analysés sont mentionnés dans le tableau XII.

Tableau XII : Caractérisation physicochimique des fromages étudiés.

Marques de fromages Paramètre	F01	F02	F03	F04	F05
Extrait sec total : EST (%)	44.90	43.76	44.07	42.17	44.40
Matière grasse : MG (%)	24.5	21	19.5	19.5	23
Rapport : G/S (%)	54.57	47.99	44.25	46.24	51.80
Taux de protéines (%)	6.48	8.55	8.55	8.55	6.84
Taux de cendres (%)	3.52	3.58	4.55	3.59	3.57
pH	5.71	5.54	5.50	5.74	5.72
Humidité (%)	55.1	56.24	55.93	57.83	55.6
Lactose (%)	7.38	13.6	7.05	12.77	9.49
Acidité titrable (%)	1.26	1.67	2.57	1.76	2.55
Chlorure de sodium (NaCl) (%)	8.42	7.11	7.78	7.63	7.72
Détection de produits amylacés	Absence	Absence	présence	Absence	Présence
Sodium (mg /100g)	871	862	972	972	1153
Calcium (mg /100g)	700	720	1570	760	680
(Calcium)* (mg /100g)	552	648	1310	759	759
Potassium (mg /100g)	325	302	451	521	373
Magnésium (mg /100g)	362	388	409	417	380
Fer (mg /100g)	3.1	3.7	6.6	4.8	3.1
Rapport Na/k	2.62	2.52	2.15	2.33	3.9
Acides gras trans (NIR)	Présence	Présence	Présence	Présence	Présence

* : dosage par SAA

1. Les analyses Physicochimiques

1.1. Acidité titrable

Des résultats de la détermination de la teneur en acide lactique des fromages étudiés, il apparaît que les concentrations en acide lactique dans les échantillons analysés sont faibles. Celles-ci varient de 1,25% pour le fromage « F01 » à 2,57% pour le fromage «F03», avec une valeur moyenne de 1,96 % (**Figure 21**).

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

La valeur moyenne obtenue dans notre travail concorde avec les valeurs obtenues par (**Henning et al., 2006**).

Cette faible teneur en acide lactique peut être expliquée par la nature des fromages utilisés comme matière première qui sont généralement des fromages à pâte pressée et longuement affinés (**Henning et al., 2006**).

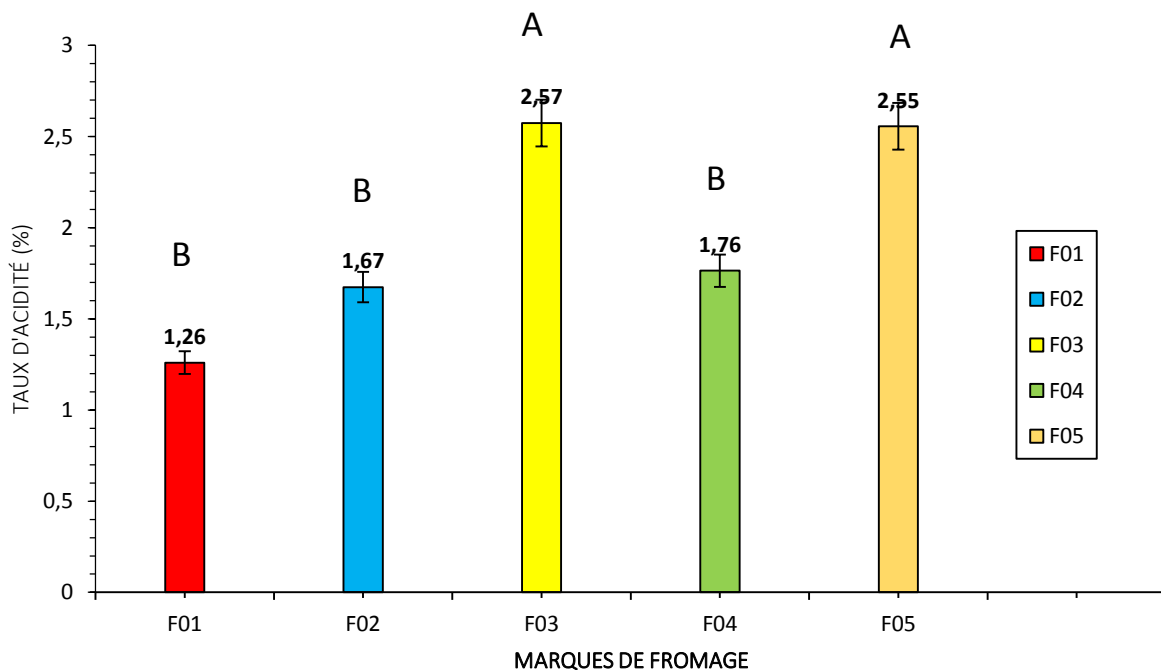


Figure 21: Acidité titrable des différents échantillons analysés

1.2. Taux de cendres

Les résultats que nous avons obtenus varient entre 3,52% pour le fromage «F01» et 4,55% pour le fromage «F03», avec une valeur moyenne de 3,76 % (**Figure 22**).

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

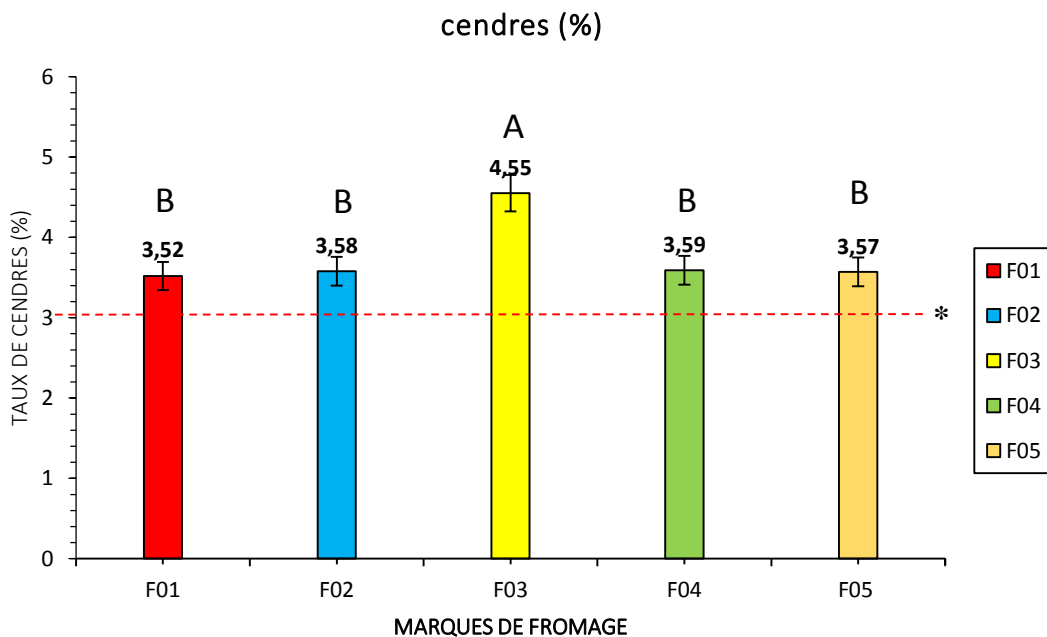


Figure 22: Taux des cendres dans les échantillons analysés

(*: Teneur optimale selon **Richonnet, 2016**).

Les sels minéraux du fromage fondu sont constitués des sels de fonte ajoutés au cours de la fabrication et des sels contenus dans la matière première du fromage (**Varunsatian et al., 1983**). A titre d'exemple, les fromages type Cheddar, l'une des matières premières les plus utilisées, faits à partir de laits enrichis en protéines contiennent plus de minéraux, et indirectement, plus de cendres (**Guinee et al., 2006**).

Eck et Gillis (1997), rapportent que le taux maximal de sels de fonte autorisé dans la formulation des fromages fondus est de l'ordre de 3%, par contre, le règlement **CE n° 1333/2008**

fixe à 2% (exprimé en P_2O_5) la quantité maximale de sels de fonte pouvant être utilisée lors de la fabrication des fromages fondus.

Selon les rapports d'ANSES (2013) et USDA (2014), Richonnet (2016) cite le taux de cendres de 2 % pour les fromages fondus fabriqués en France et 3% pour les fromages fondus fabriqués aux USA.

Esteban et Marcos, (1989) rapportent des taux de cendres de 4,2% pour des fromages fondus à faible taux en gras, 4,7% pour des fromages fondus, mi-gras, gras et extra-gras et 2,1% pour un fromage fondu double gras.

1.3. Extrait sec total

Les valeurs Extrait sec total des fromages analysés varient de 42,17 % pour le fromage « F04 » à 44,9% pour le fromage « F01 », avec une valeur moyenne de 43,86% (Figure 23).

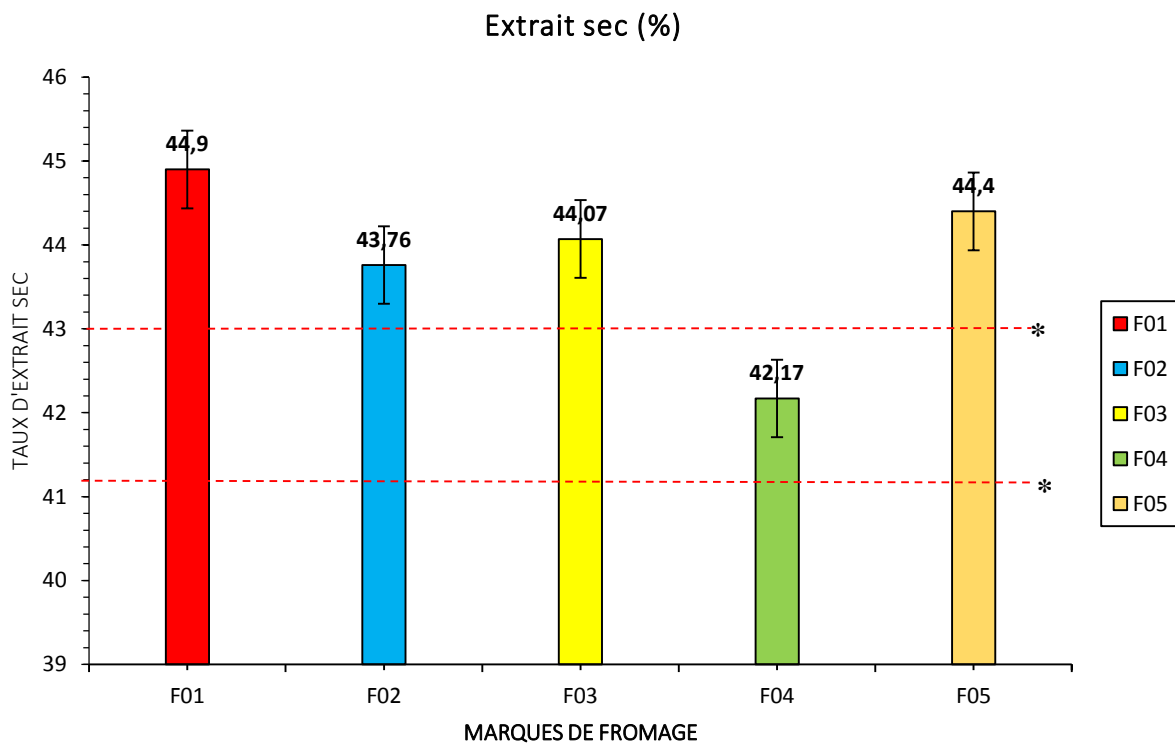


Figure 23: Taux d'extrait sec total des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales selon Roustel et Boutonnier, 2015)

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle que les différences entre les marques de fromage étudiées sont non significatives.

La valeur moyenne obtenue dans notre travail concorde avec les valeurs obtenues par **Roussel et Boutonnier (2015)** dans le cadre de contrôle qualité des fromages fondu qui varient entre 41 à 43%.

Ainsi les valeurs citées par la littérature : **Favier et al. (1986)** dans le cadre d'une étude sur la composition du lait et des produits laitiers, ont rapporté des teneurs variant de 34 à 37% pour les fromages fondus (à 25% de taux Gras/Sec) et des teneurs variant de 43 à 57 % pour les fromages fondus (à 40-50 % de taux G/S).

Vierling (2003), dans le cadre d'une étude sur la qualité nutritionnelle du fromage, rapporte des valeurs de 35,48 et 52% pour les fromages fondus à 25,45 et 60 % de taux G/S respectivement.

Le **Codex alimentaire (1978)** préconise un taux d'EST qui varie de 34 à 53% pour le fromage fondu en bloc et de 29 à 45% pour le fromage fondu pour tartine. Ces variations sont dues essentiellement au taux des matières grasses. Par ailleurs, le taux Gras sur sec augmente généralement avec le taux de l'extrait sec total.

D'après le Centre Canadien d'Information Laitière (**C.C.I.L., 2005**), la réglementation canadienne fixe un taux d'extrait sec total de 50% pour le fromage fondu.

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'extrait sec 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.

1.4. Taux de matières grasses (MG) et rapport Gras/Extrait sec

La teneur en matières grasses des fromages analysés varie entre 19,5% pour le fromage «F03» et le fromage «F04», et 24,5% pour le fromage «F01» avec une moyenne de 21,5% (Figure 24).

Cette valeur moyenne des Cinq marques de fromages est similaire à celles indiquées par **Richonnet (2016)** qui varient de 21 à 22% pour le fromage fondu et inférieure à la valeur rapportée par **Fox *et al.* (2017b)** qui est de 23,3% pour les fromages fondus en bloc. Aussi, **Oliveira *et al.* (2016)** rapportent une teneur égale ou supérieure à 30% de matière grasse pour les fromages fondus (PC) et une teneur égale ou supérieure à 23% pour les fromages fondus.

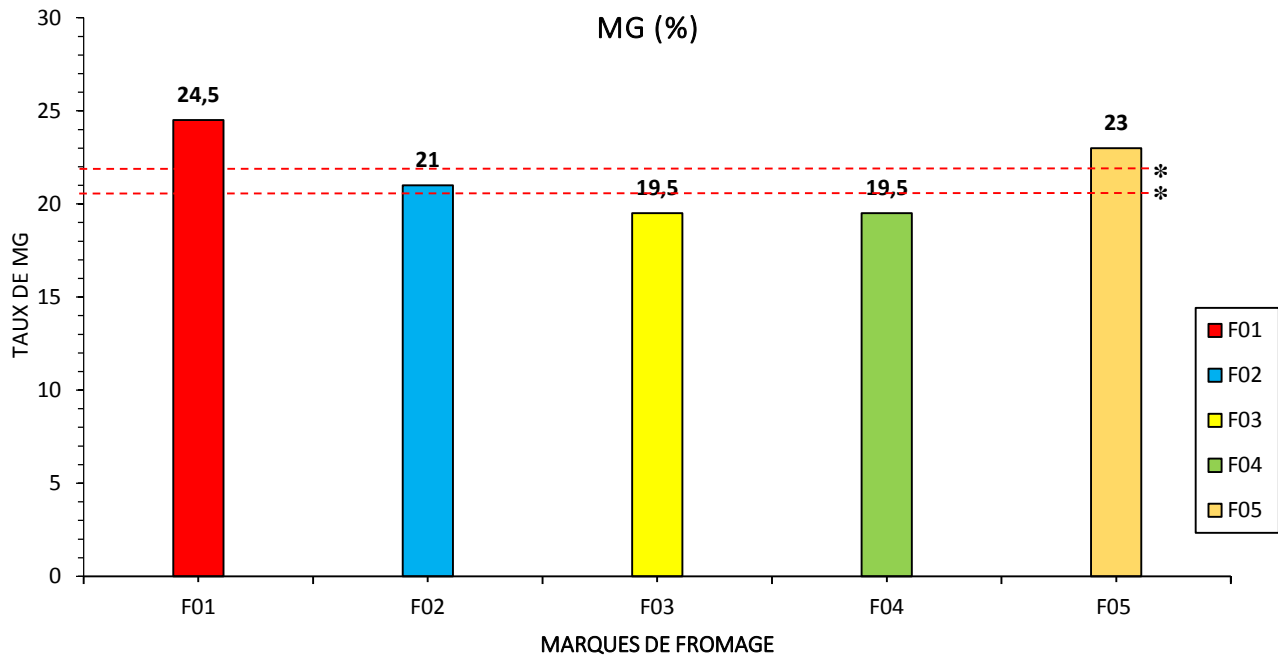


Figure 24: Teneur en matière grasse des échantillons analysés

(*: Limites optimales selon **Richonnet, 2016**)

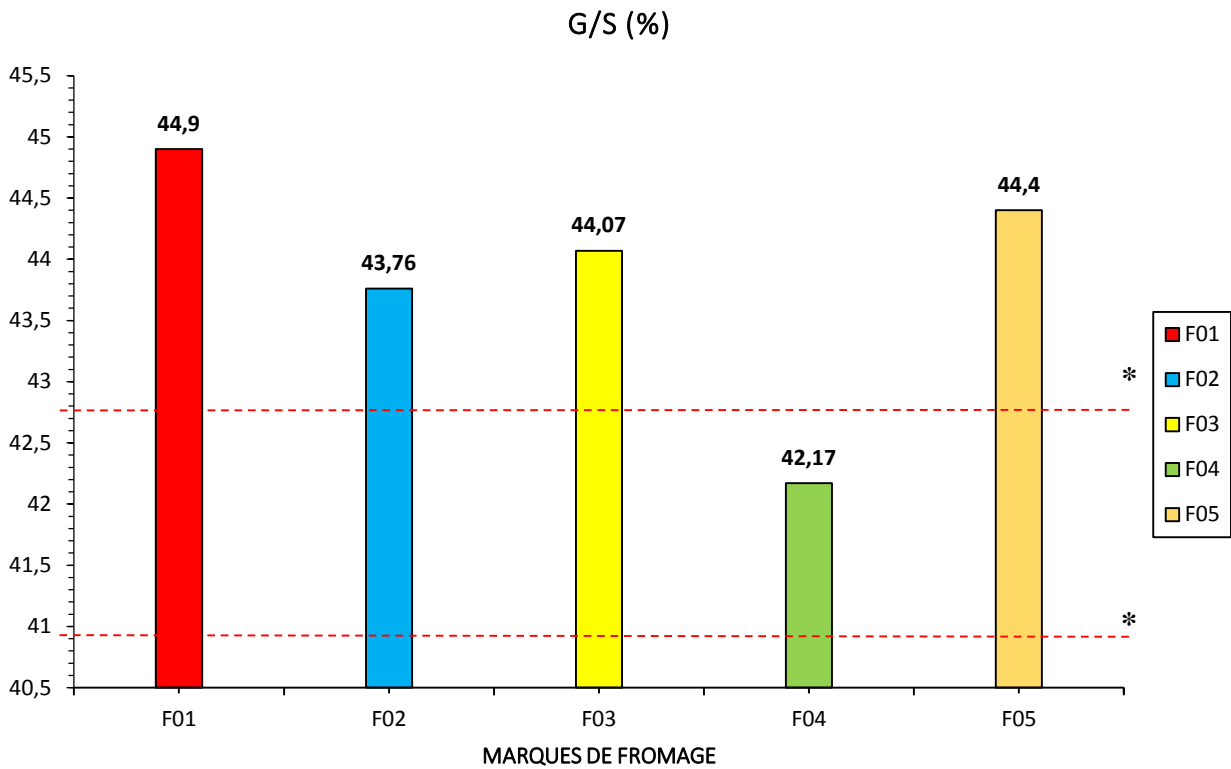


Figure 25: Rapport G/S (B) des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales selon **Roustel et Boutonnier, 2015**)

Les faibles teneurs en matière grasse d'origine laitière peuvent être compensées dans des fromages fondus qu'on trouve sur le marché par de la matière grasse d'origine végétale. Le rôle des matières grasses peut également être substitué par l'apport de produits comme les gommes et les stabilisants (**Tamime, 2011**). Ceci est confirmé par les travaux de **Ferrão *et al.*, (2016)**, qui rapportent que les ingrédients tels que des composés protéiques (lait et oeufs), des glucides (gommes, dextrans, maltodextrines, cellulose, polydextrose, inuline et amidons) et des graisses synthétiques (malonate de dialkyl dihexadécyle et polyester de saccharose) peuvent être utilisés seuls ou en combinaison pour produire les fromages à faible taux en gras.

Les amidons modifiés sont également des substituts de graisse utilisés en industrie alimentaire pour fournir des caractéristiques souhaitables aux produits finaux (**Diamantino et**

Penna, 2011). Pour être conformes à la réglementation, ces produits sont dits spécialités fromagères et non fromages fondus.

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**).

La détermination de la matière grasse et l'extrait sec total, permet d'évaluer le rapport G/S. Dans notre cas, les résultats indiquent un rapport moyen de G/S de **43,86%** avec une valeur minimale de 42.5% pour le fromage «F01» et une valeur maximale de **44.9 %** pour le fromage «F01».

Les résultats du ratio G/S que nous avons obtenus (**Figure 25**) sont faibles par rapport à ceux obtenus par **Roustel et Boutonnier (2015)** qui, dans le cadre de contrôle qualité des fromages fondus ont trouvé des ratios variant de 50 à 55%. Nos résultats sont cependant plus élevés que ceux trouvés par **Boutonnier (2000)** qui rapporte un ratio de 40%.

Le **Codex alimentaire (1978)** préconise un taux de G/S variant de 10 à 65% pour les fromages fondus pour tartine et les fromages fondus en bloc.

Le rapport (G/S) dépend essentiellement du taux de matières grasses ajoutées au mélange. En absence d'une norme algérienne, les services du CACQE, évaluent ce paramètre et l'interprètent uniquement par rapport à la déclaration du fabricant sur l'étiquetage du produit. Cette évaluation a pour seul but de vérifier la conformité du produit au taux donné par son étiquetage (**Benamara, 2017**).

1.5. Humidité

Les résultats obtenus varient de 55,1 % pour l'échantillon «F01» et 57,83 % pour l'échantillon « F04 » avec une valeur moyenne de 56,14 % pour les Cinq échantillons (**Figure: 26**).

Les taux de l'humidité que nous avons obtenus concordent avec ceux indiqués par le rapport de (**l'USDA, 2013**) et les travaux de (**Saputra, 2012**) et (**M. El-Bakry et al., 2010**) qui varient entre 40% et 60%.

Nos résultats sont cependant supérieures à ceux rapportés par (**gupta et al., 1948**), (**Timothy P el., 2012**) et (**Chavhan, 2015**) qui varient entre 37% et 50%.

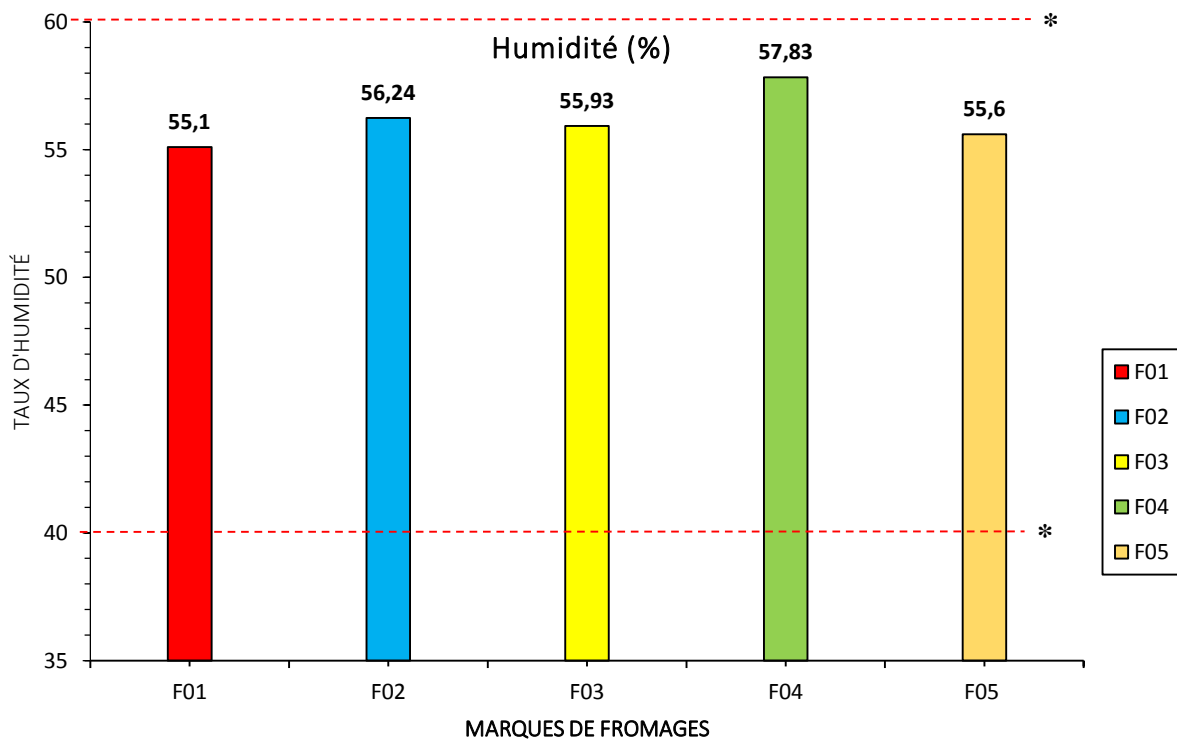


Figure 26: Valeurs de l'humidité des différents fromages étudiés

(*: Limites optimales selon **FDA, 2012**)

L'humidité des fromages étant généralement faible, puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire (Marshall, 1990), c'est à dire avec une faible teneur en microorganismes et en contaminants chimique tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140°C et sous une pression de 2,105 à 4,105 Pa (Marshall, 1990; Berger *et al.*, 1993; Gliguem *et al.*, 2009a).

1.6. Teneur en NaCl

Les résultats de dosage du NaCl des fromages étudiés, montrent que la valeur moyenne des Cinq fromages est de 7,73 % avec une valeur minimale déterminée pour le fromage « F01 » égale à 7,11% et une valeur maximale de 8,42 % pour l'échantillon « F02 » (Figure 27).

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle que les différences entre les marques de fromage étudiées est non significative.

Ces valeurs sont très élevées par rapport aux valeurs citées par (Pranaykumar, et al 2013) dans le cadre d'une étude sur l'effet de substitution de chlorure de sodium (NaCl) par le chlorure de potassium (KCl) dans les fromages fondus qui varient entre 2% à 3%.

Nos résultats sont également plus élevée que le taux de 2,5 % à 2,92 % obtenus par (Ainelén *et al.*, 2014) dans le cadre d'une étude sur l'influence de la réduction du chlorure de sodium sur les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, rhéologiques et sensorielles du fromage fondu type Mozzarella.

Cette valeur élevée en NaCl des fromages fondu étudiées est probablement due aux taux de sel des fromages utilisés comme matière première, et aussi à la quantité des sels de fonte incorporés dans les formulations de ces fromages.

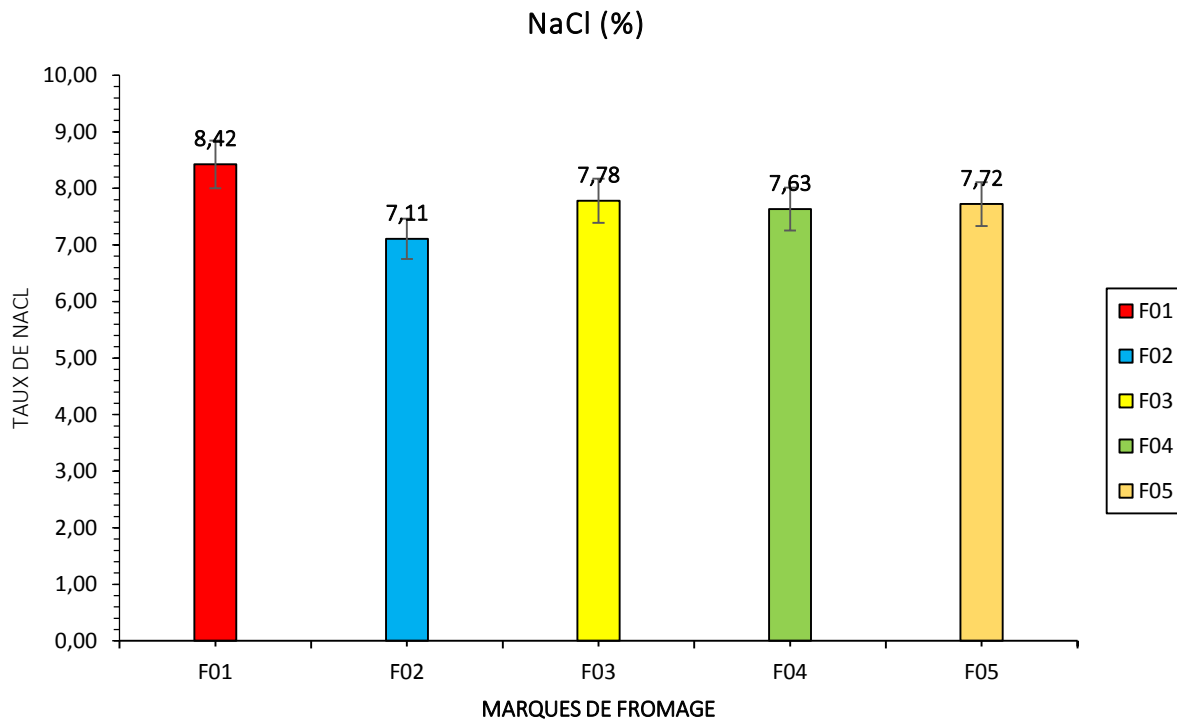


Figure 27: Taux de NaCl des différents des échantillons analysés

Le sel est très important et il a des rôles tant technologiques que gustatifs. L'étape de salage lors d'une production fromagère est une étape clé dans la fabrication des fromages. La présence de sel influence le goût et les caractéristiques rattachées à une catégorie de fromage (cheddar, feta, emmental, etc.), l'évolution et l'innocuité des produits finis. Lors d'une production fromagère, le sel intervient dans le processus d'égouttage, abaisse l'activité de l'eau (A_w), contribue à la préservation du produit, module les réactions microbiologiques et enzymatiques, influence la flaveur et les propriétés fonctionnelles du produit final (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002; Hardy, 2004).

Il n'y a quasiment pas de sel « NaCl » ajouté dans les fromages fondus. Le sel est presque uniquement apporté par les fromages utilisés comme matière première (MAAF, 2013).

Dans la fabrication des fromages fondus à tartiner, le sel contribue à l'obtention d'une texture désirée et au développement du goût et de l'arôme (E. Kombila *et al.*, 1991).

Les interactions entre les ions Na^+ et les caséines ont lieu entre les résidus phosphosérine des caséines et les ions Na^+ , via des liaisons électrostatiques. Ces interactions dépendent des protéines (type de caséine, charge) et de leur environnement (pH, force ionique, température) (**Gaucheron, 2004**).

L'addition de NaCl crée un échange d'ions (sodium-calcium) avec les para-caséines, en quelque sorte similaire à l'échange d'ions produit entre les sels de fonte (phosphates et citrates de sodium) et la matrice de caséines lors de la fabrication des fromagers fondus (**Pastorino et al., 2003b**).

Les approches de réduction de la teneur en sel des fromages incluent :

- réduire directement le niveau de sel ajouté (**Adams et al., 1995**).
- diminuer progressivement le taux de sel des aliments, comme cela a pu être fait sur du pain (**Girgis et al., 2003**).
- associer des composés exhausteurs de goût à un taux de sel plus faible. En effet, la perception salée diminue lorsqu'on diminue la teneur en sel. Dans des analogues de fromage, ceci implique de compenser avec l'ajout d'ingrédients tels que du monoglutamate de sodium (**Kilcast & Angus, 2007**), des extraits autolysés de levures (**Demott et al., 1986**), des poudres de fromages, des pâtes de fromage et/ou des acidifiants (**Guinee & Fox, 2004a**).
- Diminuer ou remplacer les sels de fonte (majoritairement des phosphates de sodium) dans les fromages fondus ou les analogues de fromage, par l'usage sélectif de phosphates dérivés du calcium et du potassium (**Henson, 1999**).
- Substituer complètement ou partiellement le NaCl par d'autres sels tels que KCl , MgCl_2 ou CaCl_2 , qui possèdent également une saveur salée (**Abou-El-Nour, 1998 ; Fitzgerald & Buckley, 1985 ; Vanderklaauw & Smith, 1995**). Bien que les substituts du NaCl contribuent à une certaine saveur salée, ils provoquent souvent des arrière-goûts désagréables (amer, métallique, astringent), ce qui a limité leur utilisation dans les produits alimentaires (**Lawless et al., 2003 ; Reddy et al., 1995**).

Malgré ces pistes de reformulation, la réduction de la teneur en sel dans les fromages reste un challenge pour les industriels. En effet, les fromages contiennent une proportion importante de sel et ce dernier a un rôle prépondérant dans l'élaboration des propriétés du fromage.

1.7. Taux de protéines

Les résultats obtenus sont de 6,84% pour l'échantillon «F01, F05» et une valeur de 8,55 % pour l'échantillon « F02, F03, F04 » avec une valeur moyenne de 7,86 % pour les Cinq fromages (Figure 28).

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

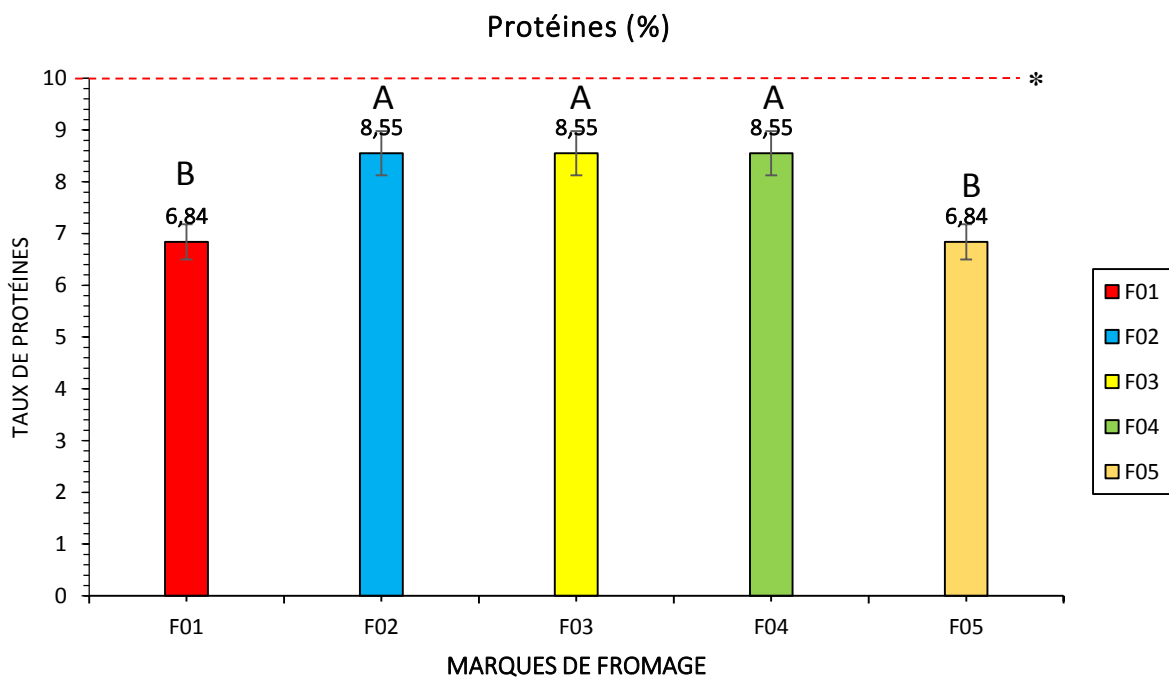


Figure 28: Taux de protéines des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales pour les fromages fondus français selon **Richonnet, 2016**)

Les taux de protéines que nous avons obtenus sont faibles par rapport aux valeurs citées par **Richonnet (2016)** qui, en se basant sur les rapports de **l'ANSES (2013)** et de **l'USDA (2014)**, rapporte un taux de 10% pour des fromages fondus fabriqués en France. Ils sont

également plus faibles que le taux de 17% rapporté par le même auteur pour des fromages fondus fabriqués aux USA.

Nos résultats sont également plus faibles que le taux de 18% rapporté par **Eck et Gillis (1997)** et ceux obtenus par **Mounsey et O'riordan (2008)** qui, dans le cadre d'une étude des fromages contenant des amidons de riz natifs ou modifiés, ont constaté des taux de 17%. Ces mêmes auteurs ont trouvé un taux de protéines de 20,27% dans les fromages sans amidon ajouté. **Fox et al., (2017a)** rapportent eux un taux de 18,3% pour des fromages fondus en bloc.

Selon leur mode de fabrication, les fromages contiennent 10 à 30% de protéines qui proviennent essentiellement du fromage utilisé comme matière première. Le taux de protéines du fromage fondu élaboré à partir de pâte pressée est de 14 à 20 % alors que le taux de protéines du fromage fondu élaboré à partir d'une pâte lactique est de 9 à 11% (**Ramet, 1985**).

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**). D'autre part, les protéines, les matières grasses et l'eau du fromage fondu peuvent interagir avec les arômes et les autres molécules sapides et ainsi modifier la perception de sa qualité sensorielle (**Lauverjat et al., 2009; Boisard, 2012**).

1.8. Taux de Lactose

Les résultats de la teneur en lactose des fromages fondus étudiés, montrent que la valeur moyenne des Cinq fromages est de 10,05 % avec une valeur minimale déterminée pour le fromage «F03» égale à 7,05% et une valeur maximale de 13,6 % pour l'échantillon « F02». (**Figure: 29**)

La valeur moyenne de lactose dans les Cinq fromages analysées est supérieure à la valeur obtenue par **Shamsia et al., (2017)** qui est de 5,39%.

L'analyse de la variance $p \leq 0,05$ révèle l'existence d'une différence hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes

Richonnet, (2016) qui, en se basant sur les rapports de **l'ANSES, (2013)** et de **l'USDA (2014)**, rapporte un taux de 6,5% pour des fromages fondus fabriqués en France, et un taux de 7% rapporté par le même auteur pour des fromages fondus fabriqués aux USA.

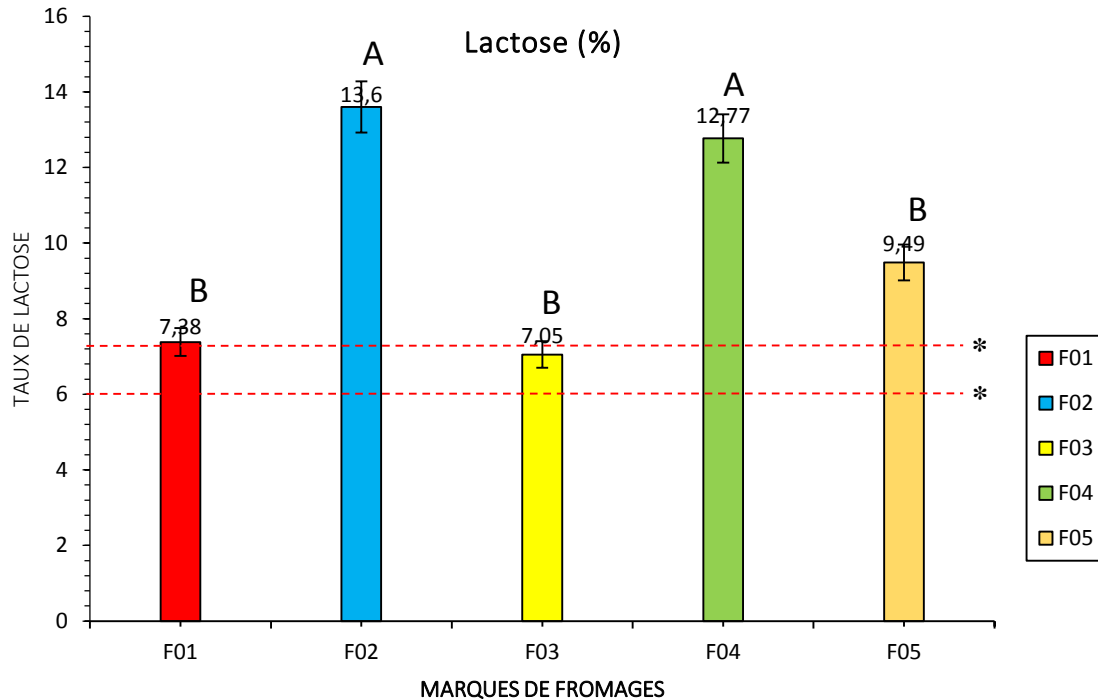


Figure 29: Taux de lactose des différents fromages étudiés

(*: Limites optimales selon **USDA, 2014** et **ANSES, 2013**)

Lors de la fabrication du fromage, une grande partie du lactose est éliminée en même temps que le petit lait. Le reste est presque entièrement décomposé par les bactéries lactiques au cours de la maturation. Un fromage affiné pendant plus de six semaines ne contient pratiquement plus de lactose. Le fromage frais et le fromage fondu, à l'inverse, affichent encore une teneur significative en lactose (**Boutonnier, 2000**).

Dans les fromages fondus, les fromages utilisés comme matière première sont généralement affinés et n'apportent pas de lactose mais au cours de la fabrication, du lait en poudre est ajouté apportant du lactose que l'on retrouve dans le produit fini (**Richonnet, 2016**).

Dans le processus de fabrication des fromages fondus, l'apport de lactose par ajout de poudre de lait écrémé et de lactosérum, notamment, permet de baisser la quantité totale de protéines pour améliorer la tartinabilité (Boutonnier, 2000).

1.9. pH

D'après les résultats obtenus, on constate que la valeur moyenne du pH des Cinq marques de fromage est de 5,46 avec des valeurs variant de 5,50 « fromage F01 » à 5,74 « fromage F04» (Figure 30).

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle l'existence d'une différence hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

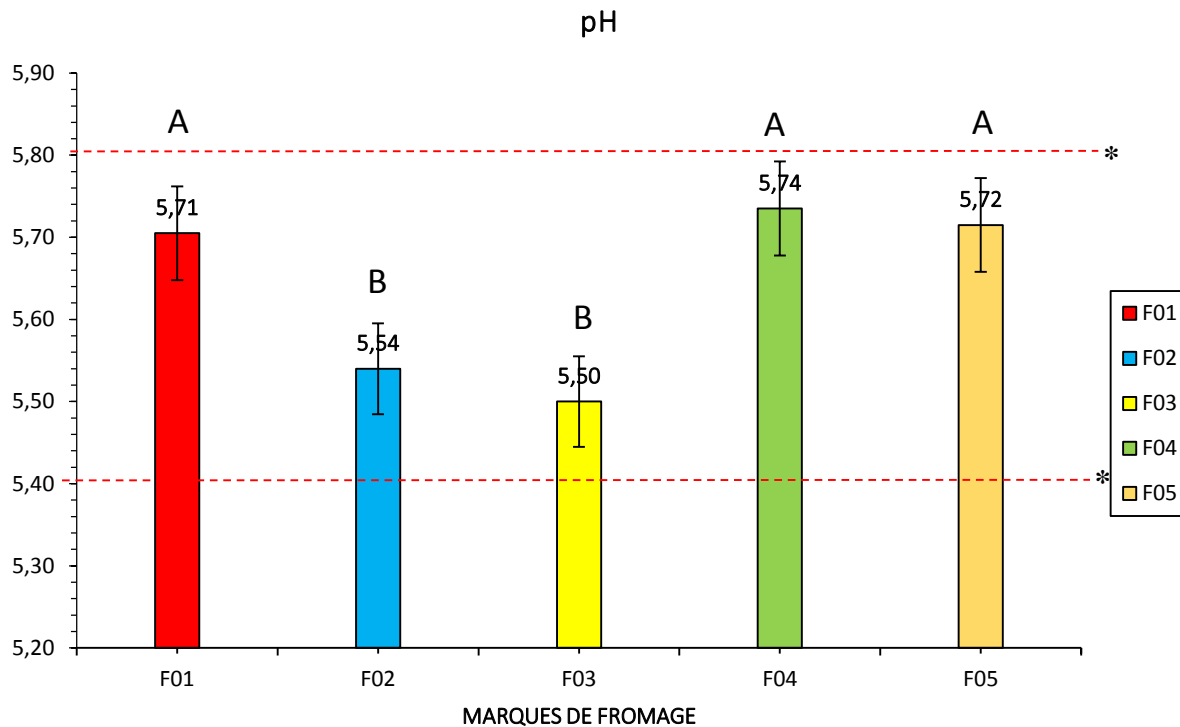


Figure 30 : Valeurs de pH des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales selon Roustel, 2014)

En comparaison avec les valeurs rapportées par **Eck et Gillis, (1997)**, et **Roustel et Boutonnier, (2015)** qui sont de l'ordre de 5,3 à 5,8 et de 5,50 à 5,55 respectivement, on constate que les valeurs obtenues dans notre travail leur sont comparables.

Cependant, elles sont inférieures aux valeurs indiquées par (**R. Mozuraityte et al., 2019**) et (**M. El-Bakry et al., 2010**) qui varient entre 5,97 à 6,18.

Ces valeurs (à l'exception des marques F02 et F03) sont également supérieures à celles indiquées par l'agence canadienne de l'inspection des aliments (**A.C.I.A, 2014**), qui exige que le pH des fromages fondus ne doit pas dépasser 5,6.

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**). Il intervient aussi de manière significative sur la qualité de la microstructure et les interactions protéiques dans les fromages fondus.

Globalement, les meilleurs résultats sont obtenus pour une gamme de pH comprise entre 5,4 et 5,8, pour les fromages de type tartinable et bloc (**Roustel, 2014**).

2.Détection de produits amylacés dans les fromages

En ce qui concerne la mise en évidence des produits amylacés dans les fromages étudiés, les résultats obtenus montrent leur absence dans les cinq marques étudiées.

L'utilisation des amidons modifiés comme substituts de graisse, comme adjuvants de texture, stabilisants, émulsifiants et épaississants est réglementée encore faut-il le mentionner sur l'étiquette du produit (**Abbas et al., 2010 ; Colak, 2014**).

L'utilisation des amidons dans les fromages analogues permet d'avoir des produits bon marché ayant des propriétés fonctionnelles proches des fromages fondus. Cela nécessite des essais préliminaires utilisant des paramètres tels que la vitesse d'homogénéisation du mélange, le barème du traitement thermique, la mesure des propriétés rhéologiques) et fonctionnelles (fusion, brunissement, rétention d'huile) du produit final ainsi que des tests sensoriels (**Snrech Tortelier, 2006**).

L'association entre les protéines du lait et l'amidon peut conduire à de nombreuses interactions qui affectent les caractéristiques physico-chimiques des produits finis. La

compréhension de ces phénomènes permet d'obtenir des produits de qualité sensorielle acceptable, notamment en ce qui concerne la consistance (Considini *et al.*, 2011).

3. Minéraux

3.1. Calcium

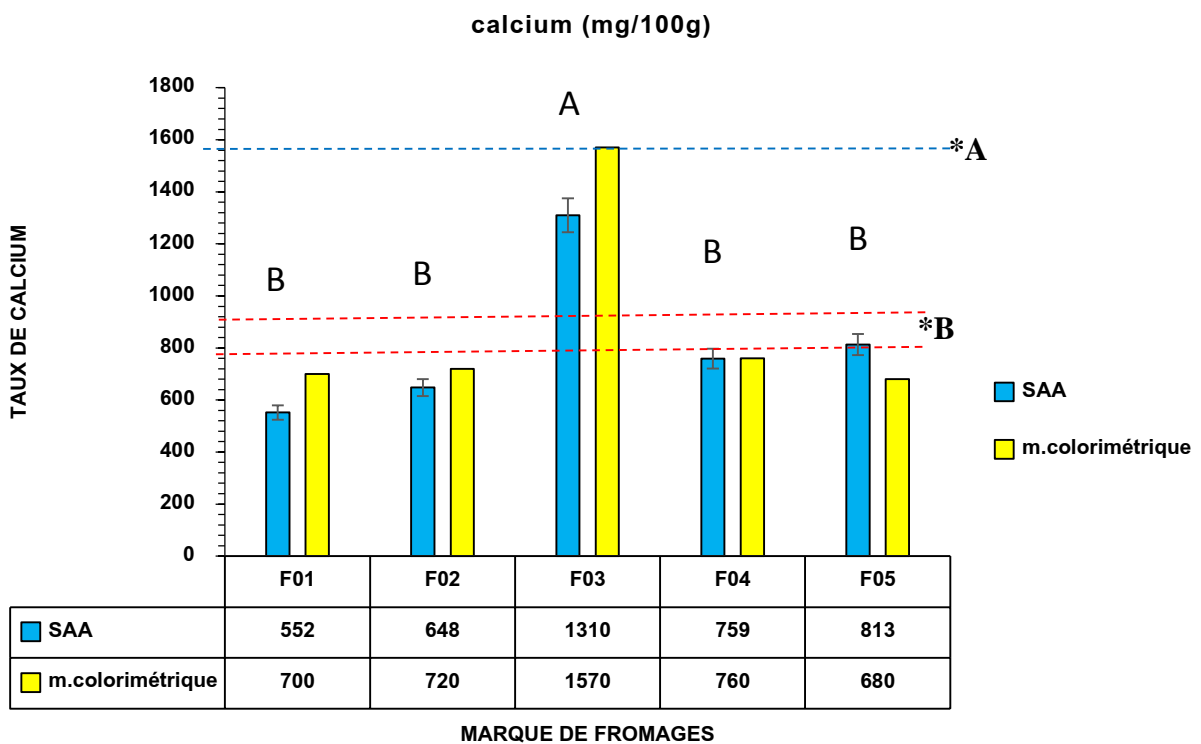


Figure 31 : Taux de calcium des différents échantillons analysés

(*A : Valeur nutritionnelle conseillée pour les adolescents/jour en Calcium, Guéguen, 2014)

(*B: Limites optimales selon USDA, 2014 et ANSES, 2013)

Les résultats de dosage de calcium par SAA des fromages étudiés, montrent que la valeur moyenne des Cinq fromages est de 816mg/100g avec une valeur minimale déterminée pour le

fromage «F01» égale à 552mg/100g et une valeur maximale de 1310 mg/100g pour l'échantillon « F03» (**Figure 31**).

Les valeurs obtenues par la méthode colorimétrique proposée par le professeur (schwarz, 1965) sont très proches aux valeurs données par SAA, cela confirme la validité de cette méthode dans le dosage de calcium dans les fromages fondus et analogues.

L'analyse de la variance $p \leq 0.05$ révèle l'existence d'une différence hautement significative entre les marques de fromage étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

Tableau XIII : Les teneurs en calcium dans les fromages fondus cités par différents auteurs.

Valeur	Auteur
4,04 g/Kg	MUVA, Kempten, (Allemagne)
2,73 g/Kg	
576mg/100g	(Richonnet, 2016)
562mg/100g	
351,55mg/100g	(Khider <i>et al.</i> ,2017)
1624-1630-1887-1948-2130 mg	(belfort, 1995)
395,4mg	(Ohamy <i>et al.</i> ,2018)
163mg/28g	U.S. Department of Agriculture, Agricultural 2002
159mg/28g	

En comparaison avec les valeurs rapportées par (**Ohamy et al.,2018**) et (**Khider et al.,2017**) qui sont de l'ordre de 395,4mg et de 351,55mg respectivement, on constate que les valeurs obtenues dans notre travail sont supérieures.

Nos résultats obtenues aussi sont supérieures à les valeurs cites par le laboratoire de contrôle de la qualité MUVA, Kempten, (Allemagne) qui sont de l'ordre de 2,73 g/Kg à 4,04 g/Kg pour les fromages fondus commercialises en Allemagne.

Mais inférieur aux valeurs indiquées par (**belfort, 1995**) dans le cadre d'une étude sur Influence des facteurs de composition sur les propriétés texturales d'un fromage fondu de "type queijao" commercialisées en brésil qui sont de l'ordre de 1624mg à 2130mg.

Richonnet, (2016) qui, en se basant sur les rapports de **l'ANSES, (2013)** et de **l'USDA, (2014)**, rapporte un taux de 576mg/g pour des fromages fondus fabriqués en France, et un taux de 562mg/g rapporté par le même auteur pour des fromages fondus fabriqués aux USA.

La consommation de fromage présente un grand intérêt nutritionnel, en raison notamment de sa composition en micronutriments et notamment en minéraux (**Lucas et al., 2008**).

La teneur en minéraux du lait dépend de nombreux facteurs, tels que : les caractéristiques génétiques, le stade de lactation, les conditions environnementales, le type de pâturage, la contamination des sols, etc. (**An-guita 1996 ; Gambelli et al., 1999 ; Park 2000 ; Cichoski et al., 2002 ; Patiño et al., 2005**

Si des apports de calcium ponctuellement très élevés (jusqu'à 2 g/j) ne semblent pas exercer d'effet défavorable chez le sujet sain (**Gueguen L, 2000**), ils peuvent, s'ils sont prolongés, entraîner chez certains sujets sensibles un sur risque de formation de calculs lithiasiques dans les voies urinaires, avec à terme un risque de néphrocalcinose.

De plus, un excès d'apport au-delà de 2500 mg/j influence négativement l'absorption des autres minéraux tels que le zinc, le magnésium ou le phosphore (**Straub, 2007**).

Il semble donc prudent de respecter la limite de sécurité fixée à 2 g de calcium par jour, et de ne pas conseiller un apport allant jusqu'à 2.5 g par jour comme le font les recommandations américaines (**Gueguen L, 2000**).

3.2. Sodium

La teneur en sodium des échantillons analysés varie entre 862 mg pour le fromage «F02» et 1153 mg pour le fromage «F05» avec une moyenne de 977mg (**Figure 32**).

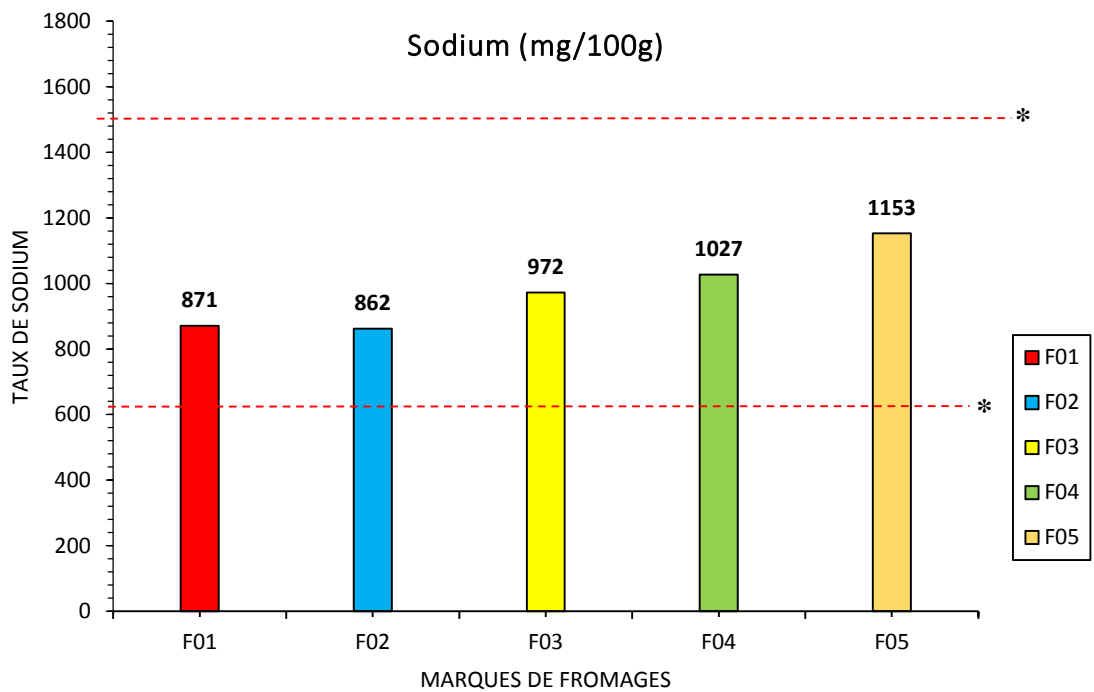


Figure 32: Taux de sodium des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales selon **USDA, 2014** et **ANSES, 2013**)

Tableau XIV : Les teneurs en sodium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs.

Valeur	Auteur
8,17g/kg	MUVA, Kempten, (Allemagne)
6,06g/kg	
737mg /100g	(Richonnet, 2016)
1600mg/100g	
2294mg/100g	(Saputra 2012)
886-777-780-760-2200 mg /g	(belfort, 1995)
450 – 440- 430-420-400 mg/100g	(Journal of Renal Nutrition 1994)
373mg /28g	U.S. Department of Agriculture, Agricultural 2002
1.01 % et 0.97% 43.9 (mmol 100 g ⁻¹)	(Mozuraityte, 2019)

Les taux de sodium que nous avons obtenus sont légèrement supérieur par rapport aux valeurs citées par **Richonnet, (2016)** qui, en se basant sur les rapports de **l'ANSES (2013)** et de **l'USDA(2014)**, rapporte un taux de 737mg/100g pour des fromages fondus fabriqués en France.

Le laboratoire de contrôle de la qualité des aliments **MUVA, Kempten, (Allemagne)** avec une collaboration avec ISO rapporte des valeurs de 816mg/g et 606mg/g pour les fromages fondus commercialisés en Allemagne.

Nos résultats obtenus sont inférieurs aux valeurs citées par **Belfort, (1995)**.

Le sodium se trouve à l'état naturel dans divers aliments, comme le lait, la viande et les crustacés. Il est souvent présent en grandes quantités dans les aliments transformés, comme le pain, le fromage, les viandes fumées et séchées, les produits de grignotage, ainsi que dans certains condiments (sauce de soja ou de poisson, bouillons ou bouillon cubes, par exemple) (**OMS, 2012**).

La quantité de sodium présente dans le fromage fondu est habituellement plus élevée que dans le fromage naturel en raison de l'ajout de NaCl et de sels de fonte (**Johnson et al., 2009**).

Les principales sources de sodium dans le fromage fondu sont les sels de fonte (44-48 %), le fromage (28-37 %) utilisé pour la production de fromage fondu et le sel ajouté (15-24 %) (**Johnson et al., 2009**).

Le sodium est le cation majeur dans les fluides extracellulaires et un régulateur important de la pression osmotique, de l'équilibre acido-basique et du potentiel des membranes cellulaires. Il est également important pour le transport actif des substances à travers la membrane cellulaire. La contribution du lait de vache à l'apport quotidien en sodium dans l'alimentation humaine est faible, mais le fromage et certains produits à base de crème, qui contiennent des quantités ajoutées de sel, peuvent fournir des sources importantes de sodium (**Simun et al., 2012**).

Le sodium ingéré en surplus est difficilement excrété par les reins, ce qui engendre une élévation de la pression artérielle (**He et MacGregor, 2007**).

L'hypertension causée par la surconsommation du sodium a été démontrée chez des chimpanzés (**Denton et al. 1995; Elliott et al., 2007**).

La surconsommation du sodium est considérée mondialement comme étant liée à l'incidence de l'hypertension artérielle et des problèmes cardiovasculaires (**Strazzullo et al., 2009**).

L'OMS recommande de réduire l'apport chez l'adulte à moins de 2g/jour de sodium (5g/jour de sel (**OMS, 2019**))

La réduction de la consommation du sodium de 3500 mg à 1660 mg par jour (une réduction de 1840 mg par jour) aurait plusieurs bénéfices santé comme la diminution de la pression artérielle (**He & MacGregor, 2008**), de l'ostéoporose (**Devine et al., 1995**) et du cancer de l'estomac (**Joossens et al., 1996**).

Il est estimé notamment qu'il y aurait une diminution de 30 % au niveau de la prévalence de l'hypertension (plus d'un million de personnes qui ne seraient plus touchées par l'hypertension) (**Joffres et al., 2007**), une diminution de 8,6 % des incidents cardiovasculaires (**Penz et al., 2008**), une diminution de 6,5 % des visites chez les professionnels de santé, ainsi qu'une économie de 18 % à 23 % des dépenses (430 à 540 millions de dollars) pour les frais incluant les médicaments, les visites aux professionnels de santé et les tests effectués en laboratoire (**Joffres et al., 2007**).

Des cibles de réduction volontaires du sodium dans de nombreux produits alimentaires transformés ont été suggérées par **Santé Canada (2012)**. Les aliments transformés apporteraient plus de 75 % du sodium consommé (**Gouvernement of Canada, 2013**). C'est pendant la fabrication et la préparation des aliments que 88 % du contenu en sodium est ajouté. Seulement 12 % du sodium correspond à la quantité naturellement présente dans les aliments (**Mattes & Donnelly, 1991**). Les produits de boulangerie, les viandes transformées, les légumes transformés, les soupes, les plats de pâtes et les fromages sont les six sources principales qui apportent quotidiennement du sodium avec des proportions respectives de 14 %, 9 %, 7 %, 7 %, 6 % et 5 % (**Fischer et al., 2009**).

Les options disponibles pour réduire la quantité de sodium dans le fromage fondu sont la réduction du sodium dans le fromage à pâte dure (matière première) ou dans la teneur en sodium du sel de fonte (**Mozuraitye et al., 2019**)

De nombreuses variétés de fromages ont été ciblées par Santé Canada en ce qui concerne la réduction du sodium, telles que le fromage Cottage, le fromage à la crème, les fromages fondus, le Brie, le Camembert, le Cheddar, le Suisse, le Monterey Jack, le Brick, le Colby, le Gouda, le Mozzarella, le Parmesan et le Feta (**Health Canada, 2012**).

La prise de conscience de la problématique de consommation excessive du sodium, ces dernières années, a mené à la mise en place de stratégies de réduction du sodium dans les fromages afin de continuer d'offrir des produits sains, nutritifs et surtout appréciés par les consommateurs. L'importance du sel dans les fromages rend la tâche ardue pour les industries fromagères qui veulent réduire la teneur en sodium de leurs produits, puisque les répercussions sur la qualité des produits sont peu connues. La réduction du sodium dans divers fromages a été abordée par différentes études (**Cruz et al., 2011; El-Bakry, 2012; IDF, 2014; Johnson et al., 2009**).

3.3. Potassium

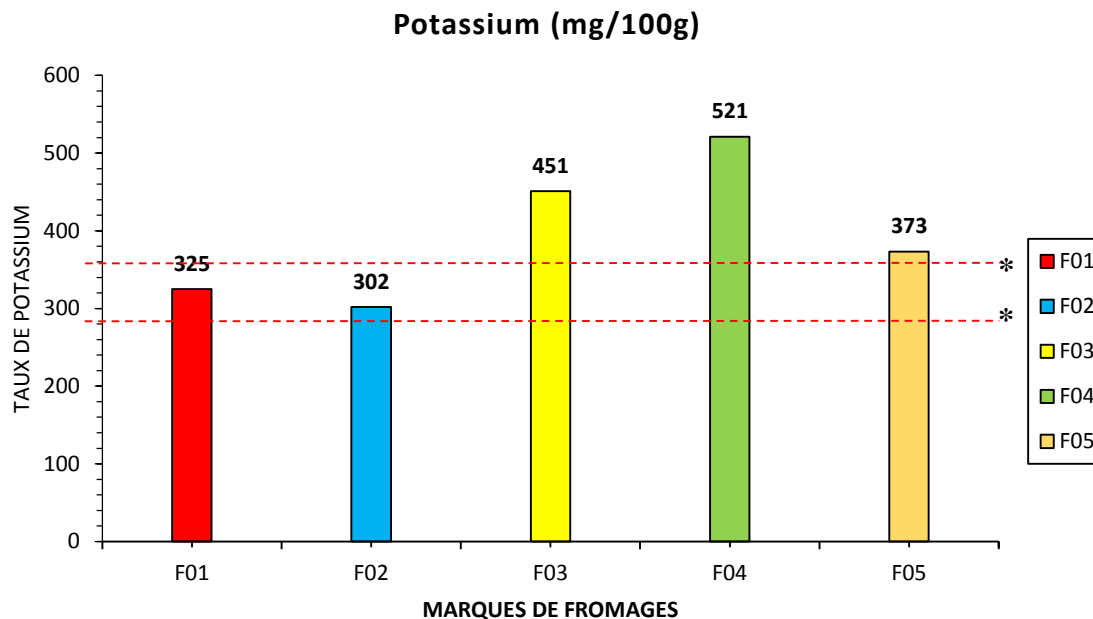


Figure 33: Taux de potassium des différents échantillons analysés

(*: Limites optimales selon **USDA, 2002**)

Les valeurs de Potassium des échantillons analysés varient de 302 mg pour le fromage « F02 » à 521 mg pour le fromage « F04 », avec une valeur moyenne de 394,4 mg (**Figure 33**).

La moyenne obtenue dans notre travail et légèrement supérieure aux valeurs citées par (**USDA, 2002**) qui sont de l'ordre de 246mg a 282mg pour les fromage fondus à tartiner commercialisés aux États-Unis.

Nos résultats sont également supérieures à la valeur rapportée par (**Khider et al.,2017**) et (**Ohamy et al.,2018**) qui sont de l'ordre de 46,39mg et 83,16mg.

Tableau XV : Les teneurs en potassium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs.

Valeur	Auteur
3,52g/Kg	MUVA, Kempten, (Allemagne)
3,38g/Kg	
282mg/100g	U.S. Department of Agriculture, Agricultural 2002
246mg/100g	
0,42ppm	(Omar et al., 2012)
83,16mg/100g	(Khider et al.,2017)
46,39mg/Kg	(Ohamy et al.,2018)
502-723-503-555-565 mg	(belfort, 1995)

Le potassium ne se complexe pas facilement, raison pour laquelle son taux d'absorption est relativement élevé (plus de 90%). La teneur totale du corps humain en potassium dépend de sa masse corporelle métaboliquement active. Les femmes disposent de nettement moins de potassium que les hommes. Les deux tiers de la quantité totale de potassium se trouvent dans la musculature, et de petites fractions dans le foie et les érythrocytes. Les reins tiennent un rôle de premier ordre dans la régulation du bilan potassique (**Milk swiss, 2011**).

L'OMS recommande d'augmenter l'apport alimentaire en potassium pour faire baisser la tension artérielle et diminuer le risque de maladie cardio-vasculaire, d'accident vasculaire cérébral et de cardiopathie coronarienne chez l'adulte. L'OMS suggère que l'apport en potassium soit au moins de 90 mmol/jour (3510 mg/jour) chez l'adulte (OMS, 2013).

3.4. Magnésium

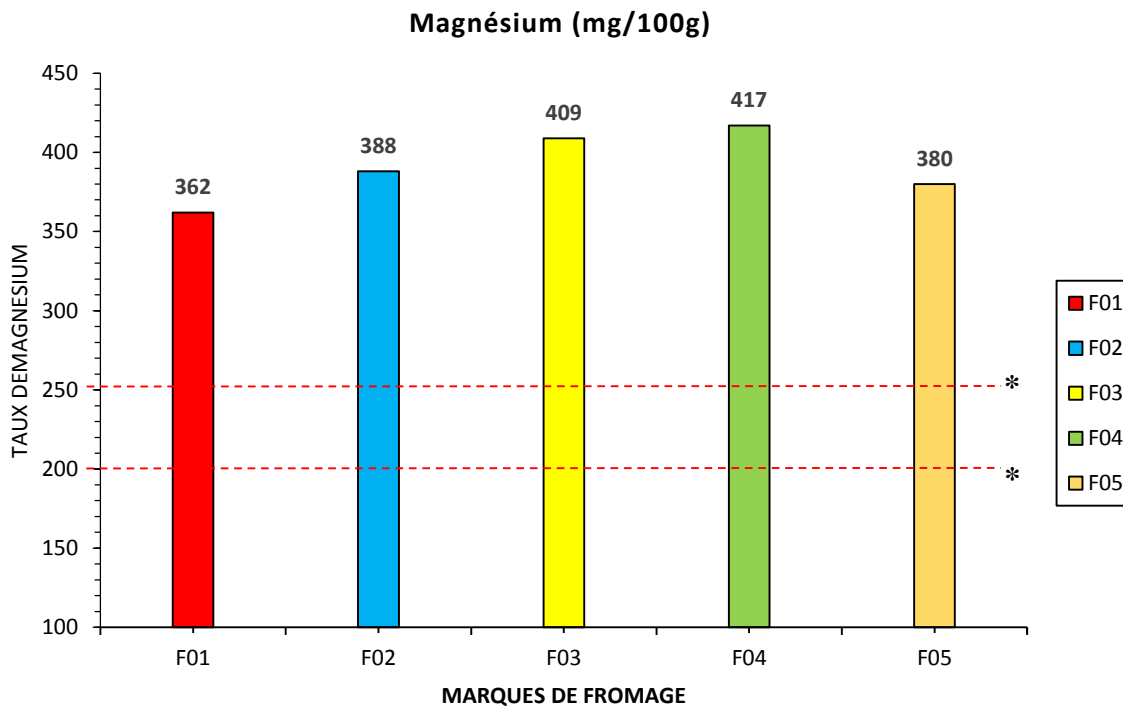


Figure 34: Taux de Magnésium des différents échantillons analysés

(*: Taux de magnésium des fromages fondu analysée par MUVA, Kempton)

Les valeurs de magnésium des échantillons analysés varient de 362 mg pour le fromage « F01 » à 417 mg pour le fromage « F04 », avec une valeur moyenne de 391,2 mg (Figure 34).

Les moyennes obtenues dans notre travail sont supérieures aux valeurs citées dans la littérature.

Tableau XVI : les teneurs en Magnésium dans les fromages fondus cités par les différents auteurs.

Valeur	Auteur
225 mg/g	MUVA, Kempten, (Allemagne)
171mg/g	
12,24mg/100g	(Khider <i>et al.</i> ,2017)
17,27mg/100g	(Ohamy <i>et al.</i> ,2018)
0,06 ppm	(Omar <i>et al.</i> , 2012)

Le magnésium, second cation intracellulaire, constitue un élément d'importance majeure en biologie humaine, dont dépendent plus de 300 systèmes enzymatiques. Cet élément joue un rôle clé dans l'équilibre ionique des membranes et le fonctionnement cellulaire. Il a un rôle dans la lutte contre le stress, au niveau neuromusculaire, dans le métabolisme osseux et le système cardiovasculaire. Dans les conditions physiologiques, 30 à 50 % du magnésium alimentaire sont absorbés. Son absorption est saturable et liée à celle du calcium (**Programme Nutrition Santé en Bretagne (PNNS, 2011)**).

Le rein est le principal organe impliqué dans l'homéostasie du Magnésium. L'excrétion magnésique urinaire s'accroît en cas de surcharge magnésique et se réduit en cas de déficit magnésique (**PNNS, 2011**).

3.5. Fer

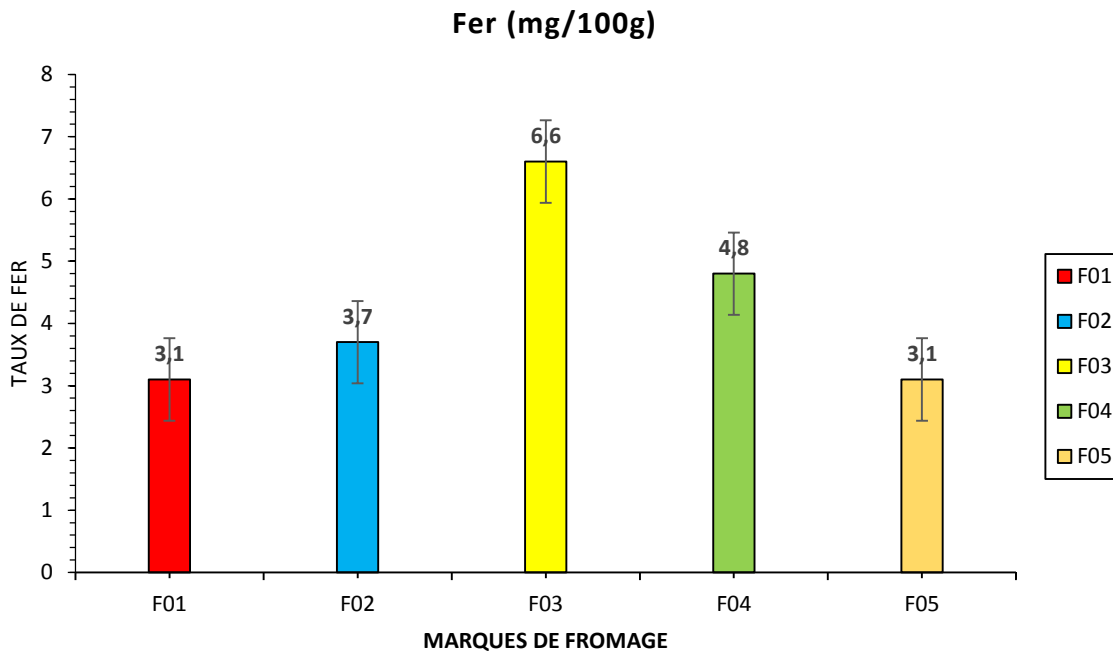


Figure 35: Taux de fer des différents échantillons analysés

Les valeurs de Fer des échantillons analysés varient de 3,1mg pour les fromages « F01 » et « F05 » à 6,6 mg pour le fromage F04, avec une valeur moyenne de 4,26mg (**Figure 35**).

La teneur élevée en fer constaté dans le fromage « F03 » serait due au pyrophosphate de fer qui est ajouté comme un supplément nutritionnel en fer dans la formulation de ce fromage.

Les taux de fer que nous avons obtenus sont supérieurs rapport aux valeurs citées par (**Khider et al., 2017**) et aux valeurs citées par (**USDA, 2002**) qui rapportent un taux qui varie entre 0,35mg/100g et 0,71mg/100g pour les fromages fondus fabriqués aux USA.

La teneur en Fer dans le fromage (F03) est proche de la valeur obtenue par **Ohamy et al., (2018)** qui est de 6,938g/100g (**Tableau XVII**).

Le fer en tant qu'oligo-élément essentiel participe en tant que catalyseur à plusieurs réactions métaboliques. En tant que composant de l'hémoglobine, de la myoglobine, du

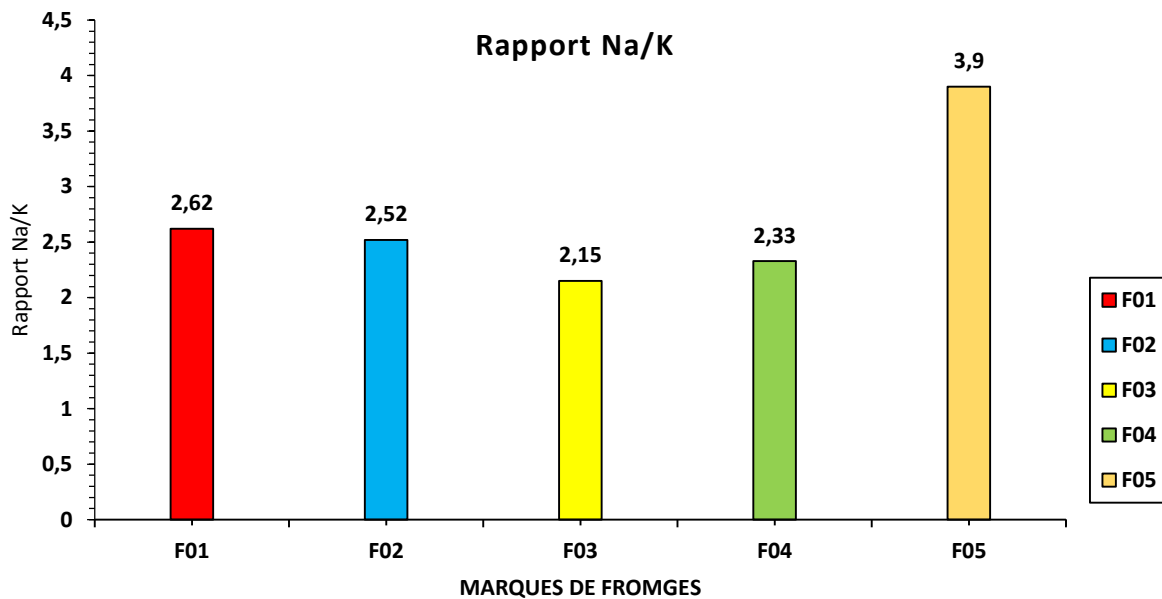
cytochrome et d'autres protéines, le fer joue un rôle important dans le transport, le stockage et l'utilisation de l'oxygène. Il est également un cofacteur de nombreuses enzymes (**Bates et Prentice, 1996**).

La carence en fer dans le corps humain est l'un des problèmes de santé les plus courants chez les nourrissons et les enfants en raison de leur croissance rapide et de leur faible consommation alimentaire. Ce problème peut être évité par l'ajout de fer aux préparations lactées pour nourrissons puisque l'ajout d'ascorbate dans les préparations pour nourrissons améliore l'absorption du fer (**Bermejo et coll., 2002**)

Tableau XVII : les teneurs en fer dans les fromages fondus cités par les différents auteurs.

Valeur	Auteur
0,18ppm	(Omar <i>et al.</i> , 2012)
0,177mg/100g	(Khider <i>et al.</i> ,2017)
6,938g/100g	(Ohamy <i>et al.</i> ,2018)
0,71mg/100g	U.S. Department of Agriculture, Agricultural 2002
0,35mg/100g	

3.6. Rapport Na/K



Les résultats que nous avons obtenus varient entre 2.15 pour le fromage «F03» et 3.9 pour le fromage «F05», avec une valeur moyenne de 2.70. (**Figure 36**)

Il est utile d'évaluer le rapport Na/K des aliments. Bien qu'aucune directive ne recommande le rapport optimal Na/K pour les aliments, il est raisonnable de suggérer que le rapport idéal pour les aliments devrait être d'environ 1. On peut donc s'attendre à ce que les aliments riches en potassium (fruits, légumes et produits laitiers) présentent un faible ratio Na/K, tandis que les aliments transformés contenant du sel ajouté et contenant moins de potassium aurait un rapport Na/K plus élevé. Ainsi, il est possible d'atteindre un Na/K alimentaire total ≤ 1 en augmentant l'apport de ces aliments riches en potassium tout en diminuant les aliments riches en sodium (**Siobhan, 2017**).

4. Analyse des AG trans en Infra-Rouge

Nos résultats obtenus d'analyses sur la matière grasse des fromages étudiés sont illustrés dans les figures suivantes :

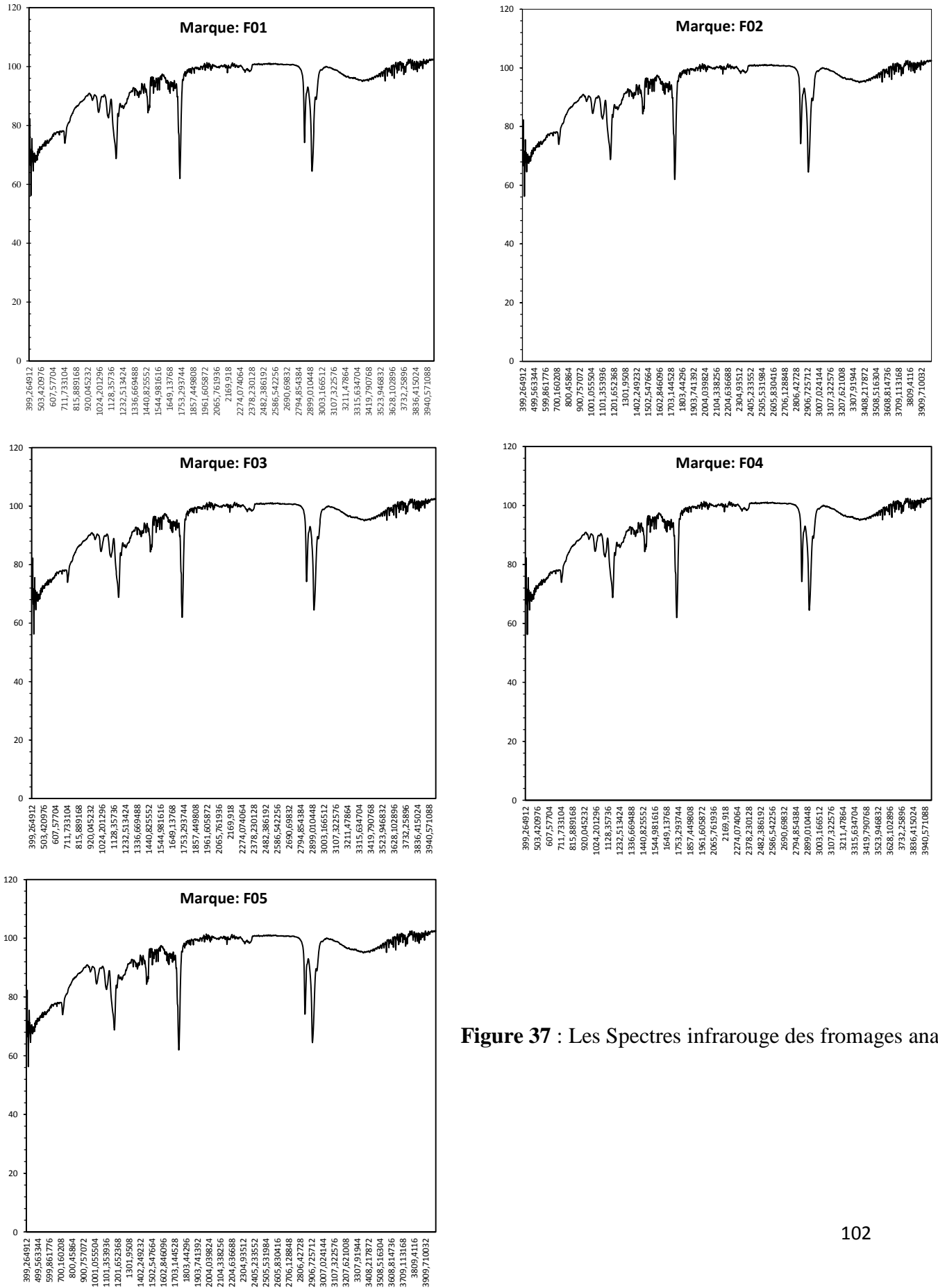


Figure 37 : Les Spectres infrarouge des fromages analysés

La fenêtre spectrale de l'IR se décompose en trois parties : le proche, le moyen et le lointain IR (**Annexe IX**). Nous nous sommes intéressés, dans notre étude, plus particulièrement à la région MIR ; celle-ci s'étend de (4000 cm^{-1} à 500 cm^{-1}). Ce domaine correspond aux transitions moléculaires de type vibration et rotation, lesquelles conduiront à des absorptions (**Keirsse, 2004**).

Le spectre IR est composé de bandes d'absorption ; celles-ci sont utilisées pour déterminer la structure d'une molécule purifiée ou d'un mélange à identifier. Les bandes d'absorption dans le MIR résultent des modes de vibration, attribués à des groupements fonctionnels fondamentaux. L'interprétation des spectres est empirique et consiste le plus souvent, en la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la bibliographie. Elle est basée principalement sur l'analyse des spectres IR de molécules isolées (**Keirsse, 2004**).

Le spectre IR d'une Matière grasse fournit des informations importantes sur la structure et les groupements fonctionnels des lipides et aussi sur des impuretés y associées. Ces informations sont représentées comme des pics ou des bandes (**Shahidi et Wanasundara, 2002**).

Les matières grasses principalement constituées de triglycérides peuvent être d'origine animale ou végétale. Le profil spectral est globalement le même pour toutes les matières grasses. Les spectres présentent tous une bande caractéristique des esters d'acides gras vers 1745 cm^{-1} . Toutefois, il existe des différences permettant de les distinguer: vers 1150 cm^{-1} (+) et vers 3300 cm^{-1} (où le beurre, contenant de l'eau, présente une bande supplémentaire). La bande d'absorption située à 1150 cm^{-1} est attribuée à l'acide linoléique (**ouru Y et al., 1996**) dont la teneur varie selon que la matière grasse est animale ou végétale et selon l'origine (tournesol, maïs, lait, saindoux ...).

Les liaisons *trans* éthyléniques « isolées » (méthylène interrompues ou non) absorbent dans l'infrarouge entre 976 et 956 cm^{-1} avec un maximum d'absorption à 966 cm^{-1} ($10,3\text{ }\mu\text{m}$) Cette absorption correspond à la déformation hors du plan de la liaison C-H (**Firestone et Sheppard, 1992, Mossoba et al., 2003**). La spectrométrie en IR a donc été utilisée très tôt pour le dosage des taux de liaisons *trans* isolées dans les huiles hydrogénées.

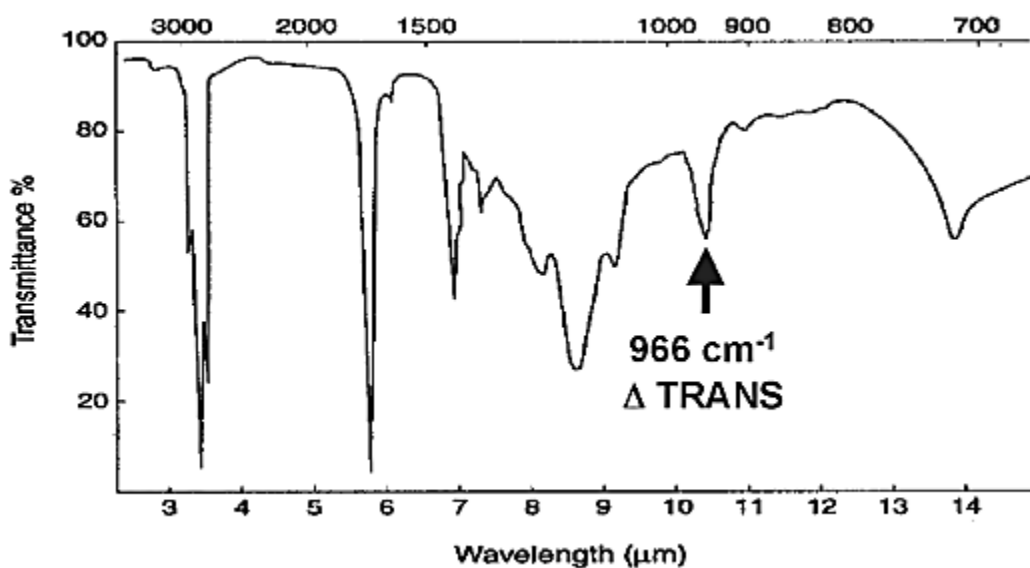


Figure 38: Spectres Infra-Rouge d'une huile hydrogénée (Juanéda, non publié)

La détermination du taux de liaisons trans-éthyléniques est rapide, facile à mettre en œuvre et adaptée aux analyses de routine. Cependant, cette technique ne donne d'indication que sur la teneur globale en doubles liaisons de type trans dans un produit donné ; elle ne fournit aucune indication sur les isomères trans présents : ni sur la longueur de leurs chaînes carbonées, ni sur le nombre de liaisons trans sur une chaîne donnée, ni sur leurs positions.

Cependant, les résultats obtenus par spectrométrie IR de corps gras alimentaires sont toujours supérieurs à ceux obtenus par chromatographie. La répétabilité et la reproductibilité sont notablement meilleures en CPG qu'en IR, surtout pour les produits de faibles teneurs en AG trans. Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer ces écarts :

- la bande caractéristique des trans apparaît sur une partie du spectre pentue et élevée, l'intégration des pics d'AG trans dans cette pente n'est pas aisée, en particulier quand le signal du aux AG trans est de faible intensité (cas des faibles teneurs). Ces biais d'intégration des spectres peuvent être une source d'erreur non négligeable, notamment à des teneurs en AG trans inférieures à 15 % (Ulberth et Haider, 1992).
- la présence de certaines matières grasses peut également interférer avec le dosage des AG trans: c'est le cas des triglycérides, qui absorbent à 970 cm⁻¹ (surestimation des AG trans de 2 à 3 %) et des AG libres dont la déformation hors du plan de l'OH du carboxyle absorbe dans une bande à 943 - 935 cm⁻¹. Ces biais peuvent être évités en adoptant des facteurs de correction, en utilisant

des techniques de spectrométrie IR différentielle, ou en mesurant l'absorption des esters méthyliques des AG trans bien que l'estérification interfère aussi légèrement avec la mesure (sous-estimation de 1 à 3 %) (**Firestone et Sheppard, 1992**).

- les doubles liaisons conjuguées mono-trans (cis, trans et trans, cis) ou di-trans absorbent dans des bandes (990 et 950 cm^{-1}) proches de celle des AG trans isolées (966 cm^{-1}). Les méthodes de spectrométrie IR développées pour le dosage des trans isolées ne sont pas utilisables pour des produits présentant des teneurs en AG trans conjugués supérieures à 5 %.
- les méthodes IR sont calibrées sur l'absorbance de l'ester méthylique de l'acide élaïdique 18:1 9t, il faut donc admettre que toutes les liaisons trans ont la même absorbance. Ceci semble vrai pour les AG mono-insaturés, mais non pour les AG polyinsaturés mono- ou di-trans, ce qui est une source d'erreur supplémentaire (**Firestone et Sheppard, 1992**). Ces écarts ont pu être réduits, voire supprimés, par le développement des nouvelles technologies de spectrométrie.

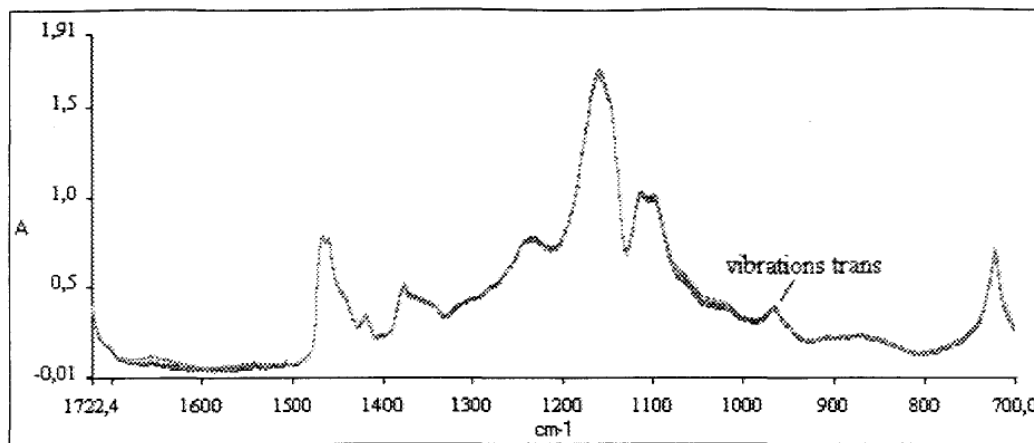


Figure 39 : superposition de 10 spectres de beurre pour évaluer la répétabilité spectrale

Conclusion :

Les spectres des matières grasses enregistrés sur l'intervalle 500-4000 cm^{-1} indiquent des pics et une augmentation de l'intensité de la bande d'absorption caractéristique des insaturations trans. Les matières grasses des échantillons analysés (F03 et F05) présentent un doublet à 967 cm^{-1} et 987 cm^{-1} . Cette multiplicité de bandes pourrait correspondre à la formation de diènes conjugués trans-trans (à 988 cm^{-1}) (Kochhar *et al.*, 1989) en même temps que les insaturations trans isolées.

Les teneurs des AGt sont déterminés ensuite avec précision par une analyse chromatographique (CPG).du point de vue nutritionnel, la connaissance de la teneur en AGt dans les aliments est intéressante. Les résultats apportés par les méthodes chromatographique et spectroscopique ne sont pas comparables mais sont complémentaires.

5. Profil en acides gras des fromages analysés

L'analyse des acides gras fournit un moyen rapide et précis de détermination de la répartition des acides gras des graisses et des huiles. Cette information est bénéfique pour tous les aspects du développement de produits, du contrôle du processus, et de la commercialisation parce que les caractéristiques physiques, chimiques, et nutritionnelles des graisses et des huiles sont influencées par les types et les proportions des acides gras constitutifs et leur position sur le glycérol (**O'Brien, 2004**).

En raison des préoccupations nutritionnelles croissantes et de la conscience scientifique concernant les conséquences sanitaires des acides gras saturés (AGS), des acides gras trans (AGT), et des acides gras essentiels (AGPI : n-3 et n-6), la composition des graisses alimentaires est d'un grand intérêt (**Anwar et al., 2006**).

Les proportions relatives (exprimées en % des acides gras totaux) des acides gras saturés (AGS), mono insaturés (AGMI), polyinsaturés (AGPI) et trans (AGT) présents dans les fromages ainsi que les rapports entre les groupes d'acides gras présents dans les fromages analysés sont rapportés dans le tableau 18. Les AG identifiés correspondent à des nombres de carbones allant de 4 (acide butyrique C4:0) à 20 (acide arachidique C20:0).

Tableau XVIII : Composition en acides gras (en % des esters méthyliques d'acides gras totaux) des échantillons analysés et les rapports entre les groupes d'acides gras

		F01	F02	F03	F04	F05
Composition en acides gras	C4:0	0,19	1,11	0,08	2,24	-
	C6:0	0,59	1,36	0,56	2,29	0,46
	C8:0	4,45	0,66	0,80	1,33	0,75
	C10:0	4,15	1,54	2,60	3,03	2,29
	C12:0	36,55	2,21	3,90	5,65	3,47
	C14:0	18,20	8,91	11,54	13,24	10,90
	C14:1	-	-	-	1,03	-
	C15:0	0,22	0,96	1,05	0,99	1,07
	C16:0	15,84	41,99	31,65	33,95	33,70
	C16:1	0,19	0,95	2,12	0,79	2,05
	C17:0	0,11	0,64	0,52	0,50	0,68
	C18:0	13,32	14,35	18,07	10,92	16,02
	C18:1t	-	-	-	-	-
	C18:1	5,78	20,69	18,20	21,75	19,78
	C18:2t	-	-	0,18	-	0,22
	C18:2	0,24	0,60	1,68	1,09	1,54
	C18:3	-	-	1,08	-	0,96
	C20:0	-	0,31	0,57	-	0,49
Rapports entre les principaux groupes d'acides gras	AGCC %	9,38	4,67	4,03	8,89	3,51
	AGS %	93,61	73,74	70,76	74,15	69,34
	AGT %	0,00	0,00	0,18	0,00	0,22
	AGMI %	5,97	21,64	20,32	22,54	21,83
	AI	20,15	3,59	3,54	3,92	3,32
	TI	15,24	5,87	5,26	4,92	4,92

$$\text{AGCC} = (\text{C4:0} + \text{C6:0} + \text{C8:0} + \text{C10:0}) * \text{AI} = (\text{C12:0} + (4 * \text{C14:0}) + \text{C16:0}) / (\text{MUFA} + (\text{n}-6) + (\text{n}-3)), **\text{TI} = (\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0}) / (0,5 * \text{MUFA} + (0,5 * \text{n}-6) + (3 * \text{n}-3) + (\text{n}-3 / \text{n}-6))$$

Le fromage (F03) a un taux d'AGT de 0,18%, suivi par le fromage (F05) avec un Taux de 0,22%, représenté par le C18:2trans. Ce dernier fait partie de la famille des ALC (Acide linoléique conjugué), isomère de l'acide linoléique. L'acide ruménique (C18: 2-cis-9, trans-11) est l'isomère prépondérant dans les produits laitiers .

La classification des différents fromages analysés selon leur composition en acides gras revient à les comparer à celle des huiles et matières grasses d'origine animale et végétale.

La présence des acides gras à courte chaîne dans tous les échantillons, notamment C4:0 et C6:0 et la présence des acides C15:0 et C17:0 témoignent de l'utilisation de matière grasse laitière mais en proportion variable :

- L'échantillon F01 présente une teneur élevée en acide laurique qui est de 36,55%, ce qui suggère l'utilisation de graisses type laurique telle que l'huile de coprah. Cet échantillon présente également la particularité d'être riche en acide stéarique C18:0 (13,32%). Cette teneur ne correspond ni à la composition en acides gras de l'huile de palmiste ni à celle de coprah (**Annexe IX**). Selon **Tekin et al., (2002)**, un contenu élevé en acide stéarique suggère qu'une huile de base interestérifiée ou partiellement hydrogénée riche en acide stéarique a été mélangée à des huiles liquides pour obtenir le taux de solides désiré. Le fromage F01 est ainsi considéré comme un fromage analogue, également appelé spécialité fromagère.
- L'échantillon F02 présente une teneur élevée en C16:0 qui est de 41,99 %, ce qui suggère l'utilisation de l'huile de palme. Cette dernière contient 41-47,5% d'acide palmitique. Le fromage F01 est également considéré comme un fromage analogue ou spécialité fromagère.
- Le profil en acides gras des échantillons F03, F04 et F05 présentent de fortes similitudes avec celui de la matière grasse laitière qui pourrait exclure l'utilisation d'huiles ou graisses végétales et permettrait donc l'appellation « fromage fondu ».

6. Résultats de l'Analyse sensorielle

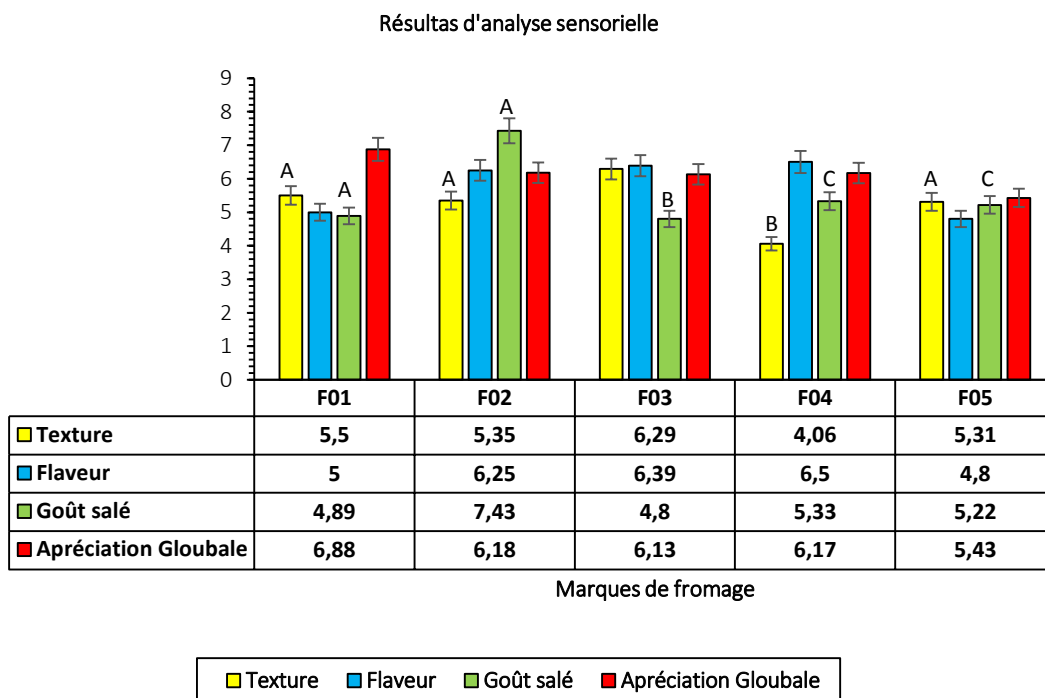


Figure 40: valeurs moyenne des notes d'appréciation hédoniques des fromages fondus étudié

La figure 41, rassemble les profils sensoriels des échantillons étudiés F01, F02, F03, F04, F05, concernées par l'analyse sensorielle. Nous constatons que les membres du panel de dégustation attribuent au fromage (F03) la meilleure texture avec une moyenne de 6,29 suivi par les fromages F01, F02, F05, F04 respectivement.

L'ANOVA sur les notations de la texture confirme la différence hautement significative ($p < 0,05$) entre les fromages étudiés. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer deux (2) groupes homogènes.

Pour la flaveur on constate que le fromage (F04) a obtenu la meilleure note par les dégustateurs avec une moyenne de 6,5 suivi par les fromages F03, F02, F01, F05, respectivement.

Pour les notations de la flaveur, l'analyse de la variance (ANOVA) montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p < 0,05$) d'un fromage à un autre.

Le fromage (F02) a eu la meilleure note pour le critère goût salé avec une moyenne de 7.43 suivi par les fromages F04, F05, F01, F03, respectivement.

L'analyse de la variance ($p \leq 0.05$) révèle l'absence de différence significative entre les marques de fromage étudiées sur le plan gustatif

Les zones d'acceptabilité indiquées dans les séries de données des profils sensoriels, indiquent que le fromage analogue (F01) est plus apprécié par les dégustateurs suivi par les fromages fondus F02, F03, F04, respectivement grâce à leurs caractéristiques organoleptiques intenses. Par contre, le fromage fondu F05 à une zone d'acceptabilité trop restreinte due à la faible intensité de descripteur de la flaveur qui est de 4.8 sur une échelle de 9 (**figure 39**).

L'analyse de la variance ($p \leq 0.05$) révèle l'absence d'une différence significative entre les marques de fromage étudiées. Les membres du panel sont en accord pour attribuer les meilleures notes pour le fromage analogue F01.

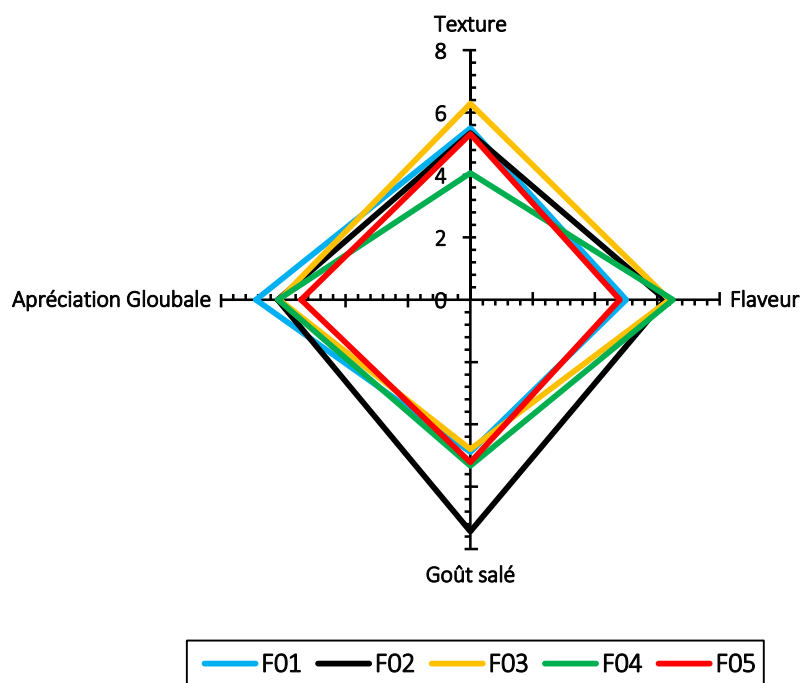


Figure 41: profils sensoriels des fromages analysés

En général, la perception des saveurs du fromage est un processus complexe (**Auvray & Spence 2008**). Les perceptions gustatives, olfactives, texturales et aussi visuelles contribuent à l'évaluation globale des aliments et il y a plusieurs interactions entre les différents systèmes de perception.

- Les couleurs influencent notre perception de saveur.
- Les perceptions acoustiques modulent notre perception texturale.
- Les perceptions texturales modifient les perceptions gustatives et ainsi de suite.

Les colorants peuvent même servir d'exhausteurs de goût, car l'intensité des perceptions gustatives peut être rehaussée par une couleur qui s'intègre dans notre expérience sensorielle (**Koza et al., 2005 ; Luisa et al., 2006**).

Les consommateurs s'attendent souvent à ce que les produits alimentaires jaunes ou verts aient un goût aigre et les produits alimentaires roses un goût sucré. La couleur jaune intense à orange peut également servir d'indice visuel pour les fromages à base de lait contenant des caroténoïdes naturels. Les dégustateurs peuvent influencer l'intensité de perception des odeurs ou même d'autres dégustateurs (**Frank & Byram 1988**).

Le chlorure de sodium, par exemple, peut réduire l'amertume, et les extraits de levure agissent comme exhausteurs d'arômes dans les fromages fondus. De nombreux additifs aux fromages fondus fonctionnent comme modulateurs de saveur sous certaines conditions, les agents émulsifiants utilisés dans le processus de production influencent la saveur du fromage fondu (**Mayer, 2001**).

Le choix des agents de saveur ou du colorant à utiliser dépend en grande partie du groupe cible de consommateurs et de la situation alimentaire prévue. Les produits pour enfants contiennent normalement moins d'herbes et d'épices, car ils ne doivent pas être trop intenses dans le fromage. Par contre, le fromage fondu pour enfants peut être enrichi de différents types d'édulcorants, de colorants et de produits adaptés aux enfants, comme la fraise, la pastèque, la pomme verte, la banane et même le bubble gum.

Pour les adultes qui l'aiment chaud, les fromages épicés aux poivrons, piments, peuvent être une option. Du côté salé, on trouve des fromages cloutés ou roulés au cumin, à l'aneth, à l'ail, au fenouil, au romarin, à l'estragon, au thym et autres. Selon les différentes habitudes alimentaires,

les fromages fondus aux arômes de fruits sont souvent destinés à être utilisés en situation de petit-déjeuner, Pour les amateurs de chocolat et de douceurs, il existe également des fromages contenant du chocolat, du cacao et de la cannelle sur le marché (**Tamim, 2011**).

Malgré la diversification du marché des fromages en Algérie, le fromage fondu demeure le fromage le plus populaire et le plus consommé. Les fromages à pâte pressée et les fromages à pâte dure restent considérés comme des produits de luxe.

Les fromages analogues, qui ne bénéficient pas sur le plan réglementaire de la dénomination fromage, restent des produits souffrant d'une mauvaise image. Or, ce sont des produits spécifiques, qui répondent à des besoins et des objectifs différents de ceux des fromages traditionnels.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances pratiques en matière de contrôle de la qualité, par une contribution à une étude comparative basée sur les analyses physico-chimiques et sensorielle de cinq (5) produits de fromage fondu/analogue (codées F01, F02, F03, F04, F05).

La composition en acides gras permet la classification des échantillons en : Fromage analogue ou spécialité fromagère (F01 et F02) et fromage fondu (F03, F04, F05).

Sur le plan physicochimique, les résultats montrent que les paramètres (pH, acidité, cendres, extrait sec, humidité), du fromage analogue sont très similaires à ceux du fromage fondu.

Sur le plan sensoriel, les séries de données des profils sensoriels, indiquent que le fromage analogue (F01) est le plus apprécié par les dégustateurs suivi par les fromages fondus F02, F03, F04, F05, respectivement.

Sur le plan nutritionnel, les résultats montrent que la composition en protéines, la teneur en matière grasse, lactose, NaCl, Calcium, Potassium, Sodium, Magnésium, Fer et Amidon du fromage analogue est similaire à celle du fromage fondu.

Cependant :

- Les teneurs en NaCl et en sodium sont très élevées dans tous les échantillons analysés et sont supérieures aux valeurs citées dans plusieurs études.
- Les teneurs en lactose sont légèrement supérieures aux normes.
- Les teneurs en protéines des fromages analysées sont faibles par rapport aux valeurs citées dans plusieurs études.
- L'analyse par IRTF révèle la présence des acides gras *trans* dans les fromages F03, F05.

Dans le but de compléter ce travail, il serait intéressant de poursuivre cette étude par

- Une analyse par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) pour la détermination des vitamines liposolubles et hydrosolubles.
- Une analyse statistique en composante principale (ACP) pour mettre en évidence l'influence et les interactions existantes entre les différents paramètres étudiés.
- Une étude similaire et approfondie d'autres types de fromages analogues.

Références Bibliographiques

A

A.C.I.A.: Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (2014). Manuel d'inspection des établissements laitiers. Chapitre 13. Tâches Liées aux traitements thermiques.

[Http://www.inspection.gc.ca/aliments/Produits-Laitiers/Manuel-Procedures-D-Inspection/Manuel-D-Inspection-Des-Etablissements/Chapitre13/Fra/1378105207824 /1378105208527.](http://www.inspection.gc.ca/aliments/produits-laitiers/manuel-procedures-d-inspection/manuel-d-inspection-des-etablissements/chapitre13/fra/1378105207824/1378105208527)
Consulté le 18 Aout 2019. Consulté le 18 Aout 2019.

Ahmed N. S., Hassan F. A. M., Salama F. M. M., & Enb A. K. M., 1995. Utilization of plant proteins in the manufacture of cheese analogs. *Egyptian Journal of Food Science*, 23, 37–45.
In , Bachmann H-P., 2001. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, vol. 11, p. 505-515.

ANSES. (2013). Table Ciqual. Composition nutritionnelle des aliments. Rapport de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement.

Alonso L., Fraga M.J., Juarez M., 2000. Determination of trans fatty acids and fatty acid profiles in margarines marketed in Spain. J9141 in *JAOCS* 77, pp 131-1

Asper D., 1980. Physicochemical and rheological properties of block-type processed cheese analogue made from rennet casein and total milk protein. *Dairy science*. 51: 684-687.

Arellano-gomez L.A., Lobato-calleros C., Aguirre-mandujano E., Lobato-calleros M.O., 1996. Effect of using different fats in the microstructure and texture characteristics of cheese analogs. *Dairy technologie*. 56: 9-14.

B

Bachmann H-P., 2001. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, vol. 11, p. 505-515.

Boutonnier JL. Fabrication du fromage fondu. F6310. Dossier techniques de l'ingénieur.
Paris: Éditions Techniques de l'Ingénieur; 2000 [18 p].

Baylin A., Siles X., Donovan-Palmer A., Fernandez X., Campos H., 2007. Fatty acid composition of Costa Rican foods including trans fatty acid content. *Journal of Food Composition and Analysis* 20 pp 182 – 192)

Boisard L. (2012). Relations entre mobilité du sodium, libération du sel et des composés d'arôme en bouche et perception de la saveur: application à des modèles fromagers. Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne. 1–329.

BERGER W., KLOSTERMEYER H., MERKENICH K., UHLMANN G., 1993. Processed cheese manufacture. Ladenburg : BK Ladenburg GmbH

Rym Nouria BENAMARA, (2017) Identification et caractérisation de spores de *Bacillus* Isolées de fromages fondus fabriqués en Algérie. Thèse de doctorat en microbiologie alimentaires. Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Algérie.

C

Chavan R., Jana A., 2007. Cheese substitutes: an alternative to natural cheese - A review. *Int J Food Sci Technol Nutr* 2(2): 25-39.

C.C.I.L : Centre Canadien d'Information Laitière (2005). Code national sur les produits laitiers. [Http://Www.Dairyinfo.Gc.Ca/Index_F.Php?S1=Dr-LandS2=CanadaandS3=Ndc-CnplandS4=05-2005](http://www.Dairyinfo.Gc.Ca/Index_F.Php?S1=Dr-LandS2=CanadaandS3=Ndc-CnplandS4=05-2005). Site Consulté Le 7 Aout 2016.

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.

CNIS : Centre national de l'informatique et des statistiques d'Alger (2015). Statistiques d'importation du cheddar, Algérie. Informations consultées le 02 Mars 2016.

CNRC : Centre national du registre du commerce Algérien. (2015). Statistique de nombre de fromageries au territoire national Algérien. Informations reçue le 27 Avril 2016.

Références Bibliographiques

Codex Alimentaire (1978) : Norme codex pour le fromage fondu et le fromage fondu pour tartine portant un nom de variété (Codex Stan A-08 (a)-1978), et norme codex pour les préparations à base de fromage fondu (process (ed) cheese food and process (ed) cheese spread) (Codex Stan A-08 (c)-1978).

Codex Alimentaire (2015). Projet de norme générale pour le fromage fondu (étape 6), CL 2015/34-MMP décembre 2015.

Codex (1999). Codex Standard for Milkfat Products. Codex Stan 280-1973, formerly codex Stan a-2-1973. Adopted in 1973. revision 1973. Amendment 2006, 2010

Chen S.I., wan P.J., Rhee K.C., 1979. Utilization of peanut protein and oil in cheese analogue. Food technology. 37: 88-93.

Carić, M. & Kalab, M. (1993) Processed cheese products. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (ed. P.F. Fox), vol. 2, pp. 467–505, Chapman & Hall, New York.

Carić, M., Gantar, M. & Kalab, M. (1985) Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese: a review. Food Microstructure, 4, 297–312.

Crédoc, Cahier de la recherche (2013). CCAF, Tris spécifiques BEL.

Christine wojciechowski (1998), apports de la chimiométrie à l'interprétation des données de la spectroscopie infrarouge: caractérisation des matières premières et matériaux d'emballage en agro-alimentaire. Thèse de doctorat en spectrochimie, université des sciences et technologies de lille

Considini T., Noisuwan A., Hemar Y., Wilkinson B., Bronlund J., and Kasapis S. (2011).

D

Debry G. (2001). Lait, nutrition et santé (Ed.) Tec et doc Lavoisier. Paris, France, Pp. 45-84.

Décret n° 2013-1010 du 12 novembre 2013 modifiant le décret no 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères.

Diamantino I.M., et Penna A.L.B. (2011). Efeito da utilização de substitutos de gordura em queijos light. Revista do Instituto Adolfo Lutz, 70, 258–267.

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

Dantas Cavalcante A. (1995). Influence des facteurs de composition sur les propriétés texturales d'un fromage fondu de «Type Requeijão». Thèse de doctorat dissertation. Institut national polytechnique de lorraine, Vandoeuvre-Les-Nancy.

Dejia Zhang A W.Mahoney 1989,Effect of Iron Fortification on Quality of Cheddar Cheese, Journal of Dairy Science Volume 72, Issue 2, February 1989, Pages 322-332.

[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79113-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79113-X)

Da Silva, D. F., de Souza Ferreira, S. B., Bruschi, M. L., Britten, M., and Matsumoto-Pintro, P. T. (2016). Effect of commercial konjac glucomannan and konjac flours on textural, rheological and microstructural properties of low fat processed cheese. Food Hydrocolloid, 60, 308-316.

E

Eck A., et Gillis J. C. (1997). Le Fromage. Paris : Technique et documentation Lavoisier, 3rd Ed.

Eck A. et Gillis J.C. (2006). Le Fromage de la science à l'assurance qualité, fromage fondu. Tec et doc. Ed: Lavoisier. 3ème Edition Paris. Pp : 635-765.

Emmanuel Bertrand 2011, Mieux maîtriser la qualité du fromage fondu. <http://www.inra.fr>

Site consulté le 13 Juillet 2019.

EFSA: European Food Safety Authority (2010). Scientific opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia. EFSA J;8(9):1777.

Eckner K. F., Dustman W. A., and Ry-Rodriguez A. A. (1994). Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads. J Food Protect, 57(4), 295-300.

Elisabeth Bühler-Astfalk (2011), le potassium Un micronutriment essentiel.

<https://www.swissmilk.ch> Site consulté le 19 Juillet 2019.

Elisabeth Bühler-Astfalk (2011), Le zinc et l'importance des produits laitiers

<https://www.swissmilk.ch> Site consulté le 19 Juillet 2019.

Elisabeth Bühler-Astfalk (2011), le magnésium un minéral aux grands effets

<https://www.swissmilk.ch> Site consulté le 19 Juillet 2019.

Esteban M. A. and Marcos A. (1989). Chemical prediction of water activity in processed cheese. J Dairy Res, 56(04), 665-668

F

FDA, 2003. Food and Drugs Administration Regulation 101.

Fox P. F., Guinee T. P., Cogan T. M., and Mcsweeney P. L. (2017a). Processed cheese and substitute/imitation cheese products. In fundamentals of cheese science (Pp. 589-627).

Springer Us.

Fox P. F., Guinee T. P., Cogan T. M., and Mcsweeney P. L. (2017b). Cheese as an ingredient. In fundamentals of cheese science (Pp. 629-679). Springer Us.

Fox P.F., Guinee T.R., Cogan T.M., Sweeney P.L., 2000. Fundamentals of Cheese Science», An Asen publication, volume 23, 3^{ème} édition, p 445 - 450.

Felicio T. L., Esmerino E. A., Cruz A. G., Nogueira L. C., Raices R. S. L., Deliza R., Bolini H.M.A. and Pollonio, m. a. r. (2013). Cheese. What is its contribution to the sodium

intake of Brazilians? *Appetite*, 66, 84–88.

Ferrão L. L., Silva E. B., Silva H. L. A., Silva R., Mollakhalili N., Granato D., Freitas M.Q., Silva M.C., Raices R.S.L., Padilha M.C., Zacarchenco P.B., Barbosa M.I.M.J., Mortazavian A.M., Cruz A.G. (2016). Strategies to develop healthier processed cheeses: reduction of sodium and fat contents and use of prebiotics. *Food Res Int*, 86, 93-102.

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.

G

Guinee T. P., Cari M. and Kalab M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. *cheese: chemistry, physics and microbiology*, 2, 349-394

Guinee T. P., 2016. Protein in cheese products: structure-function relationships. In P. L. H.

Greenfield H., Southgate D.A.T., 2007. Données sur la composition des aliments PRODUCTION, GESTION ET UTILISATION. Seconde édition. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Guinee TP., Caric M and Kalabm., 2004. Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. In: *Cheese - Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 2. Major cheese groups. Fox PF, Mc Sweeney PLH, Cogan TM and Guinee TP (Eds.), Elsevier Academic Press, London. pp. 349-394.32.

H

Havermans RC, Jansen A. Increasing children's liking of vegetables through flavour-flavour learning. *Appetite* 2007;48(2): 259—62.

Henning D., Baer R., Hassan A. and Dave R. (2006). Major advances in concentrated and dry milk products, cheese, and milk fat-based spreads. *J Dairy Sci* 89(4): 1179-1188.

J

Jana AH and Govind P. Tagalpallewar (2017). Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application, *J Food Sci Technol*. 2017 Nov; 54(12): 3766–3778. Published online 2017 Oct 4. doi: 10.1007/s13197-017-2886-z

PMCID: PMC5643830

Johnson, M. E., Kapoor, R., McMahon, D. J., McCoy, D. R., & Narasimmon, R. G. (2009). Reduction of sodium and fat levels in natural and processed cheeses: Scientific

K

Kapoor, R., & Metzger, L. E. (2008). Process cheese: Scientific and technological aspectsda review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 194e214.

Karabulut I., 2007. Fatty acid composition of frequently consumed foods in Turkey with special emphasis on trans fatty acids. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 58(8), pp 619-628.

Kong-chan J. L. Y., Hellyer J. A., & Tafuri, M. W., 1991. Simulated cheese products with reduced animal fat and calories. United States Patent, 5.061.503, pp. 1–14).

L

Alonso L., Fraga M.J., Juarez M., 2000. Determination of trans fatty acids and fatty acid prolies in margarines marketed in Spain. J9141 in *JAOCS* 77, pp 131-1

LIGUEM H., GHORBEL D., GRABIELLE-MADELMONT C., GOLDSCHMIDT B., LESIEUR S., ATTIA H., OLLIVON M., LESIEUR P., 2009a. Water behaviour in processed cheese spreads DSC and ESEM study. *J Therm Anal Calorim*, vol. 98, p. 73–82

Lauverjat C., Déléris I., Tréléa I.C. et al. (2009). Salt and aroma compound release in model cheeses in relation to their mobility. *J Agric Food Chem* 57:9878–87. doi: 10.1021/jf901446w

Lobato-calleros C., Vernon-carter E. J., Guerrero-legarreta I., Soriano-santos J., Escalon Beundia H., 1997. Use of fat blends in cheese analogues: influence on sensory and instrumental textural characteristics. *Journal of texture studies*. 28: 619-632.

M

Meyer, A. (1973) *Processed Cheese Manufacture*, Food Trade Press, London. Milani, F.X. & Lucey, J.A. (2009) Avoiding defects in process cheese. *University of Wisconsin-Dairy Pipeline*, 21(1), 1–2, 6–7

Markiewicz-kęszycka M., Czyżak-runowska G., Lipińska P., Wójtowski J., 2013. Fatty acid profile of milk. *Bull vet inst pulawy* 57, pp 135-139
McNutt K., 1989. Cheese analogs. *Food Engineering*, 61, 76–79.

Martin C.A., Carapelli R., Visantainer J.V., Matsushita M., Evelazio de Souza N., 2005. Trans fatty acid content of Brazilian biscuits. *Food Chemistry* 93, pp 445–448

M.El-Bakry.(2010) Reducing salt in imitation cheese: Effects on manufacture and functional properties. UCD School of Agriculture, Food Science and Veterinary Medicine, UCD Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland.

Markiewicz-kęszycka M., Czyżak-runowska G., Lipińska P., Wójtowski J., 2013. Fatty acid profile of milk. *Bull vet inst pulawy* 57, pp 135-139.

MARSHALL R.J., 1990. Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 50, p. 237–252.

Mounsey, J. S., and O’Riordan, E. D. (2008). Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches. *Food Hydrocolloid*, 22, 1160–1169.

Monsey JS, O’riordan ED., 2001. Characteristics of imitation cheese containing native starches. *Journal food science*. 66: 586-591.

Mark E. Johnson, Rohit Kapoor, Donald J. McMahon, David R. McCoy, and Raj G. Narasimmo., (2009) Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses.

MEYER A., 1973. Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London, 201 p.

N

Nagyová, G., Buka, F., Salek, R. N., erníková, M., Maník, P., Grber, T., and Kucha, D 688 (2014). Use of sodium polyphosphates with different linear lengths in the production of 689 spreadable processed cheese. *J Dairy Sci*, 97, 111–22. 690

<http://doi.org/10.3168/jds.2013-7210>.

Nazem, A. M., El-Maghraby, M. M., Amer, A. A., and Hassan, O. M. E. (2010). Quality assessment of different varieties of processed cheese at Alexandria markets. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 30(1), 13-19.

Norme Algérienne : NA N°10.96.22 : Méthode d’analyse pour recherche d’un produit

amylacé (méthode chimique). Ministère du commerce, CACQE (IDAQUALITEC).

Nicklaus S, Boggio V, Chabanet C, Issanchou S. A prospective study of food preferences in childhood. *Food Qual Preference* 2004;15:805—18. Havermans RC, Jansen A. Increasing children's liking of vegetables through flavour-flavour learning. *Appetite* 2007;48(2): 259—62.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press : Washington, 2001, 381 p

O

Oliveira R.B.A, Margalho L.P., Nascimento J.S., Costa L.E.O., Portela J.R., Cruz A.G., and Sant'Ana A.S. (2016). Processed cheese contamination by spore-forming bacteria: a review of sources, routes, fate during processing and control. *Trends Food Sci Tech*, 57, 11-19. [Doi: 10.1016/J.Tifs.2016.09.008](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.008)

O'Brien R.D. 2004. *Fats and oils: formulating and processing for applications*; Ed; CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ratona London New York. PP: 744.

P

Palmer, H.J. & Sly, W.H. (1944) Cheese melting salts and their properties. *Journal of the Society of Chemical Industries*, 63, 363–367

PNNS/PNA (2013). *Rapport du groupe PNNS/PNA sur le sel*. Ministère de l'agriculture, l'agroalimentaire et de la forêt. Direction générale de l'alimentation. Sous-direction de la politique de l'alimentation. Bureau du pilotage de la politique de l'alimentation.

Patel, Jayjanmejy B. and Pranaykumar V. Patel. "The effect of potassium chloride as a salt replacer on the qualities of processed cheese." (2013).

Priego-Capote F., Ruiz-Jiménez J., Luque de Castro M.D., 2007. Identification and quantification of trans fatty acids in bakery products by gas chromatography–mass spectrometry after focused microwave Soxhlet extraction. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods. Food Chemistry* 100, pp 859–867

Paule Neyrat, 2008, les fromages fondus, <https://www.e-sante.fr/fromages-fondus/guide/880>

Site consulté le 3 juillet 2019.

R

Roustel S. et Boutonnier J.L. (2015). Fromage fondu : Technologie de fabrication et contrôle qualité. Techniques de l'ingénieur, F6311: 1: 1-19.

Revilija Mozuraityt et al., (2019) Sodium reduction in processed cheese spreads and the effect on physicochemical properties

Ramet J.P. (1985). La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéen (N° FAO APHP-48). FAO, Roma (Italia).

Rheological properties and microstructure of cheddar cheese made with different fat contents. J Dairy Sci, 93(10), 4565-4576.

Rogers N. R., McMahon D. J., Daubert C. R., Berry T. K., and Foegeding E.A. (2010).

Richter E.K., Shawish K.A., Scheeder M.R.L., Colombani P., C., 2009. Trans fatty acid content of selected Swiss foods: The TransSwissPilot study. Journal of Food Composition and Analysis 22, pp 479–484.

Rigal N. La naissance du goût. Paris: Noesis; 2000 [157 p].

Roustel S. et Boutonnier J.L. (2015). Fromage fondu : Technologie de fabrication et contrôle qualité. Techniques de l'ingénieur, F6311: 1: 1-19.

Roustel S. (2014). Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte. Techniques de l'ingénieur, F6310: 2: 1-15.

Richonnet C. (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. Cah Nutr Diet, 51(1), 48-56.

S

Santos B. L., Resurreccion A. V. A., & Garcia V. V., 1989. Quality characteristics and consumer acceptance of a peanut-based imitation cheese spread. *Journal of food science*, 54, 468–471

Shaw M., 1984. Cheese substitutes: threat or opportunity. *Journal of the society of dairy technology*, 37, 27–31

Saunders D., Jones S., Devane G.J., Scholes P., Lake R.J., Paulin S.M., 2008. Trans fatty acids in the New Zealand food supply. *Journal of Food Composition and Analysis* 21, pp 320– 325.

Saputra, Ern. (2012). Effects of various emulsifying salt concentrations and cheese types in reduced sodium process cheese. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <http://hdl.handle.net/11299/126309>.

S. K. Gupta, 2 c. Karahadian, and r. C. Lindsay, Effect of Emulsifier Salts on Textural and Flavor Properties of Processed Cheeses. Department of Food Science University of Wisconsin Madison 53706

Š. ZAMBERLIN et al.: Mineral elements in milk and dairy products, *Mljekarstvo* 62 (2), 111-125 (2012)

Southward, 1994. Consumer and applications science section, new zealand. *Dairy research institute*. 56: 338-356.

T

Tamime A. Y. (2011). Processed cheese and analogues: An overview. Processed cheese and analogues. Oxford, UK.

Takeda E., Yamamoto H., Yamanaka-Okumura H., Taketani Y. (2014). Increasing dietary phosphorus intake from food additives: potential for negative impact on bone health.

Adv Nutr: 5 (1):92

Tavella M., Peterson G., Espeche M., Cavallero E., Cipolla L., Perego L., Caballero B., 2000. Trans fatty acid content of a selection of foods in Argentina. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. *Food Chemistry* 69, pp 209-213.

Taggart P., Mitchell J., 2009. Starch. In: Phillips G.O., Williams P.A. Handbook of hydrocolloids. Second edition, woodhead publishing limited, p. 108-141.

Thomas, M.A. (1973) The Manufacture of Processed Cheese: Scientific Principles, 1st edn, NewSouth Wales Department of Agriculture, Richmond, Australia.

U

USDA, National nutrient database for standard reference; 2014.

V

Varunsatian S., Watanabe K., Hayakawa S., Nakamura R. (1983). Effects of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ and Na⁺⁺ on heat aggregation of whey protein concentrates. J Food Sci. vol. 48, 42 p.

Vierling E. (2003). Aliments et boissons : filières et produits. Biosciences et techniques. 2ème édition, Doin, 270 P.

W

Weaver C.M., Proulx W.R., Heaney R. (1999). Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. Am J Clin Nutr ; 70 (Suppl.), 543s-8s.

Z

Zwiercan AG., Lacourse NL., Lenchin JM., 1987. Imitation cheese products containing high amylose starch as total caseinate replacement. *United states patent*. 46: 95 -175.

Zehren, V.L. & Nusbaum, D.D. (1992) Processed cheese, Cheese Reporter Publishing Co. Inc., Madison.

Annexe I : Fiches d'évaluation hédonique

Fiches d'évaluation hédonique du fromage

Bienvenue ! Vous participez à une séance de dégustation de fromage.

Vous êtes étudiant(e) en : Licence Master I Master II Autre

Spécialité :

Lisez attentivement les instructions et posez des questions s'il y a lieu. Ne pas parler pendant la séance de dégustation.

Effectuez les évaluations dans l'ordre demandé, prenez votre temps pour noter **cinq (05)** échantillons. Vous disposez d'un feuillet par échantillon.

Prenez à chaque fois un morceau de **fromage**. Exprimez votre avis concernant le caractère agréable en marquant un **trait vertical sur l'échelle**.

Rincez-vous la bouche et attendez que le stimulus disparaisse pour déguster un autre échantillon.

1



2



Nous vous remercions pour votre participation.

Questionnaire

Vous recevez l'échantillon N°

Goûtez-le et indiquez le caractère désagréable ou agréable sur **les échelles** ci-dessous :

- 1) *Texture (Sensation en bouche) :* ||
Très désagréable *Très agréable*

- 2) *Flaveur (arôme et saveur) :* ||
Très désagréable *Très agréable*

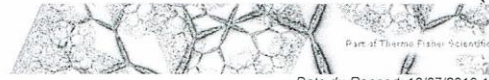
- 3) *Goût salé :* ||
Très désagréable *Très agréable*

- 4) *Appréciation globale :* ||
Très désagréable *Très agréable*

Annexe II :



Nom Opérateur: msia
Fichier Résultats: C:\SOLAAR\MDATA\RESULTS.SLR



Date du Rapport: 18/07/2019 10:03:21

Méthode :
Passeur : Aucun
Utiliser Injection Flux Segmenté: Non

Paramètres Généraux

Opérateur : msia Mode Instrument: Flamme
Dilution: Aucune

Nom Analyse: Ca / fromage 18/07/2019
Nom Opérateur: lab.chimie

Détails Analyse

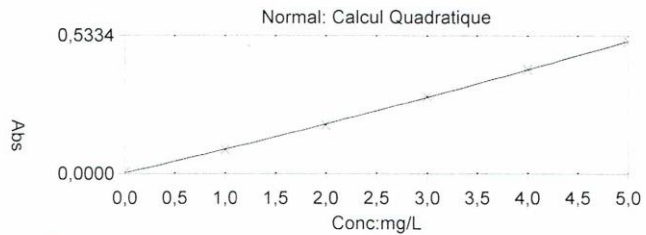
Spectromètre: ICE 3000 AA01122606 v1.30

Détails Echantillons

No.	Nom Echantillon	Masse Nominale: 1,0000	Masse Echant.	Facteur Dilution
1	F01/1g/250/18/100	1,0000	1,0000	1,0000
2	F02/1g/250/18/100	1,0000	1,0000	1,0000
3	F03/1g/250/18/100	1,0000	1,0000	1,0000
4	F03/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
5	F04/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
6	F04/1g/250/18/100	1,0000	1,0000	1,0000
7	F05/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
8	F04/1g/250/18/100	1,0000	1,0000	1,0000
9	Echantillon 9	1,0000	1,0000	1,0000
10	Echantillon 10	1,0000	1,0000	1,0000

Résultats Echantillons - Ca

$Y = 0,002350x^2 + 0,08999x + 0,0009$
Coefficient de corrélation: 0,9998
Courbure Minimale: 0%
Courbure Maximale: 0%
Conc Caractéristique: 0,0488



ID Echant	Signal Abs	DSR %	Conc mg/L	Conc Corrigé mg/L
Ca Blanc	0,003	29,3	0,0000	
Ca Etalon 1	0,091	0,2	1,0000	
Ca Etalon 2	0,187	4,7	2,0000	
Ca Etalon 3	0,296	1,2	3,0000	
Ca Etalon 4	0,400	1,7	4,0000	
Ca Etalon 5	0,508	0,3	5,0000	
Ca F01/1g/250/18/100	0,397	11,2	3,9847	3,9847
Ca F02/1g/250/18/100	0,473	1,4	4,6734	4,6734
Ca F03/1g/250/18/100	0,752	0,6	7,0517 C	7,0517 C
Ca F03/1g/250/2/100	0,098	1,2	1,0483	1,0483
Ca F04/1g/250/2/100	0,063	1,0	0,6758	0,6758
Ca F04/1g/250/18/100	0,464	38,9	4,5918	4,5918
Ca F05/1g/250/2/100	0,060	1,2	0,6505	0,6505
Ca F04/1g/250/18/100	0,564	0,1	5,4737 C	5,4737 C

Annexe III :

Thermo
SCIENTIFIC

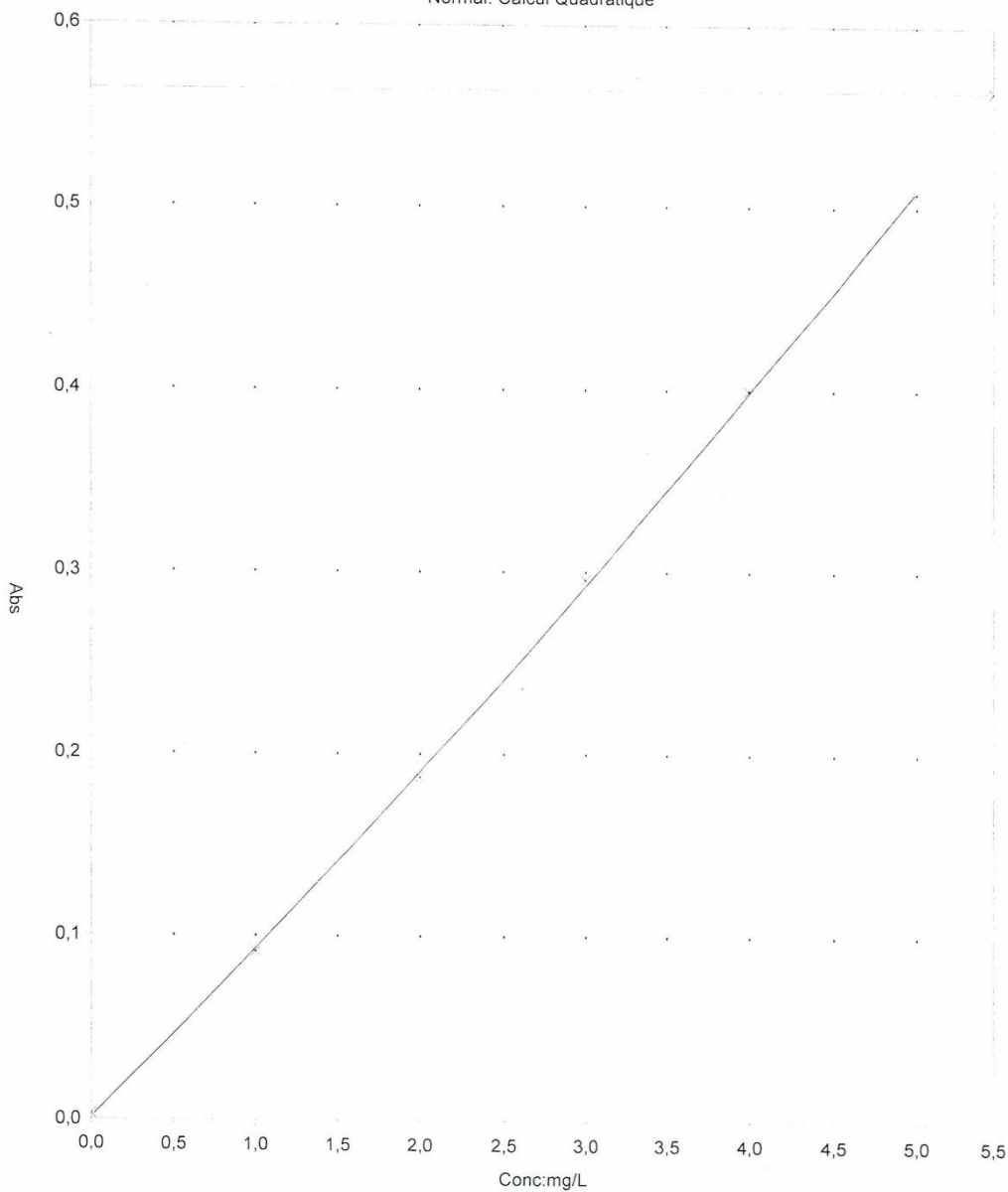
Nom Opérateur: msia
Fichier Résultats: C:\SOLAARM\DATA\RESULTS.SLR
Nom Analyse:Ca / fromage 09:50:57 18/07/2019



Date du Rapport: 18/07/2019 10:04:27

Etalonnage - Ca

Normal: Calcul Quadratique



Détails Etalonnage

Conc
0,0000
1,0000
2,0000
3,0000
4,0000
5,0000

Signal
0,003
0,091
0,187
0,296
0,400
0,508

$Y = 0,002350x^2 + 0,08999x + 0,0009$
Coefficient de corrélation: 0,9998

Conc Caractéristique:0,0488

Annexe IV:



Nom Opérateur: lab.chimie
Fichier Résultats: C:\SOLAAR\DATA\RESULTS.SLR



Date du Rapport: 16/07/2019 13:34:46

Méthode : K /Fromage fondu
Passeur : Aucun
Utiliser injection Flux Segmenté: Non

Paramètres Généraux

Opérateur : lab.chimie
Mode Instrument: Flamme
Dilution: Aucune

Détails Analyse

Spectromètre: ICE 3000 AA01122606 v1,30

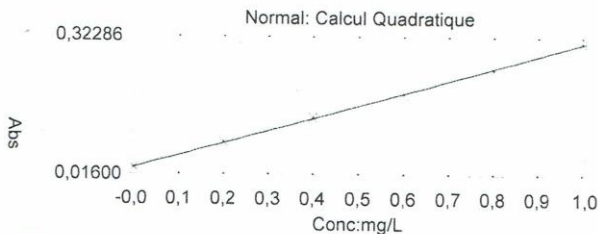
Nom Analyse:K /Fromage fondu 16/07/2019
Nom Opérateur: lab.chimie

Détails Echantillons

No.	Nom Echantillon	Masse Nominale: 1,0000	Masse Echant.	Facteur Dilution
1	F01/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
2	F02/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
3	F03/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
4	F04/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
5	F05/1g/250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
6	Echantillon 6	1,0000	1,0000	1,0000
7	Echantillon 7	1,0000	1,0000	1,0000
8	Echantillon 8	1,0000	1,0000	1,0000
9	Echantillon 9	1,0000	1,0000	1,0000
10	Echantillon 10	1,0000	1,0000	1,0000

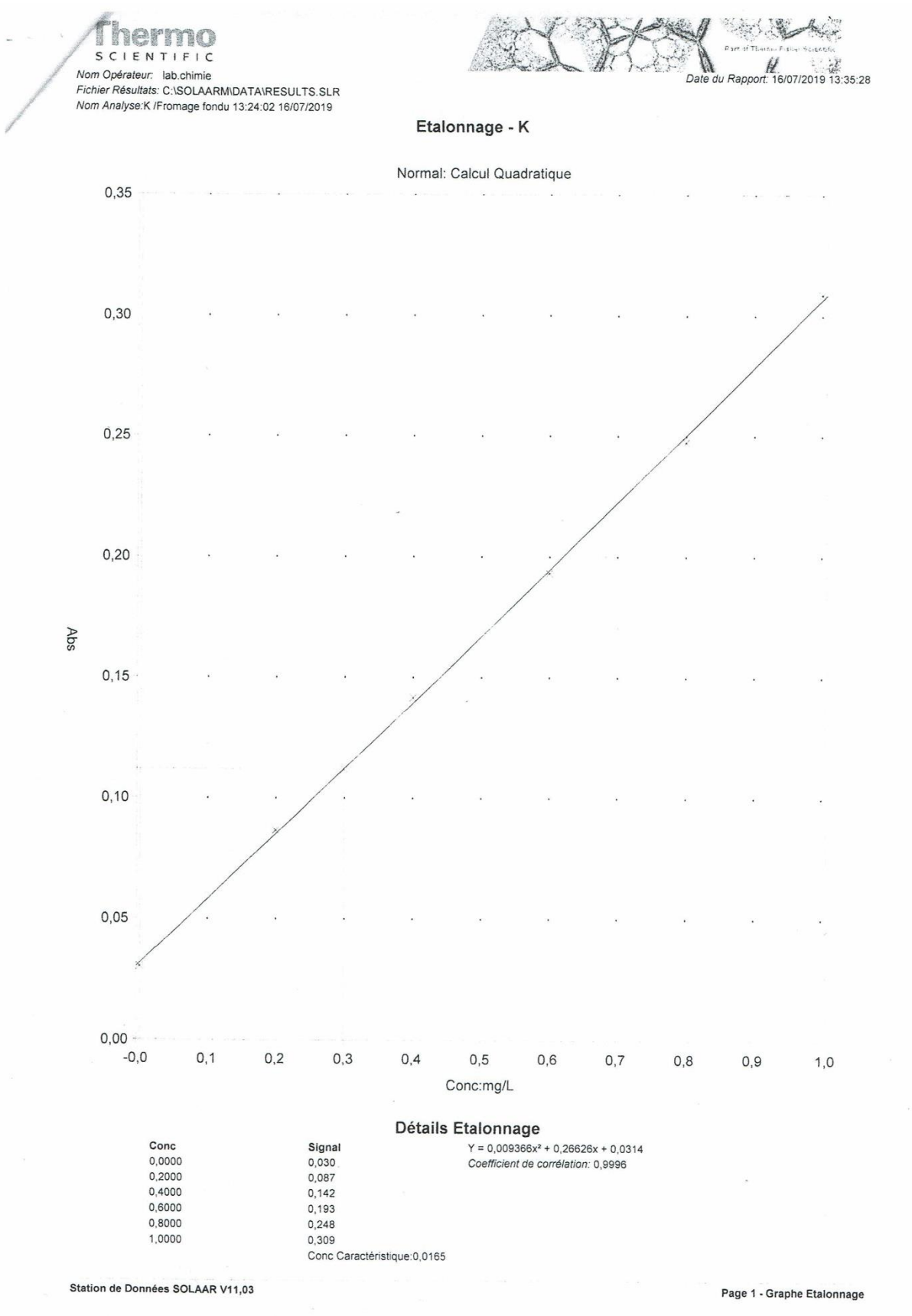
Résultats Echantillons - K

$Y = 0,009366x^2 + 0,26626x + 0,0314$
Coefficient de corrélation: 0,9996
Courbure Minimale: 0%
Courbure Maximale: 0%
Conc Caractéristique:0,0165



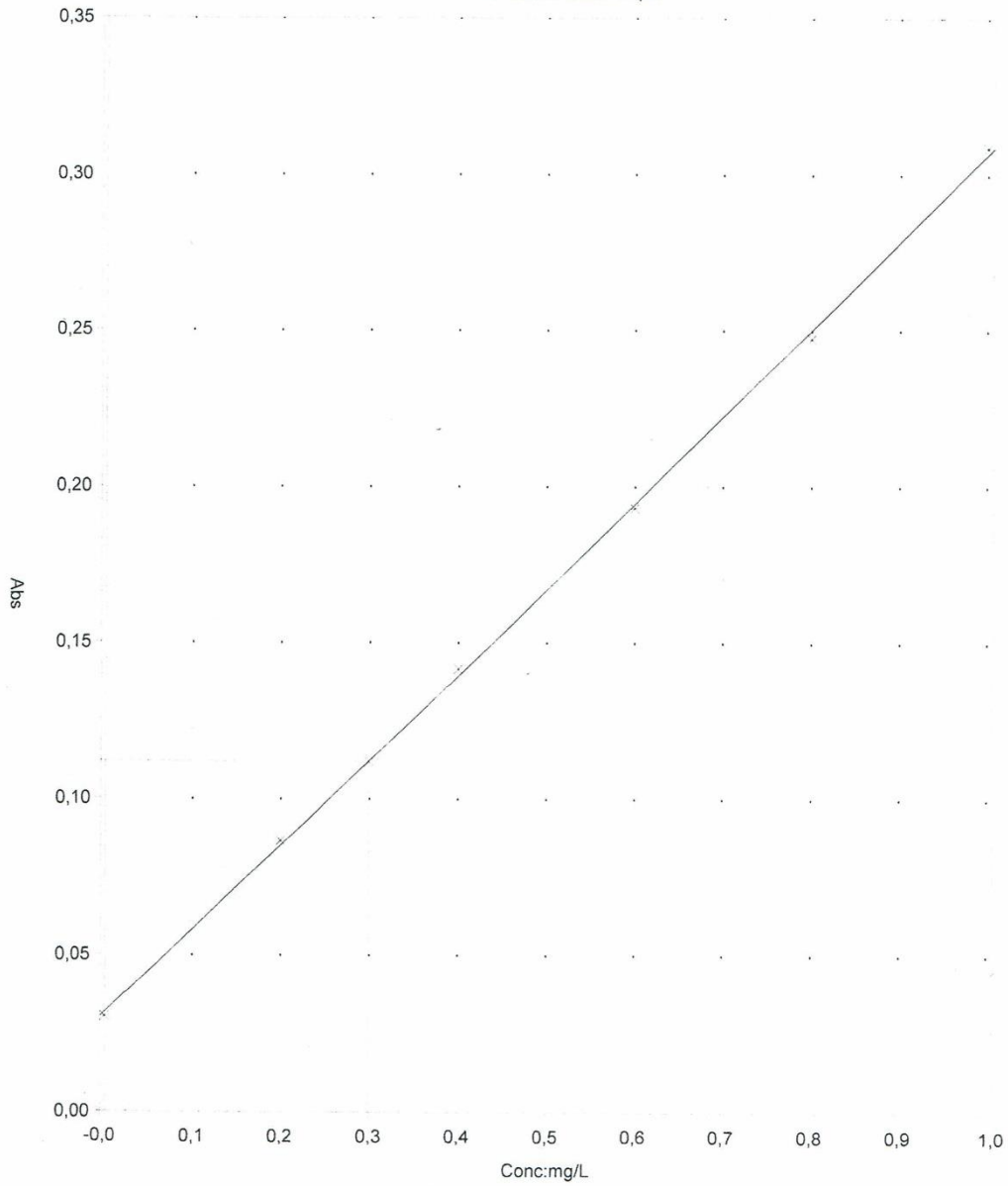
ID Echant	Signal Abs	DSR %	Conc mg/L	Conc Corrigé mg/L
K Blanc	0,030	5,1	0,0000	
K Etalon 1	0,087	1,0	0,2000	
K Etalon 2	0,142	1,1	0,4000	
K Etalon 3	0,193	0,5	0,6000	
K Etalon 4	0,248	0,5	0,8000	
K Etalon 5	0,309	0,5	1,0000	
K F01/1g/250/2/100	0,101	0,4	0,2601	0,2601
K F02/1g/250/2/100	0,096	0,4	0,2423	0,2423
K F03/1g/250/2/100	0,129	0,4	0,3615	0,3615
K F04/1g/250/2/100	0,144	0,1	0,4175	0,4175
K F05/1g/250/2/100	0,112	0,3	0,2989	0,2989

Annexe V:



Etalonnage - K

Normal: Calcul Quadratique



Détails Etalonnage

Conc	Signal
0,0000	0,030
0,2000	0,087
0,4000	0,142
0,6000	0,193
0,8000	0,248
1,0000	0,309

Y = 0,009366x² + 0,26626x + 0,0314
Coefficient de corrélation: 0,9996
Conc Caractéristique: 0,0165

Annexe VI:



Nom Opérateur: lab chimie
Fichier Résultats: C:\SOLAAR\DATA\RESULTS.SLR



Date du Rapport: 16/07/2019 16:35:52

Paramètres Généraux

Méthode : Mg /Fromage fondu
Passeur : Aucun
Utiliser Injection Flux Segmenté: Non

Opérateur : lab.chimie

Mode Instrument: Flamme
Dilution: Aucune

Détails Analyse

Nom Analyse:Mg/Fromage 16/07/2019
Nom Opérateur: lab chimie

Spectromètre: ICE 3000 AA01122606 v1,30

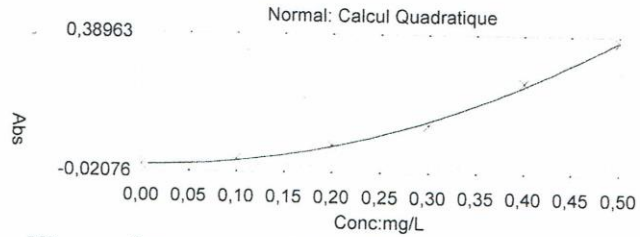
Détails Echantillons

No.	Nom Echantillon
1	F01/1g/250/18/100
2	F02/1g/250/18/100
3	F03/1g/250/18/100
4	F04/1g/250/18/100
5	F05/1g/250/18/100
6	Echantillon 6
7	Echantillon 7
8	Echantillon 8
9	Echantillon 9
10	Echantillon 10

Masse Nominale: 1,0000	Masse Echant.	Facteur Dilution
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000

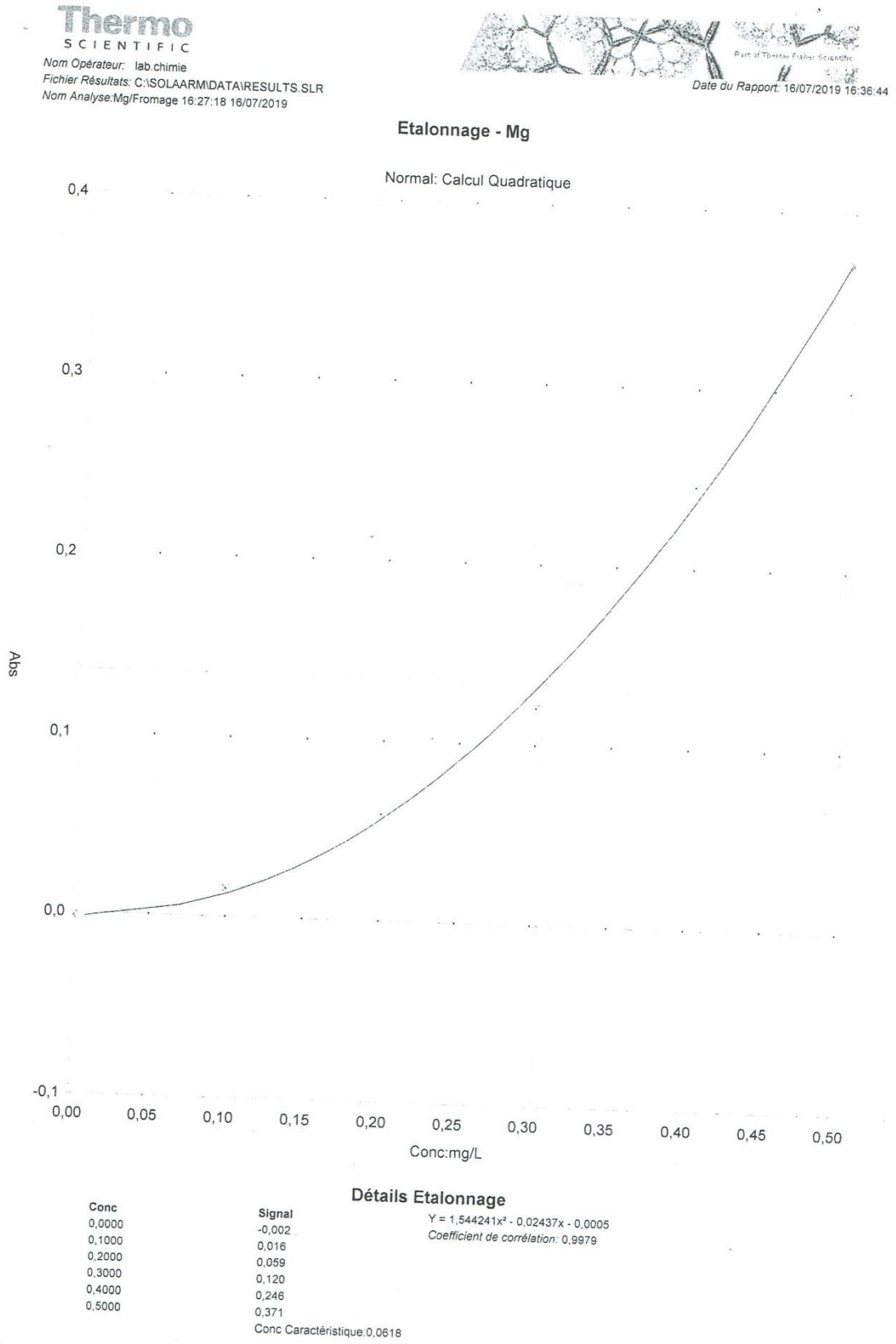
Résultats Echantillons - Mg

$Y = 1,544241x^2 - 0,02437x - 0,0005$
Coefficient de corrélation: 0,9979
Courbure Minimale: 0%
Courbure Maximale: 0%
Conc Caractéristique:0,0618



ID Echant	Signal Abs	DSR %	Conc mg/L	Conc Corrigé mg/L
Mg Blanc	-0,002	3,1	0,0000	
Mg Etalon 1	0,016	0,6	0,1000	
Mg Etalon 2	0,059	1,2	0,2000	
Mg Etalon 3	0,120	1,0	0,3000	
Mg Etalon 4	0,246	0,1	0,4000	
Mg Etalon 5	0,371	0,4	0,5000 X	
Mg F01/1g/250/18/100	0,123	0,6	0,2902	0,2902
Mg F02/1g/250/18/100	0,141	1,3	0,3105	0,3105
Mg F03/1g/250/18/100	0,158	0,2	0,3279	0,3279
Mg F04/1g/250/18/100	0,163	0,4	0,3336	0,3336
Mg F05/1g/250/18/100	0,135	0,7	0,3045	0,3045

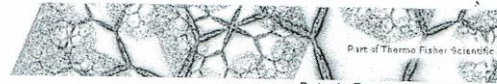
Annexe VII:



Annexe VIII:



Nom Opérateur: msia
Fichier Résultats: C:\SOLAAR\MIDATA\RESULTS.SLR



Date du Rapport: 18/07/2019 12:19:17

Méthode : Fe/ Fromage
Passeur : Aucun
Utiliser Injection Flux Segmenté: Non

Paramètres Généraux

Opérateur : lab.chimie
Mode Instrument: Flamme
Dilution: Aucune

Nom Analyse:Analyse Fe 18/07/2019
Nom Opérateur: lab.chimie

Détails Analyse

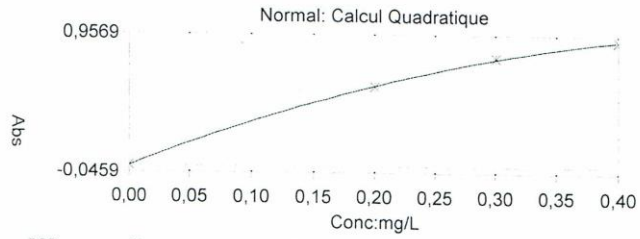
Spectromètre: iCE 3000 AA01122606 v1,30

Détails Echantillons

No.	Nom Echantillon	Masse Nominale: 1,0000	Masse Echant.	Facteur Dilution
1	F01/1/g250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
2	F01/1/g250/2/100	1,0000	1,0000	1,0000
3	F01/1/g250/	1,0000	1,0000	1,0000
4	F02/1/g250	1,0000	1,0000	1,0000
5	F03/1/g250	1,0000	1,0000	1,0000
6	F04/1/g250	1,0000	1,0000	1,0000
7	F05/1/g250	1,0000	1,0000	1,0000
8	Echantillon 8	1,0000	1,0000	1,0000
9	Echantillon 9	1,0000	1,0000	1,0000
10	Echantillon 10	1,0000	1,0000	1,0000

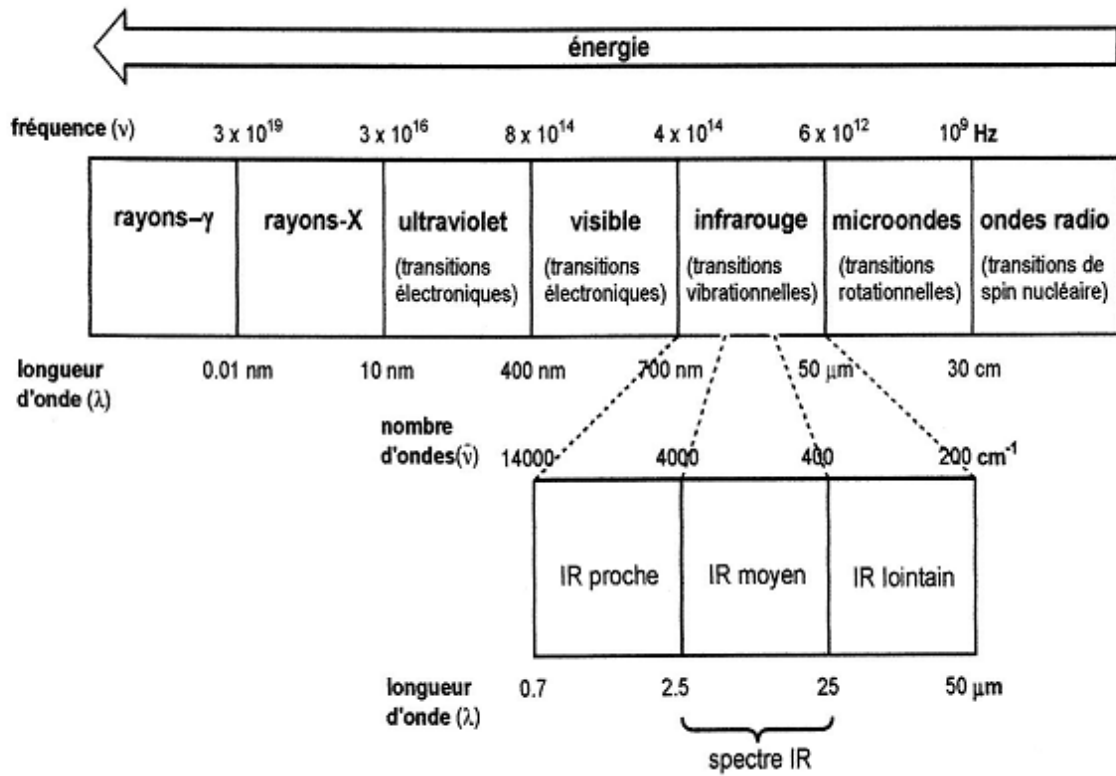
$Y = -3,088044x^2 + 3,52134x - 0,0010$
Coefficient de corrélation: 0,9999
Courbure Minimale: 0%
Courbure Maximale: 0%
Conc Caractéristique:0,0013

Résultats Echantillons - Fe



ID Echant	Signal Abs	DSR %	Conc mg/L	Conc Corrigé mg/L
Fe Blanc	-0,000	97,1	0,0000	
Fe Etalon 1	0,575	0,0	0,2000	
Fe Etalon 2	0,783	0,2	0,3000	
Fe Etalon 3	0,911	0,1	0,4000	
Fe F01/1/g250/2/100	0,911	0,1	0,3979	0,3979
Fe F01/1/g250/2/100	0,001	64,2	0,0005	0,0005
Fe F01/1/g250/	0,008	3,1	0,0025	0,0025
Fe F02/1/g250	0,010	4,2	0,0030	0,0030
Fe F03/1/g250	0,018	1,6	0,0053	0,0053
Fe F04/1/g250	0,013	1,9	0,0039	0,0039
Fe F05/1/g250	0,008	2,3	0,0025	0,0025

Annexe IX



Annexes

Annexe X :

Résultats des analyses statistiques des fromages analysés :

Texture :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	983,256	169	5,818				
VAR.FACTEUR 1	88,055	4	22,014	4,058	0,0038		
VAR.RESIDUELLE 1	895,201	165	5,425			2,329	43,64%

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	F3	6,285	A	
2.0	F2	5,529	A	B
1.0	F1	5,5	A	B
5.0	F5	5,309	A	B
4.0	F4	4,062		B

Flaveur :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	914,07	169	5,409				
VAR.FACTEUR 1	35,975	4	8,994	1,69	0,1533		
VAR.RESIDUELLE 1	878,095	165	5,322			2,307	45,60%

Gout salé :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1656,635	169	9,803				
VAR.FACTEUR 1	923,134	4	230,783	51,914	0		
VAR.RESIDUELLE 1	733,502	165	4,445			2,108	83,43%

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	F2	5,621	A	
1.0	F1	4,709	A	
3.0	F3	2,306		B
5.0	F5	0		C
4.0	F4	0		C

Appréciation Globale :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2202,565	169	13,033				

Annexes

VAR.FACTEUR 1	1260,359	4	315,09	55,179	0		
VAR.RESIDUELLE 1	942,206	165	5,71			2,39	78,29%

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0	F2	6,115	A		
1.0	F1	6,062	A		
3.0	F3	3,085		B	
5.0	F5	0			C
4.0	F4	0			C

Annexes

Annexe IX :

	<u>Huile d'arachide</u>	<u>Huile de Babassu</u>	<u>Huile de coco</u>	<u>Huile de coton</u>	<u>Huile de pépins de raisin</u>	<u>Huile de maïs</u>	<u>Huile de moutarde</u>	<u>Huile de palme</u>	<u>Huile de palmiste</u>
<u>Acide gras</u>									
C6:0	ND	ND	0.0-0.6	ND	ND	ND	)	NS	0.0-0.8
C8:0	ND	2.6-7.3	4.6-9.4	ND	ND	ND	)	NS	2.4-6.2
C10:0	ND	1.2-7.6	5.5-7.8	ND	ND	ND	)0.0-0.5*	NS	2.6-5.0
C12:0	0.0-0.1	40.0-55.0	45.1-50.3	0.0-0.2	0.0-0.5	0.0-0.3	)	0.0-0.4	41.0-55.0
C14:0	0.0-0.1	11.0-27.0	16.8-20.6	0.6-1.0	0.0-0.3	0.0-0.3	0.0-1.0	0.5-2.0	14.0-18.0
C16:0	8.3-14.0	5.2-11.0	7.7-10.2	21.4-26.4	5.5-11	8.6-16.5	0.5-4.5	41.0-47.5	6.5-10.0
C16:1	0.0-0.2	ND	ND	0.0-1.2	0.0-1.2	0.0-0.4	0.0-0.5	0.0-0.6	NS
C17:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NS	NS
C17:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NS	NS
C18:0	1.9-4.4	1.8-7.4	2.3-3.5	2.1-3.3	3.0-6.0	1.0-3.3	0.5-2.0	3.5-6.0	1.3-3.0
C18:1	36.4-67.1	9.0-20.0	5.4-8.1	14.7-21.7	12-28	20.0-42.2	8.0-23	36.0-44.0	12.0-19.0
C18:2	14.0-43.0	1.4-6.6	1.0-2.1	46.7-58.2	58-78	39.4-62.5	10-24	6.5-12.0	1.0-3.5
C18:3	0.0-0.1	ND	0.0-0.2	0.0-0.4	0.0-1.0	0.5-1.5	6.0-18	0.0-0.5)
C20:0	1.1-1.7	ND	0.0-0.2	0.2-0.5	0.0-1.0	0.3-0.6	0.0-1.5	0.0-1.0)
C20:1	0.7-1.7	ND	0.0-0.2	0.0-0.1	ND	0.2-0.4	5.0-13	NS)
C20:2	ND	ND	ND	0.0-0.1	ND	0.0-0.1	0.0-1.0	NS)
C22:0	2.1-4.4	ND	ND	0.0-0.6	0.0-0.3	0.0-0.5	0.2-2.5	NS	) 0.0-0.1*
C22:1	0.0-0.3	ND	ND	0.0-0.3	ND	0.0-0.1	22-50	NS)
C22:2	ND	ND	ND	0.0-0.1	ND	ND	0.0-1.0	NS)
C24:0	1.1-2.2	ND	ND	0.0-0.1	0.0-0.1	0.0-0.4	0.0-0.5	NS)
C24:1	0.0-0.3	ND	ND	ND	ND	ND	0.5-2.5	NS)

ND - non détecté; NS - non spécifié

* valeur totale pour les acides gras indiqués

Résumé :

L'objectif de cette étude est une analyse physicochimique, nutritionnelle, et sensorielle d'une sélection de marques de (fromage fondu/fromage analogue) de date récente, présentes sur le marché algérien. Les résultats obtenus ont montré que : Les caractéristiques physicochimiques (pH, acidité, cendres, extrait sec, humidité), et nutritionnelles (NaCl, lactose, Matière grasse, Protéines, Minéraux) du fromage analogue sont très similaires à celles du fromage fondu. L'analyse sensorielle indique que le fromage analogue (F01) est le plus apprécié par les dégustateurs suivi par les fromages fondus F02, F03, F04, F05, respectivement. Les teneurs en NaCl et en sodium sont très élevées dans tous les échantillons analysés et sont supérieures aux valeurs citées dans plusieurs études. Les teneurs en Lactose sont légèrement supérieures aux normes. Les teneurs en protéines des fromages analysés sont faibles par rapport aux valeurs citées dans plusieurs études. L'absence des composés amyliacés dans toutes les marques analysées. Les fromages analysés sont très riches en Potassium, Calcium, Magnésium, fer. L'analyse par IRTF révèle la présence des acides gras trans dans les fromages F03 et F05. L'analyse chromatographique classe les échantillons analysés en : fromage analogue/spécialité fromagère (F01) et fromage fondu (F02, F03, F04, F05).

Mots clés : Fromage fondu, Fromage analogue, matière grasse, minéraux, analyse sensorielle.

Abstract:

The objective of this study is a physicochemical, nutritional and sensory analysis of a selection of brands of (processed cheese /cheese analogue) of recent date, present on the Algerian market. The results obtained showed that: The physicochemical characteristics (pH, acidity, ash, dry extract, moisture), and nutritional characteristics (NaCl, lactose, fat, proteins, minerals) of the cheese analogue are very similar to those of the processed cheese. The sensory analysis indicates that the cheese analogue (F01) is the most appreciated by the tasters followed by the processed cheeses F02, F03, F04, F05, respectively. The levels of NaCl and sodium are very high in all the samples analyzed and are higher than the values quoted in several studies. The levels of lactose are slightly higher than the standards. The protein content of the cheeses analyzed is low compared to the values quoted in several studies. The absence of starchy compounds in all brands analyzed. The cheeses analyzed are very rich in Potassium, Calcium, Magnesium, and Iron. FTIR analysis reveals the presence of Trans fatty acids in F03 and F05 cheeses. The chromatographic analysis classifies the analyzed samples into: cheese analogue/ cheese specialty (F01) and processed cheese (F02, F03, F04, and F05).

Key words: Processed cheese, Cheese analogue, fat, minerals, Sensory analysis.