

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement supérieur et de la  
Recherche scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la  
Vie  
Département : Microbiologie Appliquée et  
Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم: الميكروبيولوجيا التطبيقية  
وعلوم التغذية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

**Analyses physico-chimiques du fromage "TAMGOUT" au  
cours d'affinage**

Membres de Jury

Présidente : Dr. AIT-MEDDOUR A.

Examineur : Mr. RAHMOUNE Y.

Encadreur : Dr. LAGGOUNE S.

Présenté par :

M<sup>elle</sup> BOUKERB halima

M<sup>elle</sup> BOUDADI manel

Année universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....

## *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, la force, la santé et la persistance et nous a permis de finaliser ce travail dans les meilleures conditions.*

*Nous tenons également à remercier notre encadreur **Dr. Laggoune souheila** de nous avoir guidé et encouragé pendant toute la durée de notre travail.*

*Nos remerciements et notre profond respect aux membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer et de juger ce travail, Présidente : **Dr. Ait Meddour Amel** et Examineur : **Mr Rahmoune Yazid**.*

*Nous remercions **M<sup>me</sup> Hmamma**, La responsable général du laboratoire d'analyse au niveau de l'unité « **IGILAIT** » pour son aide et ses conseils.*

*Nos plus vifs remerciements s'adressent au personnel du laboratoire de contrôle de qualité de l'Université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel ; en particulier **Asma, Badra, El mekhtar**.*

*Nous remercions infiniment toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**MERCI...**

## *Dédicace*

*À l'aide d'Allah le tout puissant, nous avons pu réaliser ce travail.*

*Aux*

*Les personnes plus chères dans ce monde « **Mes parents** » pour leurs sacrifices et leurs soutiens entrepris afin de me voir réussir. Je les remercie pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué, pour leur présence permanente et leur disponibilité tout au long de ma vie.*

*À*

*Mes chers frères : **Hocine, Djamel, Hassen, Mahmoud et Hichem.***

*Et à toute ma famille.*

*À*

*Mon binôme et amie **Manel** qui a partagé avec moi les moments heureux et les moments difficiles.*

*À*

*Tous ceux que j'aime dans ce monde.*

***HALIMA***

## *Dédicace*

*À l'aide d'Allah le tout puissant, nous avons pu réaliser ce travail que je dédie aux personnes plus chères dans ce monde « **mes parents** », qui m'ont soutenu et qui m'ont toujours encouragé tout au long de mes études,*

*À mes sœurs : **Saraa** et **Israa** et à mon frère : **Ziad**, que Dieu vous garde.*

*À ma chère tante **Saliha***

*Et à toute **ma famille**.*

*À mon binôme **Halima** qui a partagé avec moi les moments heureux et les moments difficiles.*

*À tous mes collègues de la promotion ACQ2020/2021*

*À mes enseignants et mes amis.*

*À tous ceux que j'aime dans ce monde.*

*Je dédie ce travail ...*

*Manel*

	<b>Page</b>
Liste des abréviations	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
<b>Introduction</b> .....	<b>01</b>
<b>Synthèse bibliographique</b>	
<b>I. Lait et technologie fromagère</b>	
<b>I.1. Lait</b>	
I.1.1. Définition .....	03
I.1.2. Composition .....	03
I.1.3. Propriétés physico-chimiques .....	04
I.1.3.1. pH et l'acidité .....	04
I.1.3.2. Densité et la masse volumique .....	05
I.1.3.3. Point de congélation .....	05
I.1.3.4. Point d'ébullition .....	05
I.1.4. Facteurs influençant la composition du lait .....	05
<b>I.2. Fromage</b>	
I.2.1. Définition .....	06
I.2.2. Aspects nutritionnels .....	06
I.2.3. Classification .....	06
I.2.3.1. Fromages frais .....	06
I.2.3.2. Fromages affinés .....	06
I.2.4. Technologie de la production .....	07
I.2.4.1. Standardisation physico-chimique et microbiologique du lait .....	08
I.2.4.2. Coagulation .....	08
I.2.4.3. Égouttage .....	09
I.2.4.4. Salage .....	09
I.2.4.5. Affinage .....	10
I.2.4.6. Défauts liés à l'affinage .....	13
<b>II. Matériel et méthodes</b>	
<b>II.1. Matériel</b>	
II.1.1. Présentation de l'unité FAFI .....	15
II.1.2. Échantillonnage .....	16
<b>II.2. Analyses physico-chimiques</b>	
II.2.1. Détermination du pH et l'acidité titrable .....	17
II.2.1.1. Détermination du pH .....	17
II.2.1.2. Détermination de l'acidité titrable .....	17
II.2.2. Détermination de la teneur totale en matière sèche .....	18
II.2.3. Détermination de la matière minérale .....	18
II.2.4. Détermination du taux d'humidité .....	18

II.2.5. Détermination de la matière organique .....	19
II.2.6. Détermination de la teneur en matière grasse .....	19
II.2.7. Détermination de la teneur en protéine .....	20
II.2.8. Détermination de la teneur en acide gras par GC-MS .....	21
II.3. Analyses statistiques .....	22

**III. Résultats et discussion**

III.1. pH .....	23
III.2. Acidité titrable .....	25
III.3. Teneur en matière sèche .....	26
III.4. Matière minérale .....	26
III.5. L'Humidité .....	27
III.6. Teneur en matière organique .....	28
III.7. Matière grasse .....	28
III.8. Protéines .....	30
III.9. Résultats de l'analyse qualitative de la composition en acides gras par GC-MS .....	31

<b>Conclusion</b> .....	33
-------------------------	----

<b>Références bibliographiques</b> .....	34
--	----

**Annexes**

**AG** : Acide Gras  
**AGI** : Acide Gras Insaturé  
**AGL** : Acide Gras Libre  
**AGS** : Acide Gras Saturé  
**AOAC**: Association of Official Agricultural Chemists  
**AFNOR** : Association Française de Normalisation  
**°D** : Degré Dornic  
**FAFI** : Fromagerie Artisanale Fatma Ibersiene  
**GC/MS** : Chromatographie en phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse  
**HR** : Humidité Relative  
**JORA** : Journal Officiel République Algérienne  
**LPL** : Lipoprotéine Lipase  
**N** : Normalité  
**NT** : Azote Total  
**C<sub>4</sub>** : Acide butyrique  
**C<sub>6</sub>** : Acide caproïque  
**C<sub>8</sub>** : Acide caprylique  
**C<sub>10</sub>** : Acide caprique  
**C<sub>12</sub>** : Acide laurique  
**C<sub>14</sub>** : Acide myristique  
**C<sub>16</sub>** : Acide palmitique  
**C<sub>18</sub>** : Acide stéarique  
**C<sub>18:1</sub>** : Acide oléique  
**C<sub>18:2</sub>** : Acide linoléique

	<b>Page</b>
<b>Tableau 01</b> : Composition moyenne des laits de différentes espèces animales .....	04



	<b>Page</b>
<b>Figure 01</b> : Base de la technologie fromagère .....	07
<b>Figure 02</b> : Principales voies biochimiques conduisant à la production de composés aromatiques au cours d’affinage des fromages.....	10
<b>Figure 03</b> : Localisation de la fromagerie « FAFI» sur Google Maps .....	15
<b>Figure 04</b> : Diagramme de fabrication du fromage « TAMGOUT » .....	16
<b>Figure 05</b> : Butyromètre et centrifugeuse de séparation de la matière grasse .....	19
<b>Figure 06</b> : Dispositif de Kjeldahl .....	21
<b>Figure 07</b> : Evolution du pH du fromage au cours d’affinage.....	23
<b>Figure 08</b> : Evolution de l’acidité du fromage au cours d’affinage.....	24
<b>Figure 09</b> : Evolution de la matière sèche du fromage au cours d’affinage .....	25
<b>Figure10</b> : Evolution de la matière minérale du fromage au cours d’affinage .....	26
<b>Figure 11</b> : Evolution d’humidité du fromage au cours d’affinage .....	27
<b>Figure 12</b> : Evolution de la matière organique du fromage au cours d’affinage .....	28
<b>Figure 13</b> : Evolution de la matière grasse du fromage au cours d’affinage .....	28
<b>Figure 14</b> : Evolution des protéines du fromage au cours d’affinage.....	30

# *Introduction*

---

Actuellement, l'industrie agro-alimentaire occupe une place importante dans le monde. Le consommateur recherche des aliments sains. Le lait et les produits laitiers occupent une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens (**Deghnouche et al., 2019**).

L'Algérie est considérée comme l'un des grands pays consommateurs en ce qui concerne lait et dérivés et cela est dû aux traditions alimentaires, à la valeur nutritive du lait, à sa substitution aux viandes relativement chères et au soutien de l'Etat. La production laitière en Algérie régulièrement croissante depuis les années 80 est très faiblement intégrée à la production industrielle des laits et dérivés (**Derouiche et al., 2017**).

Le lait est considéré comme un aliment de grande valeur nutritionnelle (complet), mais périssable. Cherchant à le rendre plus ou moins conservable, l'homme est arrivé à découvrir que la transformation du lait en fromage est un moyen simple de garder les composants nutritifs du lait (**Leksir et Chemmam., 2015**).

Les fromages sont des aliments à base de lait largement produits et consommés dans le monde entier. La production mondiale de fromage est de  $23 \times 10^6$  tonnes par année, ce qui représente des centaines de variétés et environ 35 % du lait total (**Fox et Guinee., 2020**).

La production du fromage est l'une des formes les plus courantes de valorisation de la production laitière, qui ajoute de la valeur et préserve le lait. Différents types de fromages produits à partir de lait cru et pasteurisé sont connus dans le monde entier (**Tadjine et al., 2019**).

La grande acceptabilité des fromages par les consommateurs peut être attribuée à leurs caractéristiques sensorielles agréables, à leurs bonnes propriétés nutritionnelles (**Possas et al., 2021**). Par conséquent, il est très important d'évaluer les propriétés du fromage, c'est-à-dire les caractéristiques microbiologiques et physicochimiques du produit final, qui contribuent à la qualité de cet aliment laitier (**El-bakry et Sheehan., 2014**).

Notre étude est sur le fromage «**TAMGOUT**», ce dernier est fabriqué à **Tizi-Ouzou**, essentiellement dans la région rurale **Aghrib** à l'unité «**FAFI**» à partir du lait de vache ; mais il reste inconnu. Aucune étude n'a été réalisée sur ce fromage, et aucune donnée sur ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques n'est disponible.

L'objectif principal de notre travail est de contrôler les paramètres physicochimiques du fromage affiné «**TAMGOUT**» ; afin de mieux cerner le rôle de la phase d'affinage dans la maturation des fromages.

Pour ce faire, notre travail s'est articulé autour de trois parties :

- ✓ La première partie consiste en une synthèse bibliographique dans laquelle nous aborderons une généralité sur le lait et tout ce qui concerne le fromage et plus de détails sur la phase d'affinage.
- ✓ La deuxième partie est consacrée à la méthodologie adoptée pour réaliser la partie expérimentale.

- ✓ Les résultats et discussion sont présentés dans la troisième partie et on terminera par une conclusion qui complètera notre manuscrit.

*Lait et  
Technologie  
Fromagère*

---

## I.1. Lait

### I.1.1. Définition

La première définition du lait est apparue en 1908, au Congrès international de la Répression des Fraudes de Paris. Le mot « lait » a été défini comme : « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum » (Noblet, 2012).

Selon Vilain, (2010), le lait est un aliment de couleur blanchâtre produit par les cellules sécrétrices des glandes mammaires des mammifères femelles. Le lait sécrété dans les premiers jours après la parturition s'appelle le colostrum. Quelle que soit l'espèce, la fonction première du lait est de nourrir la progéniture jusqu'à ce qu'elle soit sevrée. Selon les espèces, la lactation dure plus ou moins longtemps, pour les vaches, la lactation dure dix mois. Elle est entretenue par la tétée du veau ou la traite. Selon les races, elle peut atteindre à certaines périodes plus de 30 litres par jour. Dans la plupart des civilisations humaines, le lait des animaux domestiques (vache, brebis, chèvre...) est couramment consommé, mais l'industrialisation concerne principalement le lait de vache, et à plus petite échelle, le lait de brebis et de chèvre.

### I.1.2. Composition

Quelle que soit l'origine, les laits sont constitués de trois phases ; une phase aqueuse dispersante contenant des glucides dont essentiellement du lactose, des protéines solubles, des minéraux et vitamines. Une phase lipidique se forme globulaire ; une fraction protéique et minérale à l'état colloïdal.

- ✓ **Eau** : est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire (Amiot et al., 2002).
- ✓ **Glucides** : le lactose est le principal carbohydrate du lait de la plupart des mammifères (Fox et al., 2015).
- ✓ **Matière grasse** : est généralement considérée comme ayant une composition complexe. Les triglycérides sont dominants et constituent environ 98% de la matière grasse du lait, ainsi que de petites quantités de di- et mono glycéride et d'acides gras libres (Varnam et Sutherland., 2001).  
La matière grasse laitière est résistante à l'oxydation grâce à la présence naturelle d'antioxydants et d'acides gras saturés. Cependant, l'oxydation de la matière grasse laitière peut être induite par la présence des métaux lourds par exemple (le cuivre) ou suite à l'exposition à la lumière (Renhe et al., 2019).
- ✓ **Protéines** : ce dernière du lait sont présentés en deux formes principales, les protéines micellaires (75-85%), qui sont des caséines associées à du calcium, du phosphate et du citrate et les protéines du sérum ou du petit-lait (15-22%). La composition en pourcentage de la fraction caséine est la suivante :  $\alpha$ S1-caséine (39-46%) ;  $\alpha$ S2-caséine (8-11%) ;  $\beta$ -caséine (25-35%) ;  $\kappa$ -caséine (8-15%) et  $\gamma$ -caséine (3-7%). La composition

en pourcentage de la fraction de protéines de lactosérum est la  $\beta$ -lactoglobuline (7-12%) ;  $\alpha$ -lactoglobuline (2-5%) ; albumine sérique (0.7-1.3%) ; et immunoglobulines (1.9-3.3%) (Jain *et al.*, 2020).

- ✓ **Vitamines** : sont des composés bioactifs vitaux du lait, selon Vignola, (2002), les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires.
- ✓ **Oligo-éléments** : ont également des rôles technologiques. Lors de l'augmentation de la température, le Fe et le Cu forment un complexe sur la membrane du globule gras et augmentent l'oxydation de la matière grasse (Renhe *et al.*, 2019).
- ✓ **Enzymes** : les principales enzymes présentes dans le lait sont des enzymes digestives (protéinases, lipases, amylases et phosphatases) et des enzymes antioxydantes et antimicrobiennes (catalase, ribonucléase...) (Fox *et al.*, 2015).

La composition du lait est illustrée dans le tableau 01.

**Tableau 01** : Compositions moyennes des laits de différentes espèces animales (Vignola, 2002).

Animaux	Eau(%)	Matière grasse (%)	Protéine (%)	Glucide (%)	Minéraux (%)
Vache	87.5	3.7	3.2	4.6	0.8
chèvre	87.0	3.8	2.9	4.4	0.9
Brebis	81.5	7.4	5.3	4.8	1.0
Chamelle	87.6	5.4	3.0	3.3	0.7
Jument	88.9	1.9	2.5	6.2	0.5

### I.1.3. Propriétés physico-chimiques

La connaissance des propriétés physicochimiques du lait revêt une importance incontestable, car elle permet de mieux évaluer la qualité de la matière première et de prévoir les traitements et opérations technologiques adaptés (El Marnissi *et al.*, 2013).

#### I.1.3.1. pH et l'acidité

Un lait de vache frais a un pH de l'ordre de 6.7. S'il y a une action des bactéries lactiques, une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium ( $H_3O^+$ ) et donc une diminution du pH (Kouamé-Sina *et al.*, 2010).

L'acidité renseigne précisément sur l'état de fraîcheur du lait, fraîchement tiré est généralement d'environ 0.14% sous forme d'acide lactique. Lors du stockage, l'acidité augmente sous l'action des micro-organismes (Jain *et al.*, 2020).

### I.1.3.2. Densité et la masse volumique

La densité oscille entre 1.028 et 1.034. Elle doit être supérieure ou égale à 1.028 à 20°C. La densité des laits de grand mélange des laiteries est de 1.032 à 20°C. La densité du lait varie selon le taux de matière sèche et le taux de matière grasse, elle diminue avec l'augmentation de matière grasse (**Vierling, 2008**).

La masse volumique est le quotient de la masse d'un certain volume de lait à 20°C par ce volume ; elle s'exprime en g/ml (**Mathieu, 1998**).

### I.1.3.3. Point de congélation

Le point de congélation du lait peut varier de -0.530°C à -0.575°C avec une moyenne de -0.555°C. Un point de congélation supérieur à -0.530°C permet de soupçonner une addition d'eau au lait. On vérifie le point de congélation du lait à l'aide d'un cryoscope (**Amiot et al., 2002**).

### I.1.3.4. Point d'ébullition

D'après **Amoit et al., (2002)**, on définit le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100.5°C.

## I.1.4. Facteurs influençant la composition du lait

Les caractéristiques et la composition du lait sont variables car elles dépendent de nombreux facteurs inhérents au type de mammifère (espèce, race); la composition du lait varie entre les différentes races laitières et entre les individus de même race et aussi il y a d'autres facteurs qui peuvent avoir des effets importants sur la composition du lait comme le stade de lactation; au cours de cette période les teneurs en protéines et en matières grasses évoluent de façon inverse à la quantité du lait produit. Elles diminuent en début de lactation pour atteindre un minimum au bout d'environ 6 semaines, puis remontent progressivement jusqu'en fin de lactation (**Mathieu, 1998**).

Selon **Martin et al., (2009)**, la qualité du lait est pratiquement indépendante du niveau d'alimentation (nombre de repas, mélange des aliments). La saison aussi influence sur la composition du lait ; le taux butyreux passe par un minimum en Juin-Juillet et par un maximum à la fin de l'automne, la teneur en protéine passe par deux minimums : un à la fin de l'hiver et l'autre au milieu de l'été et par deux maximum : à la mise en herbe et l'autre à la fin de la période de pâturage (**Debry, 2001**).



## I.2. Fromage

### I.2.1. Définition

Le fromage, selon la norme **Codex Alimentarius, (2000)**, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans laquelle le rapport protéines de lactosérum/caséines ne dépasse pas celui du lait et qui est obtenu: par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation et/ou par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques correspondant à la définition précédente.

### I.2.2. Aspects nutritionnels

Le fromage est un aliment laitier nutritif et varié. Une grande variété de types de fromages est disponible pour répondre aux besoins spécifiques des consommateurs et permettre une utilisation pratique. Certains chercheurs en nutrition ont mis l'accent sur le rôle du fromage dans l'alimentation et la santé. Le fromage contient une concentration élevée d'éléments nutritifs essentiels comme la matière grasse, les protéines d'excellente qualité, les vitamines et les minéraux, les fromages ; surtout ceux à pâte ferme et dure, contiennent une grande quantité de calcium (**Walther et al., 2008; O'Brien et O'Connor., 2017**).

Sa teneur en nutriments est influencée par le type de lait utilisé (espèce, stade de lactation, gras entier, faible en gras, écrémé), le mode de fabrication et le degré d'affinage. (**O'Brien et O'Connor., 2017**).

### I.2.3. Classification

Il n'existe pas de liste définitive des variétés de fromages. Différents systèmes de classification ont été proposés pour les variétés de fromages du monde entier en fonction de l'espèce du lait (vache, chèvre, brebis...), de la technologie de fabrication, le mode d'affinage, la méthode utilisée pour coaguler le lait, la teneur en eau (fromage à pâte dure (35 à 50% d'eau), à pâte molle (50 à 55% d'eau)), en particulier les groupes à pâte dure et à pâte molle, ont été divisés en fonction de la microflore de surface, des veines bleues et de la formation d'un "œil", puis les a divisés en fonction des températures d'échaudage (cuite, non cuite) (**McSweeney, 2007 ; Fox et al., 2015**).

#### I.2.3.1. Fromages frais

Les fromages frais sont coagulés à l'acide ou une combinaison d'acide et de chaleur et qui sont prêts à la consommation peu de temps après fabrication. Le fromage frais a un taux d'humidité élevée (70% à 75%) (**Fox et al., 2015 ; Kindstedt, 2014**). Le groupe « Fromages frais » comprend les fromages blancs et petit-suisse (**Charby et al., 2017**).

#### I.2.3.2. Fromages affinés

Le fromage affiné est un fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qui doit être maintenu pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage (**Codex Alimentarius, 2000**).

### A. Fromage à pâte molle

Ce sont des fromages obtenus principalement par coagulation présure, et aucune activité de pressage n'est impliquée dans ce type de fromage. Leur humidité est moyenne de 50 à 55% (Almena-Aliste et Mietton., 2014).

- Fromages à pâte molle à croûte lavée ;
- Fromages à pâte molle à croûte moisie (à croûte fleurie) ;
- Fromages à pâte molle persillées (à moisissures internes) ;

### B. Fromage à pâte dur

Ces variétés ont généralement une teneur en humidité de 35 à 50% et sont soumises à une pression élevée pendant la fabrication pour obtenir une texture dure, uniforme et serrée (Fox et al., 2017).

- Fromages à pâte pressée cuite avec ouverture ;
- Fromages à pâte pressée cuite sans ouverture ;
- Fromages à pâte pressée non cuite à croûte lavée ;
- Fromages à pâte pressée non cuite à croûte moisie ;
- Fromages à pâte pressée non cuite à moisissures internes (Almena-Aliste et Mietton., 2014).

#### I.2.4. Technologie de production

La fabrication du fromage est une forme de conservation des aliments dans laquelle les protéines du lait (caséine) et les matières grasses sont concentrées environ dix fois et le sucre du lait (lactose) est fermenté en acide lactique par des bactéries lactiques.

La propriété de conservation résulte des effets combinés de l'acidification, de la déshydratation et de l'ajout de sel. La transformation du lait en fromage implique plusieurs opérations interdépendantes, à savoir la coagulation, l'égouttage du caillé, salage et l'affinage du fromage (Stanley, 1998). Le procédé général de la fabrication fromagère est illustré dans la figure 01.

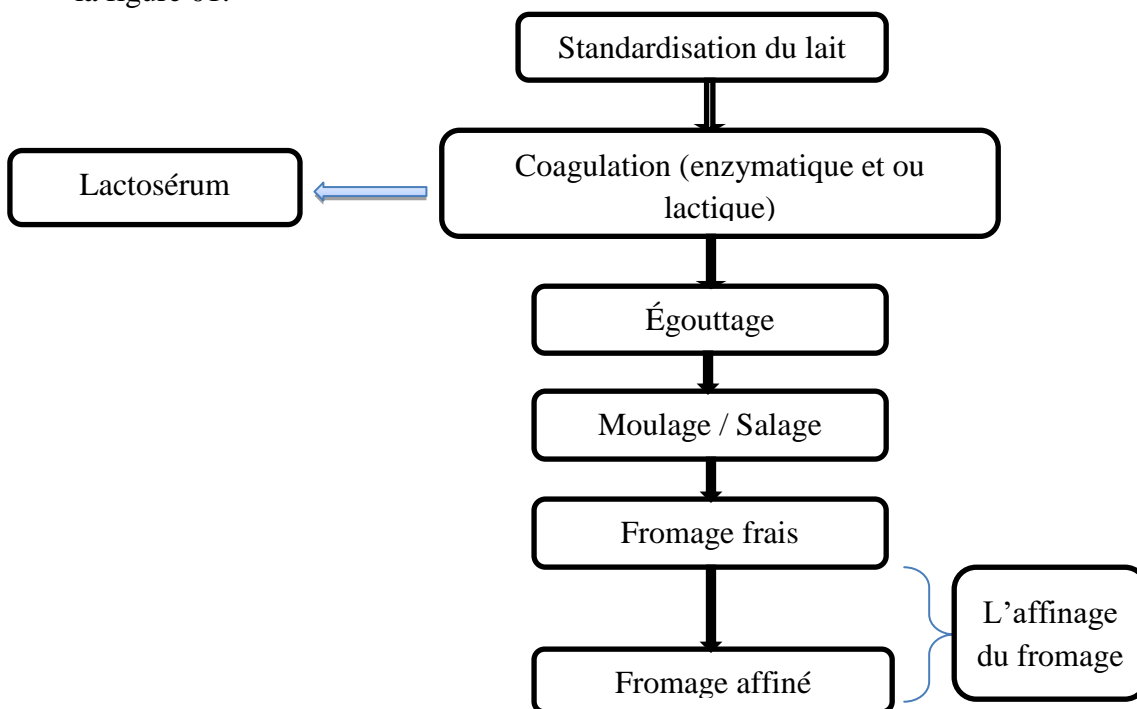


Figure 01 : Base de la technologie fromagère (Fox et al., 2015).

#### I.2.4.1. Standardisation physico-chimique et microbiologique du lait

La qualité du lait de fromagerie peut être définie comme l'aptitude à donner un bon fromage dans des conditions normales de travail avec un rendement satisfaisant.

**A. Standardisation physico-chimique :** les « standards » définis par les technologues concernent la composition et les caractéristiques physico-chimiques du lait à mettre en œuvre matières azotées protéiques, matière grasse, équilibre minéral, pH, lactose (**Dahou, 2017**).

**B. Standardisation microbiologique :** les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel dans les différentes étapes de la transformation du lait en fromage. Par la production d'acide lactique, elles abaissent le pH et contribuent avec les enzymes coagulantes à modifier les caractéristiques physico-chimiques du milieu et contribuent à la texture particulière de chaque type de fromage. Elles préparent les conditions de développement des ferments d'affinage (moisissures, levures, ferments propioniques, etc.). Par leurs activités aromatiques et protéolytiques, elles participent à l'affinage des fromages et déterminent leurs caractéristiques organoleptiques (**Dahou, 2017**).

#### I.2.4.2. Coagulation

L'étape caractéristique essentielle de la fabrication de toutes les variétés de fromages est la coagulation de la caséine, composant du système protéique du lait, pour former un gel, qui emprisonne la matière grasse, si elle est présente. La coagulation peut être obtenue par l'acide, l'enzyme ou par combinaison (l'acide et l'enzyme) (**Fox et McSweeney., 2017**).

**A. Coagulation acide :** La coagulation acide est provoquée par le ferment lactique qui transforme le lactose en acide lactique. Lorsqu'il y a production d'acide lactique, le pH du lait de fromagerie diminue, les résidus acides libres fixent des protons ce qui provoque une solubilisation du phosphate de calcium colloïdal.

Lorsque le point isoélectrique des caséines est atteint (pH = 4.65), la totalité du phosphate de calcium est dissoute et les micelles sont complètement déstructurées. La charge nette des micelles est pratiquement nulle et les répulsions électrostatiques sont inexistantes. Les protéines déminéralisées sont totalement dénaturées (**Khoualdi, 2017**).

**B. Coagulation enzymatique :** permet de transformer le lait liquide en gel par l'action d'enzymes protéolytiques. La présure de veau est le coagulant traditionnellement utilisé pour la coagulation du lait. Le terme "présure" est donné au coagulant extrait de la caillette des jeunes ruminants abattus avant le sevrage. Elle contient deux fractions actives : la chymosine (95% de l'activité enzymatique) et la pepsine. L'extraction de la présure s'effectue par la macération de la caillette, qui est coupée en tranches et laissée dans une solution saline pendant plusieurs jours à un pH de 5.0-5.5 (**Troch et al., 2017**).

On distingue 3 phases :

- ✓ Phase primaire ou enzymatique ;
- ✓ Phase secondaire ou d'agrégation des micelles déstabilisées ;
- ✓ Phase tertiaire ou phase de réticulation (**Robinson, 2005**).

**C. Coagulation mixte :** elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différents états d'équilibres spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâte molle et à pâte pressée non cuite (**Mahaut et al., 2000**).

#### I.2.4.3. Égouttage

L'égouttage, ou déshydratation du caillé, permet la concentration des éléments du lait. À ce stade, le caillé se sépare du lactosérum, par le phénomène de synérèse (**Kongo et Malcata., 2016**). Grâce à la présence de présure, à l'acidité et à la température, le coagulum se contracte en éjectant le lactosérum (**Guetouache et al., 2014**).

#### I.2.4.4. Salage

Le traitement de salage est une opération importante dans la fabrication du fromage ; le sel utilisé est le chlorure de sodium (NaCl). Il s'effectue de différentes façons, en saupoudrant le caillé de sel, en l'immergeant dans la saumure ou encore en le frottant avec un chiffon salé. Le contrôle de la teneur en NaCl est très important pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques du fromage (**Velázquez-Varela et al., 2018**).

Le sel joue un rôle principal dans la maturation, où il contrôle l'activité de l'eau, la croissance et l'activité microbienne, l'activité enzymatique et les changements physiques dans les protéines du fromage qui influencent la texture et la solubilité par le biais de changements possibles dans la conformation des protéines (**Guinee et Fox., 2017**).

#### I.2.4.5. Affinage

L'affinage est un processus technologique crucial dans la fabrication du fromage. Constituant une cascade d'événements biochimiques et microbiologiques, médiée par le flux métabolique des cultures primaires et auxiliaires. Ce processus doit être étudié de manière approfondie afin de produire des produits fromagers de qualité améliorée et constante, avec un coût minimal et une acceptation maximale par les consommateurs. La qualité organoleptique du fromage est déterminée par des changements complexes qui se produisent pendant la maturation (**Khatab et al., 2019**).

L'affinage est une étape au cours de laquelle le fromage développe sa texture, sa saveur et ses arômes qui varient en fonction de la composition du ferment, du pH de la pâte fromagère, de la composition du fromage (humidité, protéines, gras et minéraux) et des conditions de maturation (température et humidité relative) (**Bintsis et Papademas., 2017**).

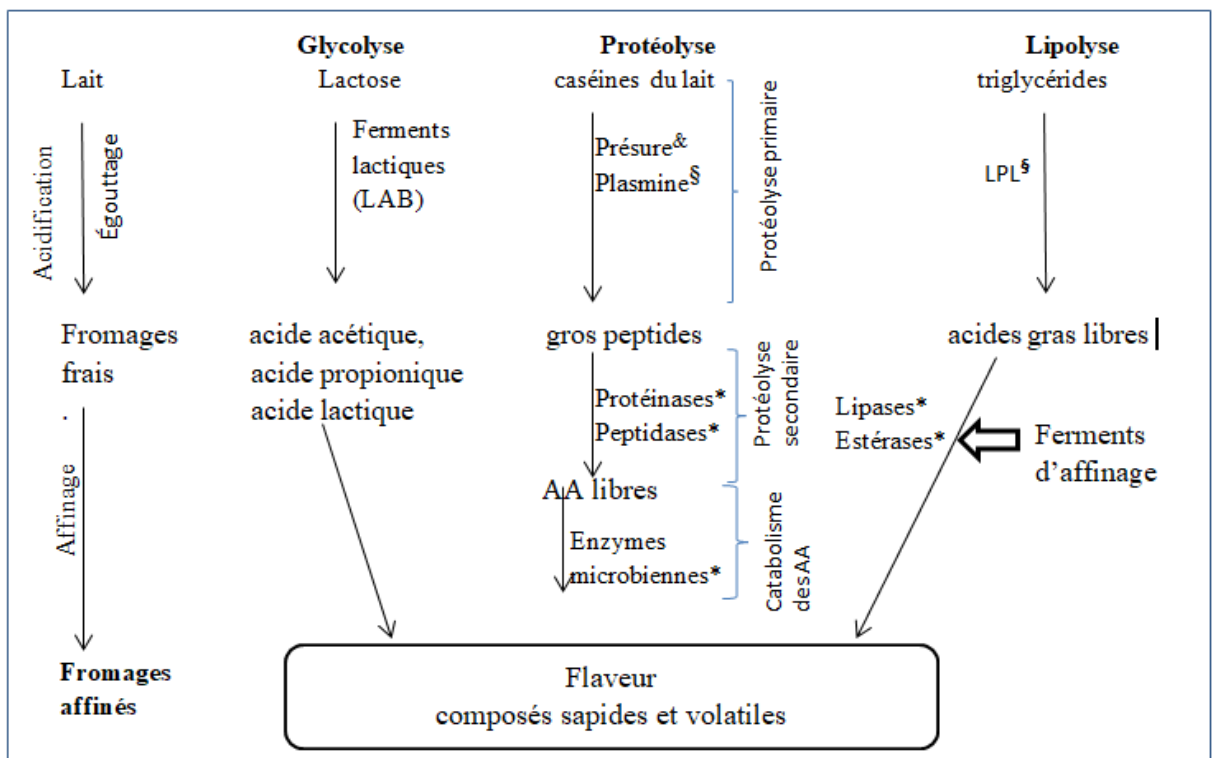
Les changements biochimiques qui se produisent au cours de la maturation sont regroupés en événements primaires, notamment la glycolyse, la lipolyse et la protéolyse, suivis de changements biochimiques secondaires tels que le métabolisme des acides gras et des acides aminés, qui sont importants pour la production de certain nombre de composés nécessaires au développement de l'arôme (**Murtaza et al., 2014**).

La plupart des variétés de fromage subissent une période de maturation qui varie de 2 semaines à 2 ans (**Fox et McSweeney., 2017**).

L'affinage est en fait la résultante de trois principales actions biochimiques qui se déroulent simultanément à savoir :

- ✓ la dégradation des protéines ;
- ✓ l'hydrolyse de la matière grasse ;
- ✓ la fermentation du lactose (Fox et al., 2017).

**A. Biochimie de l'affinage :** les fromages sont consommés et appréciés dans le monde entier pour leurs caractéristiques nutritionnelles et sensorielles. L'odeur et l'arôme agréables des fromages dépendent de plusieurs facteurs et principalement des processus de fabrication et d'affinage. Dans la littérature, il est bien connu que la génération de composés volatils et de précurseurs d'arôme dans les fromages pendant la maturation est principalement due à des mécanismes biochimiques ; protéolyse, glycolyse et lipolyse (Figure 02) (Aissaoui zitoun et al., 2016).



**Figure 02 :** Principales voies biochimiques conduisant à la production de composés aromatiques au cours d'affinage des fromages. AA: acides aminés ; LPL: lipoprotéine lipase ; &enzymes ajoutées dans le lait ; §enzymes présent naturellement dans le lait ; \*enzymes microbiennes (McSweeney et Sousa., 2000).

**1. Protéolyse :** la protéolyse est considérée comme l'un des processus biochimiques les plus importants impliqués dans la fabrication de nombreux produits laitiers fermentés. De plus, les enzymes protéolytiques ou peptidolytiques des bactéries lactiques contribuent aux propriétés sensorielles des produits laitiers finaux (Medjoudj et al., 2016).

C'est le phénomène le plus important de la phase d'affinage car il permet d'affecter indirectement la texture par une augmentation du pH suite à la production de  $\text{NH}_3$  qui a lieu après le catabolisme des acides aminés. Le rôle majeur de la protéolyse dans les fromages est la production d'acides aminés qui sont des précurseurs pour une multitude de réactions cataboliques qui aboutissent à une grande variété de composés volatils (alcools, aldéhydes,

acides ramifiés, esters, composés soufrés, phénols, ...) responsables de la typicité des fromages (**Boullouf, 2016**).

**2. Glycolyse :** le phénomène de glycolyse se caractérise principalement par la dégradation du lactose, le principal sucre présent dans le lait. En fonction des starters et des voies de fermentation, le lactose est dégradé en petits acides organiques tels que l'acide lactique, l'acide propionique, l'acide citrique et l'acide acétique, ce qui détermine le pH. La valeur du pH du fromage influence toutes les réactions biochimiques d'origine enzymatique dans les matrices laitières ainsi que les propriétés de saveur et de texture du fromage. D'autres sucres, également présents dans le lait, à savoir le galactose, le glucose et le saccharose, sont également utilisés comme substrats de fermentation par glycolyse (**Freitas et al., 2013**).

**3. Lipolyse :** la lipolyse est un événement biochimique important au cours de l'affinage des fromages, l'hydrolyse enzymatique (lipolyse) des triglycérides en acides gras libres (AGL) et en glycérol, mono- ou di-glycérides est considérée comme essentielle pour le développement de l'arôme dans le fromage. Comme ils sont hydrophobes, les lipides sont d'excellents vecteurs de composés aromatiques, et aussi des précurseurs de nombreux composés aromatiques (**Thierry et al., 2017**).

## B. Microbiologie d'affinage

Le fromage est le siège d'un développement important de microorganismes. Ces microorganismes appartiennent à des groupes ou des espèces très diverses et sont originaires de plusieurs sources : le lait, les levains, le sel ou les saumures, le matériel de la fromagerie, l'atmosphère des locaux... (**Choisy et al., 1997**).

Les deux catégories des microorganismes des fromages sont la flore des ferments lactiques et la flore secondaire. Les bactéries des ferments lactiques sont impliquées à la fois dans l'acidification et dans la maturation des fromages alors que la flore secondaire est principalement impliquée dans l'affinage. Cette dernière regroupe les bactéries lactiques originaires désignées par NSLAB (Non-Starters Lactic Acid Bacteria) et les autres bactéries (bactéries de surface et bactéries propénoïques), les levures et/ ou les moisissures (**Beresford et al., 2001**).

**1. Bactéries lactiques:** dans la fabrication fromagère, elles jouent un rôle primordial dans les premières étapes de la transformation du lait, mais elles interviennent aussi directement et indirectement dans la phase d'affinage et dans la qualité sanitaire des produits. Leur action est liée principalement à deux aspects de leur métabolisme : la production d'acide lactique et l'activité protéolytique (**Sadi et al., 2017**).

**2. Bactéries de surface :** les plus fréquentes sont les microcoques et les bactéries corynéformes (*Bacterium linens*) ; elles sont présentes dans les pâtes molles à croûte lavée ou immergée. Elles sont dotées d'activité protéolytique et lipolytique (**Brulé et al., 1997**).

**3. Moisissures :** la présence de moisissures internes ou superficielles caractérise divers types de fromages. Sur le plan technologique, les espèces les plus étudiées appartiennent au genre *Penicillium*. Elles contribuent, en métabolisant l'acide lactique, à la neutralisation de la

pâte et produisent de nombreuses enzymes qui participent à la maturation du fromage. Elles sont soit directement inoculées dans le lait servant à la fabrication du fromage soit pulvérisées sur le caillé (Cholet, 2006).

**4. Levures :** la plus rencontrée est *Geotrichum candidum* ; qui se développe en surface des fromages en consommant l'acide lactique, produit de l'éthanol et elle est lipolytique et protéolytique (Brulé et al., 1997).

**C. Agents de maturation des fromages :** au cours de la maturation, un ensemble extrêmement complexe de changements biochimiques se produit grâce à l'action catalytique des agents suivants :

- ✓ Les enzymes du coagulant ;
- ✓ Les enzymes indigènes du lait ;
- ✓ Les enzymes d'origine microbienne : Les enzymes des bactéries (par exemple, *Probiobacterium freudenreichii*, les bactéries Gram-positives à la surface des fromages affinés), les levures et les moisissures telles que (*Penicillium roqueforti* et *P. camemberti*), qui revêtent une importance majeure dans certaines variétés ;
- ✓ Des enzymes exogènes ajoutées pour accélérer la maturation du fromage (McSweeney, 2017).

**D. Principaux facteurs influençant l'affinage :** dans le cas des fromages affinés, il est important de considérer les caractéristiques des conditions d'affinage (température, humidité relative et taux d'O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et de NH<sub>3</sub>), qui en fin de compte influencent le caractère et la diversité des microflore du fromage.

Tous les facteurs susceptibles d'agir sur le développement microbien et les activités enzymatiques jouent un rôle déterminant sur la dynamique de l'affinage. Ils peuvent être classés en deux catégories : les facteurs internes qui sont propres aux fromages et les facteurs externes liés à l'environnement (Almena-Aliste et Mietton., 2014).

### 1. Facteurs internes

Selon Gaüzere et al., (2016), les facteurs internes sont :

**a. pH :** du fromage est un autre facteur qui conditionne la pousse des microorganismes et l'activité des enzymes. Etant donné la diversité des espèces, selon les espèces, le pH toléré va de 3 à 10. Les moisissures se développent à des pH de 4 à 5. Les bactéries d'affinage se développent plutôt au-dessus de 5. Le pH ne doit pas être trop bas car il empêche alors l'activité enzymatique qui permet au fromage de s'affiner. En dessous d'un pH 5, leur activité est ralentie. Les enzymes ont également des pH optimum d'activité (5.5 à 7.5 pour la protéase et 7.5 à 8.5 pour les lipases).

**b. L'activité de l'eau :** représente la disponibilité en eau dans le produit. Est un paramètre de croissance des microflore, d'action des enzymes et des réactions chimiques.

Dans le fromage, l'activité de l'eau dépend de la composition (teneur en eau et en sel) du produit de son extrait sec. Si l'activité de l'eau diminue, l'activité des microorganismes va également diminuer. C'est pour cette raison que les pâtes humides s'affinent plus rapidement.

**2. Facteurs externes :** parmi les paramètres environnementaux qui affectent l'affinage du fromage, la température, l'humidité relative (HR) et la composition de l'atmosphère gazeuse dans la chambre d'affinage ont le plus d'effet sur les propriétés sensorielles.

**a. Température :** la vitesse de maturation et la qualité du fromage sont fortement influencées par la température de maturation (Fox *et al.*, 2017). L'augmentation de la température peut accélérer l'affinage des fromages, mais peut également produire des composants de mauvais goût ou des produits inconsommables (Leclercq-Perlat *et al.*, 2015).

Les micro-organismes intervenant dans l'affinage sont presque exclusivement mésophiles. Les levures et les moisissures possèdent leur optimum de développement à 12 - 14°C. Les bactéries lactiques ont leur optimum à 30 - 35°C, à l'exception des espèces thermophiles pour lesquelles l'optimum de croissance est voisin de 45°C (Al Othaibi *et Wilbey.*, 2004).

**b. L'humidité relative :** la teneur en humidité influence la vitesse de l'affinage, ainsi, les pâtes molles sont le siège d'une fermentation et d'une transformation plus rapide que les pâtes fermes (Daniel *et Patrick.*, 2010).

**c. Composition de l'atmosphère, l'aération, gaz :** la composition de l'atmosphère peut intervenir dans le processus d'affinage. Les besoins en oxygène des microorganismes sont variables, la teneur en oxygène devient donc importante pour les fromages dont l'affinage se fait principalement en surface. L'aération permet de renouveler l'air par rapport à l'air neuf.

Le brassage de l'air (ventilation) vise à homogénéiser l'air au sein de la pièce et à renouveler l'air au contact des fromages. La maîtrise de la composition chimique de l'ambiance (NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) permet d'orienter le développement de la flore de surface et les échanges entre le produit et l'air. Durant l'affinage, les microflore consomment l'O<sub>2</sub> et rejettent le CO<sub>2</sub>, du NH<sub>3</sub> et de l'eau (Daniel *et Patrick.*, 2010 ; Gaüzere *et al.*, 2016).

#### I .2.4.6. Défauts liés à l'affinage

On peut classer les défauts rencontrés au cours d'affinage en trois catégories:

**a. Défauts de texture et gonflements :** ces défauts peuvent avoir des origines technologiques (pâte sèche, coulante, fromage laine, sans ouverture ou trop ouvert, etc.) ou microbiologiques (gonflements précoces ou tardifs) (Jeantet *et al.*, 2008).

**b. Défauts d'aspect :** ces défauts (croûtage et moisissures indésirables) peuvent être d'origine fongique à la surface des fromages (accidents du « bleu », du « poil de chat », de la « peau de crapaud »), ou d'origine fongique et bactérienne à la surface et à l'intérieur de la pâte (chancre, tâches orangées, crème, rosée, brunâtre, blanchâtre, rouge des tablards, etc.) (Jeantet *et al.*, 2008).

#### c. Défauts du goût

Selon Pradal, (2012), les défauts du goût peuvent être:

- **Un goût de savon** provient de l'oxydation de la matière grasse dans le cas de fromages âgés, riches en matières grasses et mal égouttés. Pour y remédier, il faut mieux égoutter les fromages, diminuer la température de fabrication et ne pas les laisser trop vieillir ().



- **Un goût d'amertume** provient soit de la dégradation incomplète de la caséine, qui est la principale protéine du fromage, dans le cas de fromages trop jeunes et pas suffisamment maturés, soit d'un excès de sel ou de présure. Pour régler ces problèmes, il faut allonger le temps d'affinage et favoriser l'activité microbienne en surveillant les conditions de températures, souvent trop basses, et d'hygrométrie, souvent trop élevées, des locaux.
- **Un goût levuré** est lié à une prolifération des levures. Le seul remède est le nettoyage du matériel et le rétablissement de l'équilibre de la flore avec des ferments lactiques.

## *Matériel et méthodes*

---

### II.1. Matériel

#### II.1.1. Présentation de l'unité « FAFI »

L'unité « FAFI », située dans le village de Tamassit, commune Aghrib dans la wilaya de Tizi Ouzou. (Figure 03).

La fromagerie a été créée en 2010 par Mr IBERSIEN Rachid, un ancien informaticien converti en fromager qui s'est spécialisé dans la fabrication de fromage suisse à pâte dure, dites pâtes pressées type : Vacherin fribourgeois suisse, Emmental et récemment le Parmesan

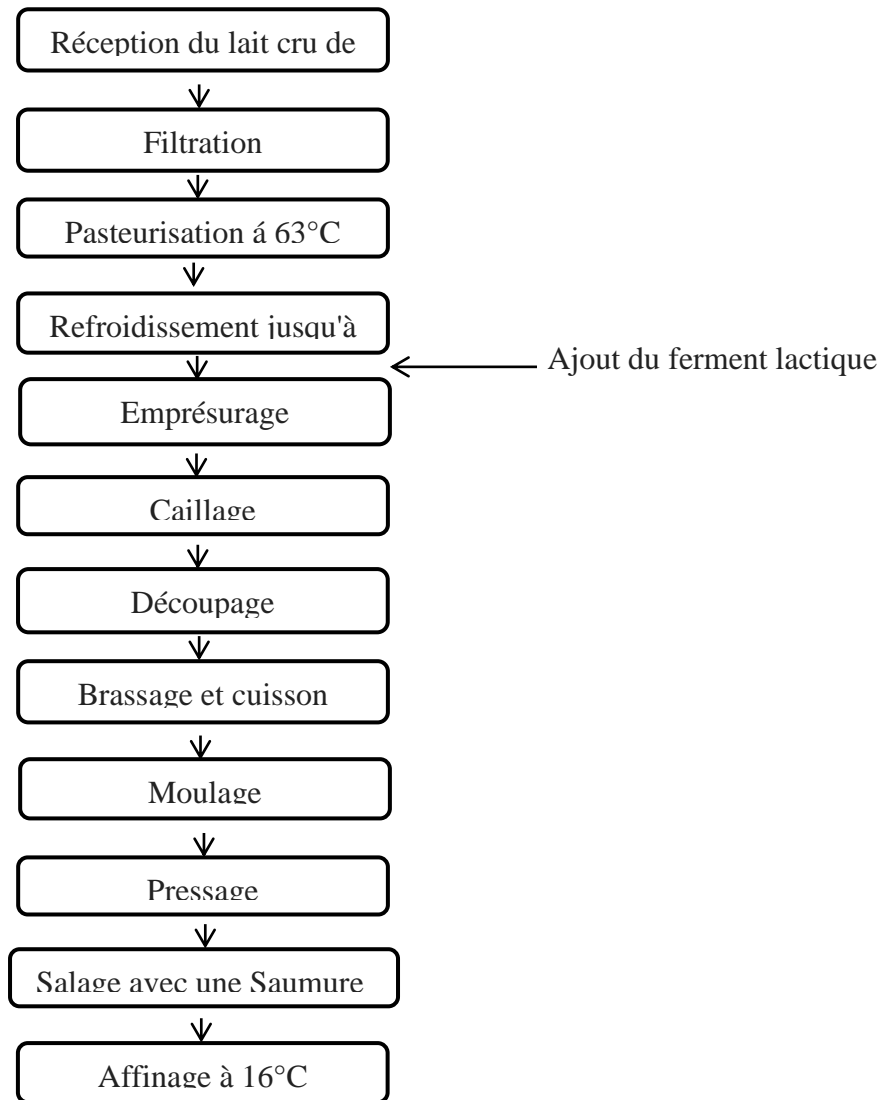
La fromagerie est d'une capacité de 1000 litres de lait par jour et s'étale sur une superficie de 60m<sup>2</sup>, répartie sur trois salles :

- Une salle de réception, de pasteurisation et de transformation du lait ;
- Une salle d'affinage ;
- Un point de vente.



**Figure 03 :** Localisation de la fromagerie « FAFI » sur Google Maps

Les fromages fabriqués sont à base du lait de vache collecté chaque jour de chez les éleveurs de la région, par contre la présure et les ferments lactiques proviennent de la Suisse. Les fromages à pâte dure nécessitent au moins 02 mois d'affinage et peuvent aller jusqu'à deux ans avant d'être consommés, et acquérir un goût spécifique à chacun, c'est pourquoi, il est important de vérifier la qualité du lait (propreté, acidité lactique naturelle, composition en protéines et en matière grasse) et des ferments lactiques (congelés ou lyophilisés, souches spécifique pour chaque type de fromage) (figure 04).



**Figure 04 :** Diagramme de fabrication du fromage « TAMGOUT ».

### II.1.2. Echantillonnage

Il est important que le laboratoire reçoive un échantillon réellement représentatif, non endommagé ou modifié lors du transport et de l'entreposage.

En mois de Février 2021, cinq (05) échantillons de fromages « TAMGOUT » au cours d'affinage ont été collectés au niveau de la fromagerie « FAFI ».

Les échantillons (annexe I) ont été transportés dans une glacière isotherme, maintenus à approximativement 4°C, au laboratoire de contrôle de qualité de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université de Jijel où les analyses ont été effectuées (la teneur en matière grasse est effectuée au laboratoire de laiterie « IGILAIT » Tassoust-Jijel).

La détermination du pH et l'acidité titrable, de matière organique, sèche et minérale, la teneur en protéines, en matière grasse et la composition en acides gras dans les échantillons de fromage collectés.

### II.2. Analyses physico-chimique

Le contrôle physicochimique du fromage est un facteur essentiel pour l'obtention d'un produit de bonne qualité.

#### II.2.1. Détermination du pH et l'acidité titrable

Le pH et l'acidité titrable sont deux concepts liés à l'acidité mais déterminé de façon différente (Vignola, 2002).

##### II.2.1.1. Détermination du pH

Le pH mesuré à l'aide d'un pH-mètre. Dispose 10g de fromage dans 100ml d'eau distillée puis plonge l'électrode du pH mètre dans l'échantillon et on mesure directement le pH avec la correction de la température (Larpen et al., 1997).

##### II.2.1.2. Détermination de l'acidité titrable

La mesure d'acidité titrable s'exprime couramment de deux façons soit en pourcentage (%) d'équivalent en acide lactique, soit en degré Dornic (°D).

L'analyse de l'acidité titrable mesure tous les ions H<sup>+</sup> disponibles dans le milieu, qu'ils soient dissociés, c'est-à-dire ionisés, ou non (Vignola, 2002).

La détermination de l'acidité titrable est effectuée selon la méthode décrite par (Larpen et al., 1997). L'acidité de fromage est dosée à l'aide d'une solution de NaOH N/9 en présence de phénolphaléine comme indicateur coloré.

Dispose 10g de fromage dans 100ml d'eau distillée, prend 10ml de cette solution et on ajoute 3 à 5gouttes de phénolphaléine. La solution titré avec NaOH N/9 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle.

Le résultat est exprimé en pourcentage d'acide lactique dans 100g de fromage.

$$\text{L'acidité titrable \%} = (V_{\text{NaOH}} (\text{ml}) \times N (\text{mol/l}) \times 90,05 (\text{g/mol})) / m(\text{g})$$

Où :

**m (g)** : Prise d'essais (10g de fromage) ;

**V<sub>NaOH</sub> (ml)** : Volume en millilitres de solution de NaOH ;

**N (mol/l)** : Normalité de solution de NaOH ;

**90,05 (g/mol)** : Masse molaire de l'acide lactique.

#### II.2.2. Détermination de la teneur totale en matière sèche

La matière sèche est l'un des paramètres les plus importants pour la caractérisation et la classification des fromages. Elle correspond au poids des résidus sec obtenue après dessiccation dans l'étuve, à température égale 102°C ± 2°C (Belbeldi, 2013).

Placer environ 3g de fromage sur le creuset puis chauffer le creuset dans l'étuve réglée à 102°C pendant au moins 3h. Mettre le creuset immédiatement dans le dessiccateur. Laisser

refroidir jusqu'à température ambiante. Une fois le creuset refroidie, la sortir du dessiccateur et la peser (JORA, 2014).

La teneur totale en matière sèche de fromage, exprimée en pourcentage de la masse, à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Matière sèche \%} = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0) \times 100 \%$$

Avec :

$m_0$  : est la masse, en grammes, du creuset ;

$m_1$  : est la masse, en grammes, de la prise d'essai et le creuset avant dessiccation ;

$m_2$  : est la masse, en grammes, de la prise d'essai et le creuset après dessiccation ;

### II.2.3. Détermination de la matière minérale

Pour la réalisation de cette manipulation, 5g de fromage râpé sont pesés dans un creuset, les échantillons calcinés à une température de 550°C dans un four à moufle pendant 4heures. Par la suite les creusets contiennent les cendres qui ont été transférées dans un dessiccateur pour refroidir puis pesées par une balance (AOAC, 2002).

Le pourcentage de la matière minérale est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Matière minérale (\%)} = (M_f - M_0 / 5) \times 100$$

Avec :

$M_f$  : Masse à vide du creuset plus celle des cendres.

$M_0$  : Masse à vide du creuset.

### II.2.4. Détermination du taux d'humidité

Détermination du taux d'humidité a été effectuée selon la méthode décrite par (Berger et al., 2004). Elle est déterminée en se basant sur les résultats de la matière sèche, et en appliquant la formule suivante :

$$H(\%) = 100 - (MS)\%$$

Avec :

$H$  : Taux d'humidité.

$MS$  : Matière sèche.

### II.2.5. Détermination de la matière organique

Elle est déterminée en se basant sur les résultats de la matière minérale en appliquant la formule suivante (AOAC, 2000) :

$$\text{Matière organique (\%)} = MS(\%) - MM(\%)$$

Où :

$MS$  : Matière Sèche.

$MM$  : Matière Minérale.

### II.2.6. Détermination de la teneur en matière grasse

La matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique de VAN GULIK (JORA, 2014), donne une teneur en matière grasse, exprimée en grammes pour 100g de fromage.

Cette méthode est basée sur la dissolution des protéines du fromage au moyen d'acide sulfurique, il est procédé à la séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de Van Gulik (Figure 05), la séparation étant favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylique.

Peser 3g de fromage râpé dans une capsule, fermer le col du butyromètre avec ce bouchon muni et ajouter 10ml d'acide sulfurique par l'ouverture étroite puis transvaser le fromage dans le butyromètre. Après, en ajoute 1ml d'alcool iso-amylique par l'ouverture étroite, agiter immédiatement durant au moins 10s puis placer le butyromètre durant 5min dans le bain d'eau à  $(65 \pm 2^\circ\text{C})$ .

Retirer le butyromètre du bain d'eau et, après avoir soigneusement agité, après 10minutes de centrifugation, le butyromètre est replongé dans le bain-marie pendant 05min.



**Figure 05 :** Butyromètre et centrifugeuse de séparation de la matière grasse.

L'obtention de la teneur en matière grasse par lecture directe sur l'échelle du butyromètre. La teneur en matière grasse, exprimée en grammes pour 100g de fromage.

$$\text{MG \%} = \text{B} - \text{A}$$

Où :

**A** : est la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne de matière grasse.

**B** : est la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne de matière grasse.

### II.2.7. Détermination de la teneur en protéine

La détermination de quantité des protéines a été effectuée selon la méthode de référence Kjeldahl (Figure 06) (Vignola, 2002), cette dernière se répartie en trois étape (AFNOR, 1993).

➤ **La première étape : la minéralisation (la digestion)**

Son but est de dégrader la matière organique (MO) azotée sous la forme de sel d'ammonium. On introduit 1g de fromage dans un matras de minéralisation, 15mL d'acide sulfurique pur est versé lentement en ajoutant 2g de catalyseur (1g de  $K_2SO_4$  et 1g de  $CuSO_4$ ). La minéralisation commence, et lorsque le liquide est devenu limpide, on règle le chauffage de manière à condenser les vapeurs d'acide vers le milieu du col du matras et poursuivre pendant au moins 30min. Laisser refroidir le matras obturé pour éviter un contact éventuel avec des vapeurs ammoniacales présentes dans l'atmosphère.

L'azote de différents constituants (protéique et non protéique) est converti en sulfate d'ammonium en présence du catalyseur. Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium  $NH_4^+$ .

L'utilisation d'un mélange de catalyseurs permet d'avoir une minéralisation plus rapide :

- $K_2SO_4$  permet d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique de 350 à 400°C ; On peut effectuer la minéralisation à ces températures sans avoir de pertes trop importantes d'acide sous forme de vapeurs.
- $CuSO_4$  est le catalyseur de minéralisation proprement dit : il augmente la vitesse de la minéralisation.

➤ **La deuxième étape : la distillation**

La distillation de l'ammonium se fait par l'ajout de soude : on transforme l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniaque.

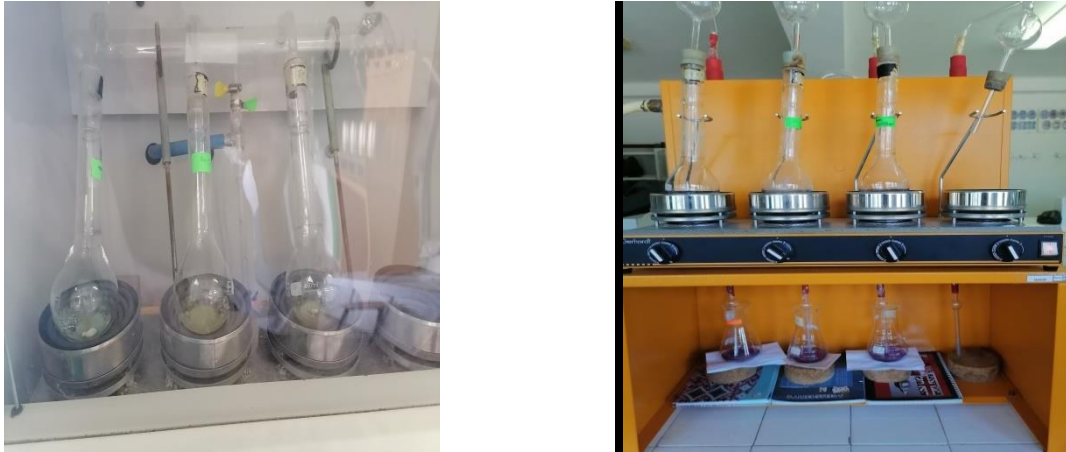
Le contenu du matras de minéralisation par addition de l'eau distillée jusqu'à 100ml. Après on a transféré 10ml vers le ballon de l'appareil à distiller (le matras) et ajouté 10ml d'eau distillée.

Alcalinisation le digestat avec 30ml de NaOH (35%), le distillat est récupéré dans un Erlenmeyer de 250ml contenant 25ml d'acide borique ( $H_3BO_3$ ), ce dernier va retenir l'ammoniaque sous sa forme acide et 10gouttes d'indicateur de tashiro, après l'apparition de la couleur verte on passe à la titration.

➤ **La troisième étape : la titration**

La titration est l'étape où l'ammoniaque, fixé sous forme de borate d'ammonium est titré avec une solution d'acide chlorhydrique (0.1N).





**Figure 06 :** Dispositif de Kjeldahl (dispositif de minéralisation, dispositif de distillation)

La teneur en azote totale est exprimée en gramme par 100g de fromages.

$$NT\% = 14 \times V_s \times N \times 100 / m$$

Avec :

**V<sub>s</sub>** : Volume HCl nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon.

**N** : Normalité HCl (0.1N).

**m** : La masse de l'échantillon en gramme.

La teneur en protéines totales est calculée en multipliant par 6.38 la teneur en azote obtenue selon cette méthode.

$$\text{Taux protéines (g/100g de fromage)} : NT (\%) \times 6.38$$

**6.38** : facteur protéique (facteur de conversion).

### II.2.8. Détermination de la teneur en acide gras par GC-MS

L'analyse qualitative de la composition de fromage en acides gras par Chromatographie Phase Gazeuse couplée à une Spectroscopie de Masse a été effectuée selon la méthode décrite par **Kim et al., (2014)**.

Le principe de la séparation par CG-MS consiste à partager l'échantillon à analyser entre deux phases. L'une est un liquide stationnaire uniformément réparti sous forme d'une pellicule mince sur un solide inerte de grande surface spécifique, tandis que l'autre phase est un gaz mobile (gaz vecteur) qui s'écoule à travers l'ensemble stationnaire.

Dans un tube à bouchon visant, on a met 20mg de fromage (ou un volume apportant la masse équivalente). Puis un volume de 0.5ml de l'heptane et ajouté à la matière grasse, après l'agitation on a ajouté 0.2ml de la solution méthanoïque 2N d'hydroxyde de sodium, puis les tubes sont bouchés et portés au bain thermostatés à 60°C pendant 30sec à 3min.

On a fait une autre agitation pendant 10sec, après on a ajouté 0.2ml d' HCl à 2mol/L, cette solution est agitée est transférée dans un tube en verre, ce dernier est laissé à décanter.

On a prélevé 100µl de la phase supérieure dans un tube en verre et réaliser une évaporation en milieu ventilé. Après l'addition de 50µl d'heptane à cette quantité et après la séparation de la phase supérieure qui devient claire, on a récupéré cette dernière qui contient les esters méthylique.

Ces esters sont injectés dans un chromatographe phase gazeuse de type **SHIMADZU QP 2010** dans les conditions suivantes :

- ✓ Colonne capillaire de type OV 1701 moyennement polaire avec un diamètre de 0.25µm et 2 m de longueur ;
- ✓ Température : 250°C ;
- ✓ Détecteur : MS ;
- ✓ Solvant : Heptane ;
- ✓ La phase mobile : Hélium.

### II.3. Analyses statistiques

Les résultats obtenus pour chaque échantillon ont été soumis à une analyse statistique à l'aide de l'analyse de variance ANOVA (par logiciel Mini Tab).

Si la probabilité P est :

- ✓  $P > 0.05$  : les variables montrent une différence non significative.
- ✓  $P < 0.05$  : les variables montrent une différence significative.
- ✓  $P < 0.01$  : les variables montrent une différence hautement significative.
- ✓  $P < 0.001$  : les variables montrent une différence très hautement significative.

## *Résultats et discussion*

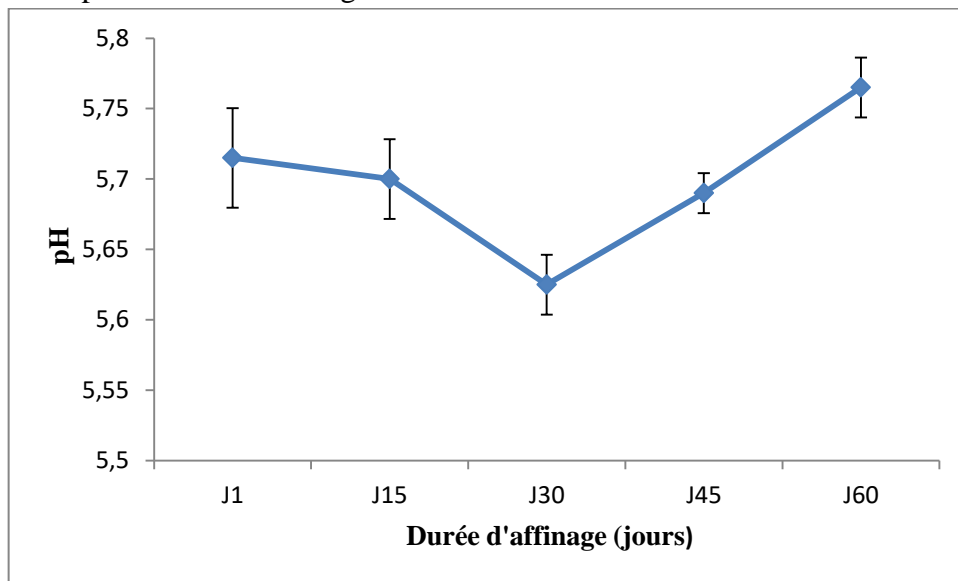
---

Les valeurs moyennes et les écart-types des paramètres physico-chimiques obtenus (pH, l'acidité titrable, teneur en matière sèche, teneur en matière minérale, teneur en matière organique, l'humidité, teneur en matière grasse, teneur en protéine et la composition en acide gras) du fromage sont présentées dans l'annexe III :

#### III.1. pH

Le pH et l'acidité titrable sont deux mesures dont la première détermine les ions  $H^+$  (acidité ionique), alors que la deuxième exprime la quantité d'acide lactique existant dans le fromage (**Belbeldi, 2013**).

Les valeurs du pH des cinq échantillons de fromage J1, J15, J 30, J 45, et 60 jours au cours d'affinage sont présentées dans la figure 07.



**Figure 07** : Evolution du pH du fromage au cours d'affinage.

L'analyse de variance a montré que les résultats du pH varient d'une manière significative pendant la durée d'affinage du fromage ( $p < 0.05$ ).

Selon **Upreti et Metzger., (2007)**, le pH du fromage n'est pas statique et change au cours de la maturation.

Les valeurs du pH diminué de  $5.72 \pm 0.04$  à  $5.63 \pm 0.02$  entre le premier et le trentième jour de l'affinage. Puis elle a augmenté lentement jusqu' à atteindre a  $5.77 \pm 0.02$  à la fin de l'affinage.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Delgado et al., (2011)**, qui ont trouvés que les valeurs de pH diminuaient au cours d'affinage. Probablement en raison du métabolisme des bactéries lactiques qui métabolisent le lactose libérant de l'acide lactique. Le lactose résiduel dans le fromage est fermenté par les bactéries lactiques en plusieurs acides organiques hydrosolubles à chaîne courte, au cours de leur dissociation libèrent  $H^+$  et les anions correspondants, entraînant une diminution du pH. Par contre nos résultats, ne sont pas en accord avec ceux trouvés par **Xia et al., (2020)** ( J1: pH= 5 - J42: pH= 6).

D'après **Abraham et al., (2007)**, l'augmentation du pH a résulté de l'activité métabolique de la flore microbienne, qui oxyde rapidement le lactate en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , et le processus protéolytique qui libère une grande quantité des composés alcalins azotés comme le  $\text{NH}_2$  et le  $\text{NH}_3$ .

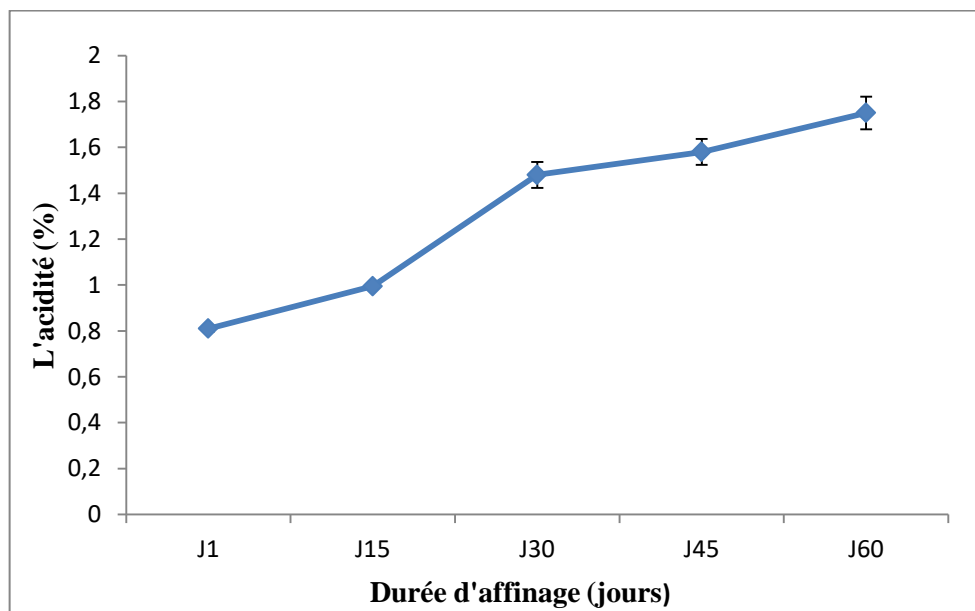
Les fromages à pH élevé sont plus mous que les fromages plus acides. Le pH affecte également la texture et la saveur indirectement en affectant l'activité des enzymes importantes pour la maturation et, dans le cas du coagulant, la rétention de l'enzyme dans le caillé pendant la fabrication (**McSweeney, 2004**).

Le rôle du pH dans la texture du fromage est particulièrement important, car les changements du pH sont directement liés aux changements chimiques dans le réseau de protéines du caillé du fromage (**Murtaza et al., 2014**).

#### III.2. Acidité titrable

Le taux d'acide lactique des fromages au différent stade de la maturation augmente de  $0.81 \pm 0.01\%$  à  $1.75 \pm 0.07\%$  (figure 08).

La teneur en acide lactique a augmenté de manière hautement significative ( $p < 0.001$ ) tout au long d'affinage. Pour atteindre  $1.75 \pm 0.071\%$ . Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par **Hayaloglu et al., (2008)**.



**Figure 08** : Evolution de l'acidité du fromage au cours d'affinage.

Au début de l'affinage, l'acidité qui a été développée au cours de la coagulation et de l'égouttage afin de régler à la valeur souhaitée, l'humidité et la minéralisation du caillé est souvent excessive pour permettre la prolifération des flores et l'activité enzymatique recherchées. De ce fait, un processus de désacidification doit intervenir, pour optimiser la croissance microbienne et l'activité enzymatique. Les modalités sont très différentes selon la catégorie des fromages (**Dahou, 2017**).

L'augmentation de l'acidité est due à l'activité de la flore lactique qui libère des acides organiques comme l'acide lactique, l'acide propionique (Ercan *et al.*, 2011).

Ces résultats sont en accord avec ceux de Aissaoui Zitoun *et al.*, (2011), le contenu en acide lactique dans le fromage Bouhezza augmente significativement au cours d'affinage. Cette augmentation suggère que l'acidification empêche le développement des bactéries qui oxydent l'acide lactique et permettent la neutralisation du caillé.

Le pH et l'acidité dépendent de la teneur en caséine, en sels minéraux et en ions, des conditions hygiéniques lors de la traite, de la flore microbienne totale et son activité métabolique et de la manutention du lait (Matallah *et al.*, 2017).

L'augmentation de l'acidité couplée à la diminution du pH peut s'expliquer par l'existence d'une activité métabolique de la flore microbienne des fromages : l'ensemble des bactéries lactiques des ferments.

#### III.3. Teneur en matière sèche

La matière sèche du produit et l'ensemble de ses constituants solides, sont les matières grasses, les protéines, les glucides et les minéraux (Vignola, 2002).

L'analyse de variance a montré que les résultats de matière sèche varient d'une manière hautement significative pendant la durée d'affinage du fromage ( $p < 0.001$ ).

Les taux de matière sèche au cours de toute la période d'affinage sont présentés dans la figure 09.

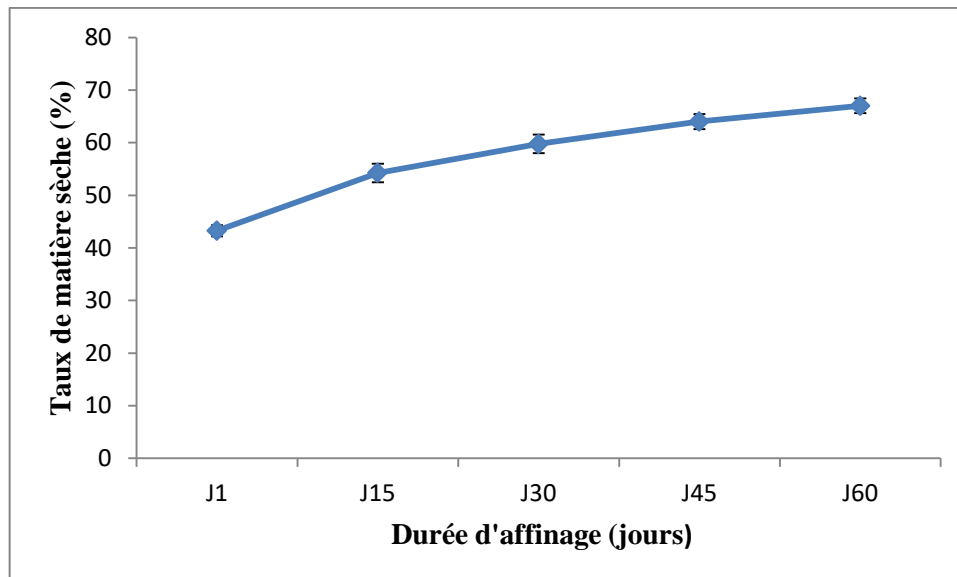


Figure 09 : Evolution de la matière sèche du fromage au cours d'affinage.

D'après ces résultats, nous remarquons une augmentation du taux de la matière sèche de  $43.25 \pm 1.06 \%$  à  $67 \pm 1.41\%$  pendant la maturation.

Cette augmentation peut être due principalement à la concentration des constituants du lait dans le fromage (Ecran *et al.*, 2011).

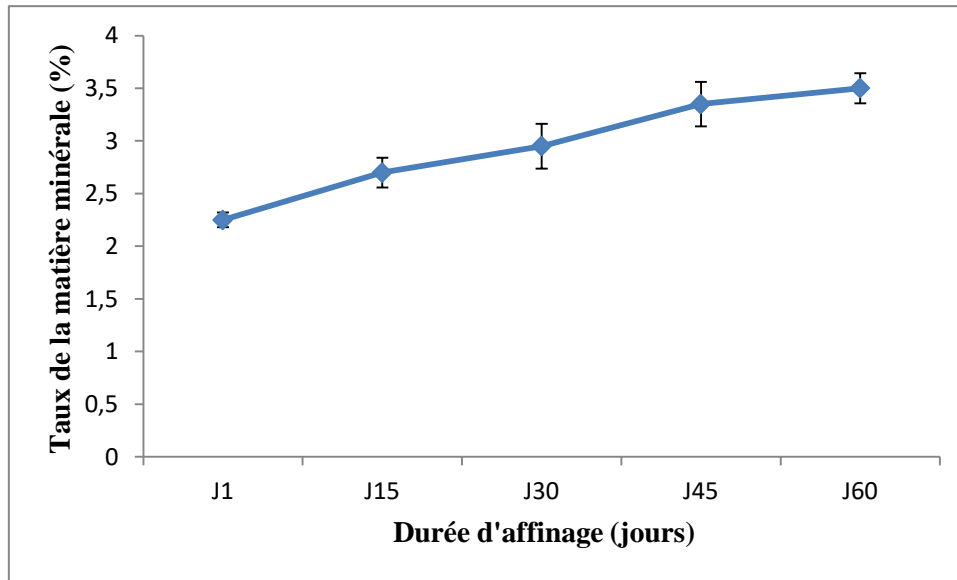
Nos résultats, sont en accord avec ceux de Arenas *et al.*, (2015), qui ont trouvés des teneurs en matière sèche augmentées progressivement de  $40.5 \pm 2.85\%$  à  $70.4 \pm 4.05\%$ .

Selon **Delgado et al., (2011)**, l'augmentation de la matière sèche est causée par la perte naturelle et progressive de l'humidité tout au long de la maturation.

La perte d'eau peut s'expliquer par la température d'affinage, la longue durée d'affinage (60 jours), ainsi que le pressage et le salage qui ont un effet positif sur l'exsudation de l'eau.

#### III.4. Matière minérale

Les taux de la matière minérale des cinq échantillons de fromage au cours d'affinage sont présentés dans la figure 10.



**Figure 10 :** Evolution de la matière minérale du fromage au cours d'affinage.

La teneur en matière minérale a augmenté de manière très significative ( $p < 0,01$ ) tout au long de l'affinage. Pour atteindre  $3,5 \pm 0,14\%$ .

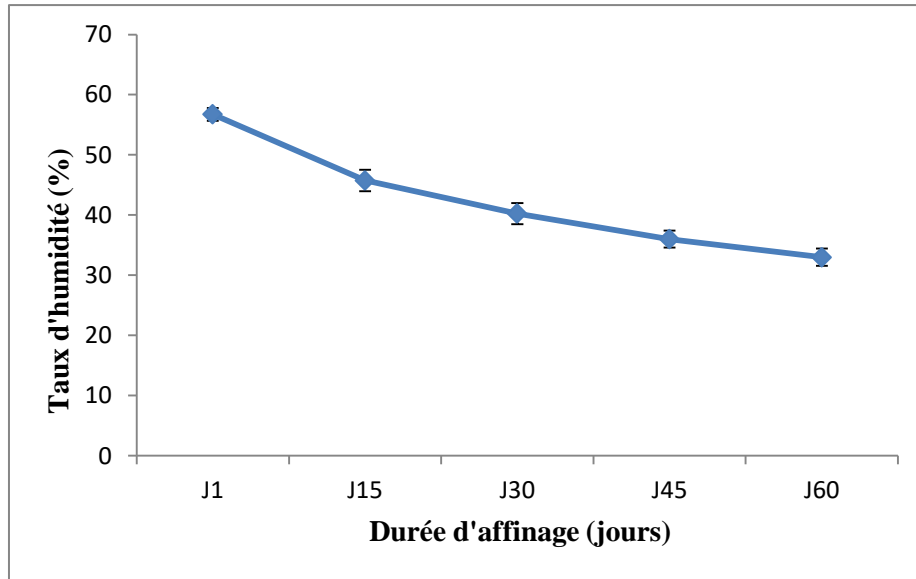
Ces résultats sont en accord avec ceux de **Arenas et al., (2015)**, qui ont trouvés des valeurs moyennes de la matière minérale augmentées au cours d'affinage de  $2,6 \pm 0,8\%$  à  $3,7 \pm 0,63\%$ . Ces résultats sont dus à l'exsudation d'eau qui est poussés ainsi que la température d'affinage ( $14^{\circ}\text{C}$ ) de fromage analysé.

Selon **Vignola, (2002)**, plus la teneur en eau est élevée plus la teneur en cendres est basse.

#### III.5. L'humidité

Les taux d'humidité au cours d'affinage sont présentés dans la figure 11.

L'analyse de variance a montré que les résultats d'humidité diminuent d'une manière hautement significative pendant la durée d'affinage du fromage ( $p < 0,001$ ).



**Figure 11** : Evolution d'humidité du fromage au cours d'affinage.

D'après ces résultats, on observe une diminution de l'humidité tout au long de la période d'affinage de  $56.57 \pm 1.06\%$  à  $33 \pm 1.41\%$ , parce que au cours d'affinage les fromages perdent de l'eau et subissent une série de changements qui entraînent des modifications sensorielles, chimiques et biochimiques, transformant ainsi le produit final (**Oliveira Carneiro et al., 2020**).

Ces résultats sont similaires avec ceux trouvés par **Xia et al., (2020)**, l'humidité diminue de 46.09 % à 33.6–34.03%.

Selon **Ecran et al., (2011)**, l'humidité diminuée en raison de l'augmentation de la teneur en matière sèche et la présence de sel.

### III.6. Teneur en matière organique

Les résultats du calcul de la matière organique du fromage sont illustrés dans la figure 12.

L'analyse de variance a montré que les résultats de matière organique ont augmentés d'une manière hautement significative pendant la durée d'affinage du fromage ( $p < 0.001$ ).



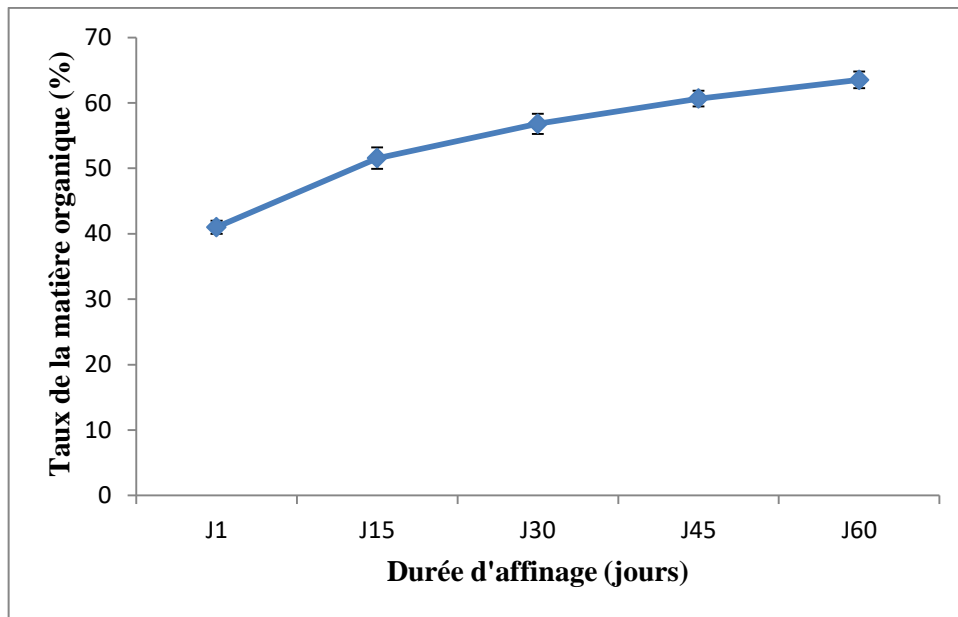


Figure 12 : Evolution de la matière organique du fromage au cours d'affinage.

Les valeurs de la matière organique varient de  $41 \pm 0.99\%$  à  $63.5 \pm 1.27\%$  au cours d'affinage, la matière organique est en relation avec la matière sèche et la matière minérale.

### III.7. Matière grasse

D'après Michalski *et al.*, (2004), la texture, la saveur et les propriétés physico-chimiques du fromage sont largement déterminées par la matière grasse du lait. Plus de 95% de la masse des lipides dans le lait de vache est présente sous forme de globules sphériques de matière grasse du lait.

Les résultats du dosage de la matière grasse au cours d'affinage sont illustrés dans la figure 13.

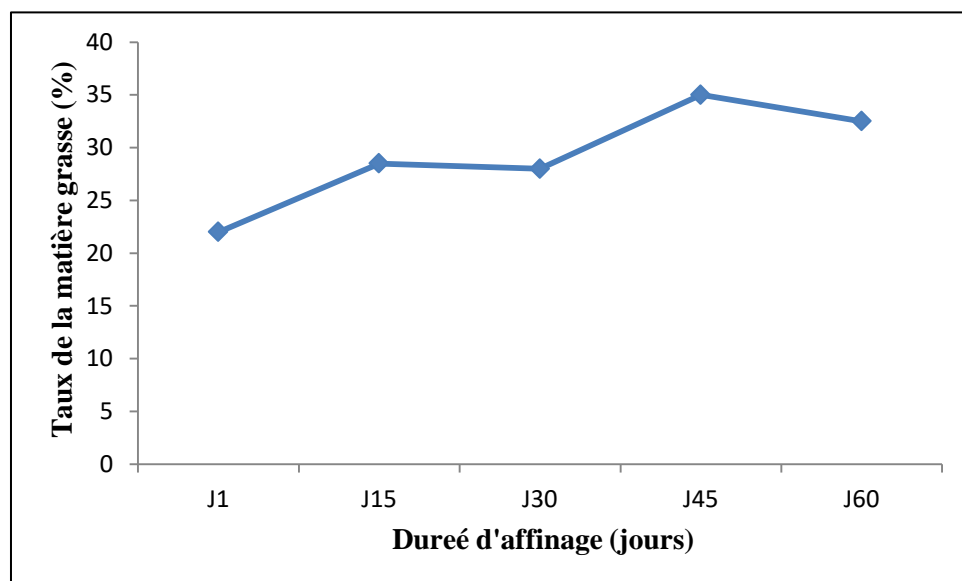


Figure 13 : Evolution de la matière grasse du fromage au cours d'affinage.

D'après ces résultats, nous observons que la quantité de la matière grasse augmente progressivement jusqu'à 45 jours d'affinage et diminue aux derniers 15 jours. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Hayaloglu et al., (2008)**.

Selon **D'Incecco et al., (2020)**, Une teneur élevée en matières grasses rend la structure du fromage plus molle, surtout lorsque le taux d'humidité est faible.

Lors de l'affinage, la composition de la matière grasse laitière peut évoluer via des mécanismes biochimiques. On peut observer ; une augmentation des acides gras libres avec une perte d'acides gras libres à chaîne courte qui sont volatils, une augmentation des diglycérides et des mono-glycérides. La quantité et la qualité des acides gras libérés dépendent des micro-organismes et des enzymes présents (**Lopez et al., 2010**).

La décomposition des lipides en acides gras libres par les enzymes lipolytiques a entraîné une augmentation de l'indice de lipolyse, et le catabolisme du lactose en acide lactique par la culture de départ et le nombre total des bactéries a entraîné une augmentation de l'acidité et une diminution du pH (**Zonoubi et Goli., 2021**).

la lipolyse est l'une des principales modifications biochimiques qui se produisent pendant la maturation du fromage. Les acides gras libres libérés pendant la lipolyse contribuent, avec les composés volatils et les produits de la protéolyse, directement à la saveur du fromage ; les agents lipolytiques du fromage sont des enzymes lipolytiques qui se trouvent naturellement dans le lait (lipase du lait). La lipolyse est le responsable du catabolisme du triacylglycérol (**Malegori et al., 2021 , Georgala et al., 2005** ).

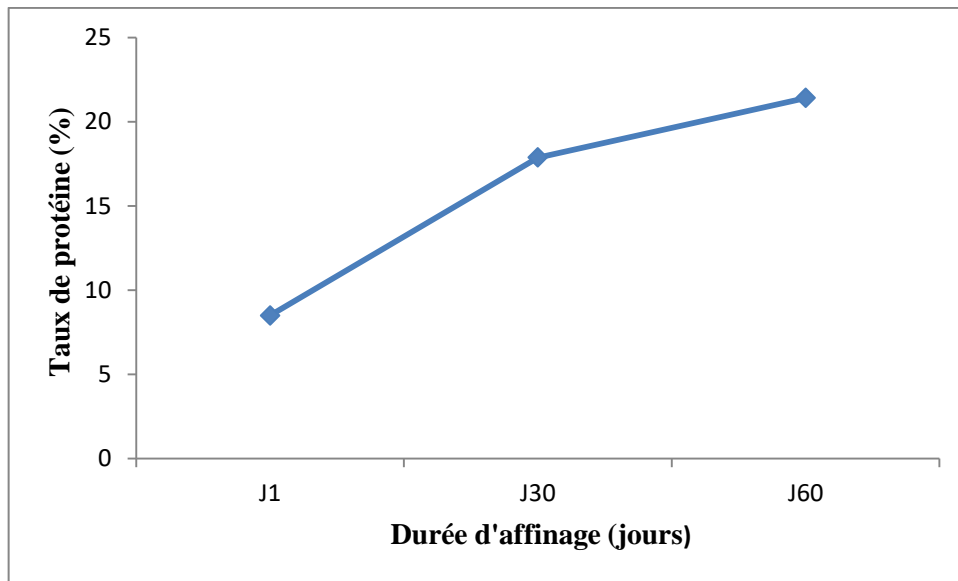
Selon **Perotti et al., (2005)**, la teneur en matière grasse est un constituant très important pour la texture, la tendreté et l'élasticité du fromage. Les teneurs élevées en matière grasse augmente la tendreté du fromage ce qui diminue son degré de mastication et par conséquent, diminue sa consistance caoutchouteuse. Pour certains types de fromages, la graisse est d'une grande importance pour la saveur par la génération des acides gras libres (AGL) et de certains composés dérivés de leur transformation.

La gamme des produits laitiers est très large avec des teneurs en matière grasse très variables d'un produit à l'autre et à l'intérieur de la même famille de produits, dans les fromages la teneur en matière grasse allant de 0 % à 35 % (**Soustre et al., 2011**).

#### III.8. Protéines

Les protéines sont le principal élément structurel du fromage et sont présentes sous forme d'une matrice tridimensionnelle, formée de particules de caséine maintenues ensemble par l'équilibre de diverses forces attractives/répulsives (par exemple, phosphate de calcium colloïdal, interactions hydrophobes, interactions électrostatiques) (**McSweeney et al., 2006**).

Les résultats sont illustrés dans la figure 14.



**Figure 14 :** Evolution des protéines du fromage au cours d'affinage.

D'après ces résultats, nous observons que les teneurs en protéines mesurées pour les trois périodes J1, J30, J60 d'affinage de fromage sont respectivement 8.49%, 17.87% et 21.4% ; cette augmentation liée principalement à la faible activité protéolytique. Ces résultats sont en accord à ceux trouvés par **Licón et al., (2012)**, qui ont rapporté que le taux des protéines a augmenté pendant la maturation.

Selon **Hernández Galán et al., (2016)**, la protéolyse est le principal processus biochimique au cours de l'affinage des fromages et elle dépend entre autres des facteurs suivants de l'origine du lait, des populations microbiennes, du temps de maturation, etc. La protéolyse produit un profil peptidique unique, caractéristique de chaque variété de fromage. Les peptides libérés lors de la protéolyse peuvent avoir des activités biologiques telles que des antioxydants. Cependant, l'activité biologique dépend de l'état d'affinage du fromage.

Pour suivre le processus d'affinage du fromage, il est utile de déterminer chimiquement l'extension et la profondeur de la protéolyse, ce qui permet de quantifier et de caractériser la contribution de nombreux agents agissant sur la protéolyse du fromage pendant la maturation (**Oliveira Carneiro et al., 2020**).

D'après **Bonizzi et al., (2009)**, la caséine est la protéine la plus importante du lait de vache, tant du point de vue quantitatif que nutritionnel, puisqu'elle représente environ 80% de la teneur totale en protéines et riche en acides aminés essentiels.

Il a été démontré que les facteurs génétiques, environnementaux sont liés à la gestion (par exemple, la stratégie d'alimentation) représentent les sources les plus importantes de la variabilité de la teneur en protéines du lait.

Selon **Singh et al., (1994)**, la protéolyse est largement considérée comme un événement critique dans la maturation du fromage, avec des conséquences majeures sur la texture et la saveur du fromage.

La quantité de protéines varie de 19 à 28%, selon la variété du fromage (Fang *et al.*, 2016).

D'après Wolf *et al.*, (2010), les fromages présentaient des niveaux de protéolyse les plus élevés ; la zone géographique de fabrication du fromage, la saison de production, température et durée d'affinage et le type de laiterie sont autant de facteurs qui influencent les niveaux de protéolyse dans les fromages.

#### III.9. Résultats de l'analyse qualitative de la composition en acides gras par GC-MS

L'évolution des profils d'acides gras extraits des fromages a été suivie par chromatographie en phase gazeuse couplée à une Spectroscopie de Masse (GC-MS) jusqu'à 60 jours d'affinage. Cette analyse nous a permis d'obtenir des chromatogrammes de chaque échantillon analysé (Annexe IV).

La composition en acides gras dans le fromage « TAMGOUT » (Annexe V) se caractérise par une teneur élevée en acide gras saturé environ 87.54% au premier jour d'affinage, les acides gras saturés les plus abondants sont des acides à chaîne moyenne : l'acide myristique (C14 :0, 30.61%), l'acide palmitique (C16 :0, 21.29%), l'acide caprique (C10 :0, 14.78%), l'acide laurique (C12 :0, 15%) et à chaîne longue : l'acide stéarique (C18 :0, 5.86%), la teneur en acide gras insaturé présenté par un seul acide est l'acide oléique (C18 :1, 12.46%), après 2 mois d'affinage le pourcentage des acides gras saturés diminuaient jusqu'à 75% par contre le pourcentage des acides gras insaturés augmentait jusqu'à 22.59% cette augmentation est due à l'apparition des autres acides gras insaturés comme l'acide linoléique (C18 :2(9,12), 1.11%), l'isomère de l'acide oléique (C18 :1(9), 21.21%), l'acide trans-vaccénique (C18 :1(trans 11), 0.27%) et il y a aussi des acides gras ramifiés 2.42% tel que l'acide hexadécanoïque 14-méthyl (C17 :0, 0.24%), l'acide hexadécanoïque 15-méthyl(C17 :0, 0.16%), l'acide tétradécanoïque 9- méthyl(C16 :0, 0.85%) et l'acide 11-hexadécanoïque (C17 :0, 1.1%).

Les différences de composition en acide gras pourraient modifier les propriétés sensorielles des laits et produits laitiers dérivés (Hurtaud *et al.*, 2012), dans ce dernier, on trouve essentiellement des acides résultant de la lipolyse de la matière grasse, de processus de fermentation et de la dégradation des acides aminés (Collomb *et Spahni.*, 1995).

La matière grasse des fromages est composée d'une large variété d'acides gras (74 acides gras identifiés). Cette composition dépend particulièrement de la composition en acides gras du lait (Amimour, 2019).

Selon Soustre *et al.*, (2011), les acides gras (AG) sont les constituants majeurs des lipides du lait : 96% des lipides totaux sont sous forme de triglycérides et les 4% restants sous forme de di-glycérides (2 à 3%) ; de mono-glycérides et d'AG libres. Les acides gras libres (AGL) sont essentiellement des monoacides aliphatiques saturés et insaturés à chaîne linéaire ou ramifiée ayant un nombre pair et impair d'atomes de carbone et sont des précurseurs importants des réactions cataboliques, qui produisent des composés volatils, notamment des esters, des alcools, des aldéhydes et des cétones et ces composés contribuent à la saveur du fromage ; le niveau de lipolyse dépend des types d'acides gras libres.

L'hydrolyse des lipides est également utilisée comme paramètre de qualité pour la plupart des types de fromages affinés, puisque les changements déclenchés par l'hydrolyse des lipides affectent les propriétés physiques, chimiques et sensorielles du fromage (**Hayaloglu et Karabulut., 2013**).

D'après **Licón et al., (2012)**, la teneur en acides gras individuels à chaîne courte, moyenne et longue a été suggérée comme un indices de maturation des fromages du lait de vache, bien que ces indices seraient moins utiles que les indicateurs protéolytiques et glycolytiques. Les acides gras à longue chaîne sont ceux qui sont en plus grande proportion, ils ne contribuent pas intrinsèquement à la saveur du fromage, car ils ont un seuil de perception plus élevé. Cependant, les acides gras à chaîne courte et moyenne, dont le nombre est pair, ont des seuils de perception considérablement plus bas et chacun d'entre eux apporte une note aromatique caractéristique (**Wolf et al., 2010**).

La technologie fromagère et la durée d'affinage n'ont en général pas d'effet sur les teneurs en acides gras. Par conséquent, les effets de l'alimentation sur les teneurs en acides gras du lait restent identiques pour les fromages. Les teneurs en acides gras des produits laitiers varient en fonction de la composition botanique et du stade végétatif de la prairie pâturée. Les teneurs en acides gras des produits laitiers évoluent donc au cours de la saison de pâturage (**Soulat, 2021**).

Il est également reconnu que les fromages provenant des bovins au fourrage vert ont une plus grande quantité d'acides gras insaturés à longue chaîne et une quantité moindre d'acides gras saturés à courte chaîne (**Marrone et al., 2014**).

## *Conclusion*

---

Au cours de ce travail, nous avons vérifié l'évolution des paramètres physicochimique de cinq échantillons de fromage au cours d'affinage.

Les résultats des analyses physicochimiques montrent que le pH diminue puis augmente. Par contre l'acidité augmente progressivement durant l'affinage ; cette augmentation est due principalement à la présence de l'acide lactique provenant de la fermentation du lactose par les bactéries lactiques. La matière sèche et la matière minérale enregistrent des valeurs augmentant jusqu'à la fin de l'affinage sous l'effet de la perte d'eau ce qui entraîne une diminution des taux d'humidité.

Au cours d'affinage, deux composants majeurs de la pâte du fromage sont modifiés (des protéines et des matières grasses) par l'action des systèmes enzymatiques, la protéolyse et lipolyse sont donc des phénomènes dominant de l'affinage dans certaines conditions de pH, de température, de l'activité d'eau, les enzymes réalisent des protéolyses primaires et secondaires, des lipolyses et des fermentations de composants du lait. Ces modifications se traduisent par de profondes modifications de la composition physico-chimique de substrat et donc de son aspect, qualité organoleptique de sa digestibilité et de sa valeur nutritive.

L'analyse quantitative de la composition en acide gras par GC-MS de fromage montre que ce fromage est riche en acide gras. Le profil d'acides gras des cinq échantillons analysés a révélé l'existence d'une variation remarquable entre les différents échantillons analysés. Les acides gras obtenus sont divisés en acides gras saturés et insaturés

Ce travail doit être complété par des analyses plus rigoureuses comme la détermination des différents types de métaux lourds ainsi que les types d'acides aminés présents dans ce fromage.

*Références*  
*Bibliographique*

---



## A

**Abraham, S., Cachon, R., Colas, B., Feron, G., De Coninck, J. (2007).** Eh and pH gradients in Camembert cheese during ripening: measurements using microelectrodes and correlations with texture. *International Dairy Journal*, 17(8), 954-960.

**AFNOR., (1993).** NF V 04-210. Recueil des normes françaises. Contrôle de la qualité des produits alimentaire : lait et produits laitiers. Analyse physico-chimique. 4ème Ed. Paris : *La Défense*, 562 .

**Aissaoui zitoun, O., Benatallah, L., Ghennam, E., Zidoune, M.N. (2011).** Manufacture and characteristics of the traditional Algerian ripened bouhezza cheese. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2 part 1), 96-100.

**Aissaoui Zitoun, O., Carpino, S., Rapisarda, T., Belvedere, G., Licitra, G., Zidoune, M. N. E. (2016).** Use of smart nose and GC/MS/O analysis to define volatile fingerprint of a goatskin bag cheese “Bouhezza”. *Emirates Journal of Food and Agriculture*.28,746 -754.

**Almena-Aliste, M., Mietton, B. (2014).** Cheese classification, characterization, and categorization: a global perspective. **In:** Cheese and Microbes, 39-71.

**Al-Otaibi, M.M., Wilbey, R. A. (2004).**Effect of temperature and salt on the maturation of white-salted cheese. *International journal of dairytechnology*. 57(1), 57-63.

**Amimour, M. (2019).** Essais d’optimisation des procédés de fabrication des fromages traditionnels de qualité (J’ben). Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. Science et Technologie Alimentaire. Technologie Alimentaire et Nutrition (TAN). 178.

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

**AOAC. (2000).** Association of Official analytical chemistry. Official Methods of analysis, 17 thEnd. Washington, D.C, 705-715.

**AOAC. (2002).** Association of Official Analytical Chemistry. Ash of cheese. Official method 935.42, Chapter 33, 71.

**Arenas, R., González, L., Sacristán, N., Tornadijo, M. E., Fresno, J. M. (2015).** Compositional and biochemical changes in Genestoso cheese, a Spanish raw cow's milk variety, during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4), 851-859.

## B

**Belbeldi, A. (2013).** Contribution à la caractérisation du fromage Bouhezza : Contenu lipidique et vitamines. Thèse de doctorat : *Institut de la Nutrition, de l’Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires*. Constantine, 60.

**Beresford T.M., Fitzsimons N. A., Brennan N.L., Cogan T.M. (2001).** Recent advances in cheese microbiology. *International dairy journal*. 11, 259–274.

**Berger, T., Butkofer, U., Rech, C-H., Eckhart, J., Dubach, A., Stalder, M., Luczinski, K., Stalder, U. (2004).** Manuel Suisse des denrées alimentaires. Le lait, 118.

**Bintsis, T., Papademas, P. (2017).** An overview of the cheesemaking process. Global cheesemaking technology: Cheese quality and characteristics. *John Wiley and Sons*. 120-156.

**Bonizzi, I., Buffoni, J. N., Feligini, M. (2009).** Quantification of bovine casein fractions by direct chromatographic analysis of milk. Approaching the application to a real production context. *Journal of Chromatography A*, 1216(1), 165-168.

**Boullouf, A. (2016).** Étude du pouvoir technologique de quelques bactéries lactiques du fromage traditionnel « Bouhezza ». Mémoire de Magister (sciences alimentaires) université Mentouri Constantine. *Institut de la Nutrition, de l’Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (I.N.A.T.A.A.)*, 9.

**Brulé G., Lenoir J. et Ramet J.P. (1997).** Les mécanismes généraux de la transformation du lait en fromage Chapitre 1 : La micelle de caséine et la coagulation du lait. Dans *Le fromage*. Ed. Eck A. et Gillis J.C. 3<sup>ème</sup> édition. *Technique et Documentation*. Lavoisier. 39-875.

**Brulé, G., Lenoir, J. (1990).** Les mécanismes généraux de la transformation du lait en fromage. *Le fromage. Technique et Documentation*, Lavoisier, Paris, 1-21.

## C

**Charby, J., Hébel, P., Vaudaine, S. (2017).** Les produits laitiers en France: évolution du marché et place dans la diète. *Cahiers de nutrition et de diététique*, (52), 25-34.

**Choisy C., Desmaeaud M., Gueguen M., Lenoir J., Schmidt J., Tourneur C. (1997).** Les phénomènes microbiens dans le fromage. *Technique et Documentation*. Lavoisier. 377.

**Cholet, O. (2006).** Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire, *Agro Paris Tech*.

**Codex Alimentarius., (2000).** Norme générale codex pour le fromage. Lait et produits laitiers. 2<sup>ème</sup> édition, 12.

**Collomb, M., Spahni, M. (1995).** Revue des méthodes de dosage des acides gras libres dans le lait et les produits laitiers. *LWT-Food Science and Technology*, 28(4), 355-379.

## D

**D’Incecco, P., Limbo, S., Hogenboom, J., Rosi, V., Gobbi, S., Pellegrino, L. (2020).** Impact of extending hard-cheese ripening: A multi parameter characterization of Parmigiano-Reggiano cheese ripened up to 50 months. *Foods*, 9(3), 268.

**Dahou, A. (2017).** Étude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industriel à pâte molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ses aptitudes

technologiques. Thèse de doctorat (Sciences Agronomiques). Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem. Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale. 23

**Daniel, S.G., Patrick, T.C. (2010).** Fromage **In** : Science technologie du lait: transformation du lait. *Québec : Presse Internationale Polytechnique*, 394-415.

**Debry, G. (2001).** Lait nutrition et santé. Paris : *Technique et Documentation*. 566.

**Deghnouche, K., Boukhalfa, H., Titaouine, M., Gaba, M. (2019).** Changement des composants biochimiques du sang et du lait durant la lactation chez la vache laitière dans les élevages de l'est algérien. *Revue Agrobiologia*, 1506-1514.

**Delgado, F. J., González-Crespo, J., Cava, R., Ramírez, R. (2011).** Proteolysis, texture and color of a raw goat milk cheese throughout the maturation. *European Food Research and Technology*, 233(3), 483-488.

**Derouiche, M., Medjoudj, H., Aissaoui Zitoun, W ., Zidoune M. N., (2017).** Some Traditional Cheeses Manufactured in Algeria **In**: Cheese Production, Consumption And Health Benefits. *Food Science And Technology*, 225-243.

## E

**El Marnissi, B., Belkhou, R., Bennani., L. (2013).** Caractérisation microbiologique et physicochimique du lait cru et de ses dérivés traditionnels Marocains (Lben et Jben). *Les technologies de laboratoire*, 8(33).

**El-Bakry, M., Sheehan, J. (2014).** Analysing cheese microstructure: A review of recent developments. *Journal of Food Engineering*, 125, 84-96.

**Ercan, D., Korel, F., Yüceer, Y. K., Kınık, Ö. (2011).** Physicochemical, textural, volatile, and sensory profiles of traditional Sepet cheese. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4300-4312.

## F

**Fang, X., Rioux, L.E., Labrie, S., Turgeon, S.L. (2016).** Commercial cheeses with different texture have different disintegration and protein/peptide release rates during simulated in vitro digestion. *International Dairy Journal*, 56, 169-178.

**Fox, P., Guinee, T.P. (2020).** Cheese : Overview, *Reference Module in Food science*. Elsevier.

**Fox, P.F et McSweeney, P.L.H. (2017).** Cheese: An Overview. **In**: *Cheese. Academic Press*. Elsevier. 5-21.

**Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L. (2017).** Biochemistry of cheese ripening. **In**: *Fundamentals of cheese science. Springer. Boston, MA*. 391- 442.

**Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P.L.H., O'Mahony, J.A. (2015).** Dairy chemistry and biochemistry. *International Publishing Switzerland*. Springer, Cham. 2<sup>ème</sup> édition. 584.

**Freitas, A.C., Rodrigues, D., Duarte, A.C., Gomes, A.M. (2013).** The principals of cheese making: an overview. **In:** Handbook of cheese in health: Production, nutrition and medical Sciences. *Wageningen Academic Publisher*, 485-507.

## G

**Gaüzere, Y., Anglande, P., Allut, G., Robert, C., Barral, J., Bärtschi, C. (2016).** L'affinage généralités. *Collection L'essentiel*, 26.

**Georgala, A., Moschopoulou, E., Aktypis, A., Massouras, T., Zoidou, E., Kandarakis, I., Anifantakis, E. (2005).** Evolution of lipolysis during the ripening of traditional Feta cheese. *Food Chemistry*, 93(1), 73-80.

**Guetouache, M., Guessas, B., Medjekal, S. (2014).** Composition and nutritional value of raw milk. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*. 2(10), 115-122.

**Guinee, T.P., Fox, P.F. (2017).** Salt in cheese: physical, chemical and biological aspects. **In:** Cheese. *Academic Press*. 317-375.

## H

**Hayaloglu, A. A., Ozer, B. H., Fox, P. F. (2008).** Cheeses of Turkey: 2. Varieties ripened under brine. *Dairy Science and Technology*, 88(2), 225-244.

**Hayaloglu, A.A., Karabulut, I. (2013).** Characterization and comparison of free fatty acid profiles of eleven varieties of Turkish cheeses. *International Journal of Food Properties*, 16(6), 1407-1416.

**Hernández Galán, L., CardadorMartínez, A., Picque, D., Spinnler, H.E., López Del Castillo Lozano, M., Martín Del Campo Barba, S.T. (2016).** Angiotensin converting enzyme inhibitors and antioxidant peptides release during ripening of Mexican Cotija hard cheese. *Journal Food Resartch*, 5(3), 85-91.

**Hurtaud, C., Buchin, S., Berodier, F., Duboz, G., Beuvier, E. (2012).** Effet de combinaisons d'aliments riches en acides gras oméga 3 sur le profil en acides gras du lait et les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles d'un fromage de type pâte pressée cuite. *Rencontres Recherches Ruminants (3R)*. Institut de l'Elevage-INRA.441.

## J

**J.O.R.A (Journal Officiel de la République Algérienne N° 25). (2014).** Méthode de détermination de la teneur totale en matière sèche des fromages et des fromages fondus.

**Jain, A., Jain, R., Jain, S. (2020).** Basic Techniques in Biochemistry, Microbiology and Molecular Biology. Springer. *Humana Press*, 281.

**Jeantet, R. Croguennec, T. Mahaut, M. Schuck, P., Brule, G. (2008).** Les produits laitiers. 2<sup>ème</sup> édition. Lavoisier, Paris : *Technique et Documentation*, 184.

## K

**Khattab, A.R., Guirguis, H.A., Tawfik, S.M., Farag, M.A. (2019).** Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trends in Food Science and Technology*. 88. 343-360.

**Khoualdi, G. (2017).** Caractérisation du fromage traditionnel algérien « Medeghissa ». Mémoire de Magister (Sciences Alimentaires). Université des Frères Mentouri Constantine. *Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (I.N.A.T.A.A.)*. 96.

**Kim, N. S., Lee, J. H., Han, K. M., Kim, J. W., Cho, S., Kim, J. (2014).** Discrimination of commercial cheeses from fatty acid profiles and phytosterol contents obtained by GC and PCA. *Food Chemistry*, 143, 40-47.

**Kindstedt, P. S. (2014).** The basics of cheesemaking. *Cheese and microbes*, 17-38.

**Kongo, J.M., Malcata, F.X. (2016).** Cheese: Processing and Sensory Properties. **In:** encyclopedia of food and health. Elsevier, 748-754.

**Kouamé-Sina, S. M., Bassa, A., Dadié, A., Makita, K., Grace, D., Dje, M., Bonfoh, B. (2010).** Analyse des risques microbiens du lait cru local à Abidjan (Côte d'Ivoire). *Revue Africaine de Santé et de Productions animales*. 35-42.

## L

**Larpent, J.P., Copin, M.P., Germonville, A., Jacquet, M., Thétas, J.L. (1997).** Microbiologie du lait et des produits laitiers. **In :** Microbiologie alimentaire. Paris : Lavoisier. 704-805.

**Leclercq-Perlat, M.N., Sicard, M., Perrot, N., Trelea, I.C., Picque, D., Corrieu, G. (2015).** Temperature and relative humidity influence the ripening descriptors of Camembert-type cheeses throughout ripening. *Journal of Dairy Science*. 98(2).1325-1335.

**Leksir, C., Chemmam, M. (2015).** Contribution on the characterization of klila, a traditional cheese in east of Algéria. *Livestock Research for Rural Development*, 27(5).

**Licón, C. C., Carmona, M., Molina, A., Berruga, M.I. (2012).** Chemical, microbiological, textural, color and sensory characteristics of pressed ewe milk cheeses with saffron (*Crocus sativus* L.) during ripening. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4263-4274.

**Lopez, C., Le Ruyet, P., Quiblier, J. P. (2010).** Matière grasse laitière dans les fromages affinés: Effets de sa composition, de sa structure et des autres constituants de la matrice sur sa digestion et conséquences métaboliques. *Sciences des Aliments*, 29(1), 69.

## M

- Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G. (2000).** Initiation à la technologie fromagère. Editions *Technique et Documentation*.
- Malegori, C., Oliveri, P., Mustorgi, E., Boggiani, M. A., Pastorini, G., Casale, M. (2021).** An in-depth study of cheese ripening by means of NIR hyperspectral imaging: Spatial mapping of dehydration, proteolysis and lipolysis. *Food Chemistry*, 343
- Marrone, R., Balestrieri, A., Pepe, T., Vollano, L., Murru, N., Michael, J.D., Anastasio, A. (2014).** Physicochemical composition, fatty acid profile and cholesterol content of “Pecorino Carmasciano” cheese, a traditional Italian dairy product. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36(1-2), 85-89.
- Martin, B., Hurtaud, C., Graulet, B., Ferlay, A., Chilliard, Y., Coulon, J.B. (2009).** Herbe et qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. *Fourrages*, 199, 291-310.
- Matallah, S., Matallah, F., Djedidi, I., Mostefaoui, K. N., Boukhris, R. (2017).** Qualités physico-chimique et microbiologique de laits crus de vaches élevées en extensif au Nord-Est Algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 29(11).
- Mathieu, J. (1998).** Initiation à la physicochimie du lait. Lavoisier. *Technique et Documentation*. Paris.
- McSweeney, P.L. (2004).** Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2-3), 127-144.
- McSweeney, P.L. (2007).** Principal families of cheese. **In:** Cheese problems solved, *Published Wood head Publishing Limited and CRC Press LLC*, 181-189.
- McSweeney, P.L. (2017).** Biochemistry of cheese ripening: introduction and overview. **In:** Cheese *Academic Press*, 379-387.
- McSweeney, P.L., Hayaloglu, A. A., O'Mahony, J. A., Bansal, N. (2006).** Perspectives on cheese ripening. *Australian Journal of Dairy Technology*, 61(2), 69.
- McSweeney, P.L.H., Sousa, M.J. (2000).** Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait* 80, 32.
- Medjoudj, H., Aouar, L., Derouiche, M., Choiset, Y., Haertlé, T., Chobert, J.M., Zidoune, M.N., Hayaloglu, A.A., (2020).** Physicochemical, microbiological characterization and proteolysis of Algerian traditional Bouhezza cheese prepared from goat's raw milk. *Analytical Letters*, 53, 905-921.
- Michalski, M. C., Camier, B., Briard, V., Leconte, N., Gassi, J. Y., Goudédranche, H., Fauquant, J. (2004).** The size of native milk fat globules affects physico-chemical and functional properties of Emmental cheese. *Le lait*, 84(4), 343-358.
- Murtaza, M.A., Ur-Rehman, S., Anjum, F.M., Huma, N., Hafiz, I. (2014).** Cheddar cheese ripening and flavor characterization: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(10), 1309-1321.

## N

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

## O

**O'Brien, N.M ., O'Connor, T.P. (2017).** Nutritional Aspects of Cheese. **In:** Cheese. *Academic*.

**Oliveira Carneiro, J., Chaves, A. C. S. D., Stephan, M. P., Boari, C. A., Koblitz, M. G. (2020).** Artisan minas cheese of Serro: proteolysis during ripening. *Heliyon*, 6(7).

## P

**Perotti, M. C., Bernal, S. M., Meinardi, C. A., Zalazar, C. A. (2005).** Free fatty acid profiles of Reggianito Argentino cheese produced with different starters. *International Dairy Journal*, 15(11), 1150-1155.

**Possas, A., Bonilla-Luque, O. M., Valero, A. (2021).** From Cheese-Making to Consumption: Exploring the Microbial Safety of Cheeses through Predictive Microbiology Models. *Foods*, 10(2), 355.

**Pradal, M. (2012) .** La transformation fromagère caprine fermier : bien fabrique pour mieux valoriser ses fromages de chèvre. Lavoisier, Paris : *Technique et Documentation, Press.* 603-611.

## R

**Renhe, I.R.T., Perrone, Í.T., Tavares, G.M., Schuck, P., de Carvalho, A.F. (2019).** Physicochemical Characteristics of Raw Milk, Raw Milk, *Academic Press.* 29-43.

**Robinson, R.K. (Ed.). (2005).** Dairy microbiology handbook: the microbiology of milk and milk products. *John Wiley et Son*, 34.

## S

**Sadi, F., Bouras, A. D., Ghomari, F. N., Hallouz, F., Noui, A. (2017).** Phenotypic, molecular and technological characterization of autochthonous lactobacilli strains isolated from cow's milk and goat of algerian populations. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), 339-353.

**Singh, T.K., Fox, P.F., Højrup, P., Healy, A. (1994).** A scheme for the fractionation of cheese nitrogen and identification of principal peptides. *International Dairy Journal*, 4(2), 111-122.

**Soulat, J. (2021).** Des prairies aux produits : les effets des pratiques dans les filières herbagères bovines et ovines sur les qualités des produits laitiers et carnés. *Cluster Herbe Massif central, Aubière : SIDAM* .62.

**Soustre, Y., Chesneau, C., Marmonier, C. (2011).** Place de la matière grasse laitière dans l'alimentation des Français. *Sciences des Aliments*, 30(1), 33.

**Stanley, G. (1998).** Cheeses. In *Microbiology of fermented foods*. Springer, Boston, MA, 263-307.

## T

**Tadjine, D., Boudalia, S., Bousbia, A., Khelifa, R., Mebirouk, L., Tadjine, A., Chemmam, M. (2019).** Pasteurization effects on yield and physicochemical parameters of cheese in cow and goat milk. *Food Science and Technology*, 40, 580-587.

**Thierry, A., Collins, Y.F., Mukdsi, M.A., McSweeney, P.L., Wilkinson, M.G., Spinnler, H.E. (2017).** Lipolysis and metabolism of fatty acids in cheese. In: Cheese. *Academic Press*, 423-444.

**Troch, T., Lefébure, É., Baeten, V., Colinet, F., Gengler, N., Sindic, M. (2017).** Cow milk coagulation: process description, variation factors and evaluation methodologies. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21 (4). 276-287.

## U

**Upreti, P., Metzger, L. E. (2007).** Influence of calcium and phosphorus, lactose, and salt-to-moisture ratio on Cheddar cheese quality: pH changes during ripening. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 1-12.

## V

**Varnam, A et Sutherland, J.P. (2001).** Milk and milk products: Technology, chemistry and microbiology. *Springer Science et Business Media*.

**Velázquez-Varela, J., Castro-Giraldez, M., Cuibus, L., Tomas-Egea, J. A., Socaciu, C et Fito, P.J. (2018).** Study of the cheese salting process by dielectric properties at microwave frequencies. *Journal of Food Engineering*, 224, 121-128.

**Vierling, E. (2008).** Aliments et boissons. Filières et produits. 3<sup>ème</sup> édition. *Biosciences et techniques*, Paris, 15-16.

**Vignola, C.L. (2002).** Science et technologie du lait : transformation du lait. *Presses inter Polytechnique*. Lavoisier. 608.

**Vilain, A. C. (2010).** Qu'est-ce que le lait ? *Revue française d'allergologie*, 50(3), 124-127.

## W

**Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., et Wehrmüller, K. (2008).** Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 389-405.

**Wolf, I.V., Perotti, M.C., Bernal, S.M., Zalazar, C.A. (2010).** Study of the chemical composition, proteolysis, lipolysis and volatile compounds profile of commercial Reggianito



Argentino cheese: Characterization of Reggiano Argentino cheese. *Food Research International*, 43(4), 1204-1211.

**X**

**Xia, Y., Yuan, R., Weng, S., Wang, G., Xiong, Z., Zhang, H. (2020).** Proteolysis, lipolysis, texture and sensory properties of cheese ripened by *Monascus fumus*. *Food Research International*, 137, 109-657.

**Z**

**Zonoubi, R., Goli, M. (2021).** The effect of complete replacing sodium with potassium, calcium, and magnesium brine on sodium-free ultrafiltration Feta cheese at the end of the 60-day ripening period: Physicochemical, proteolysis–lipolysis indices, microbial, colorimetric, and sensory evaluation. *Food Science et Nutrition*, 9(2), 866-874.

## *Annexes*

---

**Annexe I : Echantillons du fromage « TAMGOUT »****Figure 01 : Echantillons du fromage « TAMGOUT ».****Annexe II : Matériels de laboratoire.****Produits chimiques et réactifs**

- L'alcool iso-amylique ;
- Solution méthanolique 2N d'hydroxyde de sodium ;
- Acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) ;
- Heptane ;
- Phénolphtaléine ;
- Eau distillée ;
- NaOH (0.1N) ;
- Sulfate de cuivre ( $CuSO_4$ ) ;
- Sulfate de Potassium ( $K_2SO_4$ ) ;
- HCl (N0.1) ;
- Acide borique (0.1N) ;
- Réactif de Tashiro ;

**Appareillage et autres**

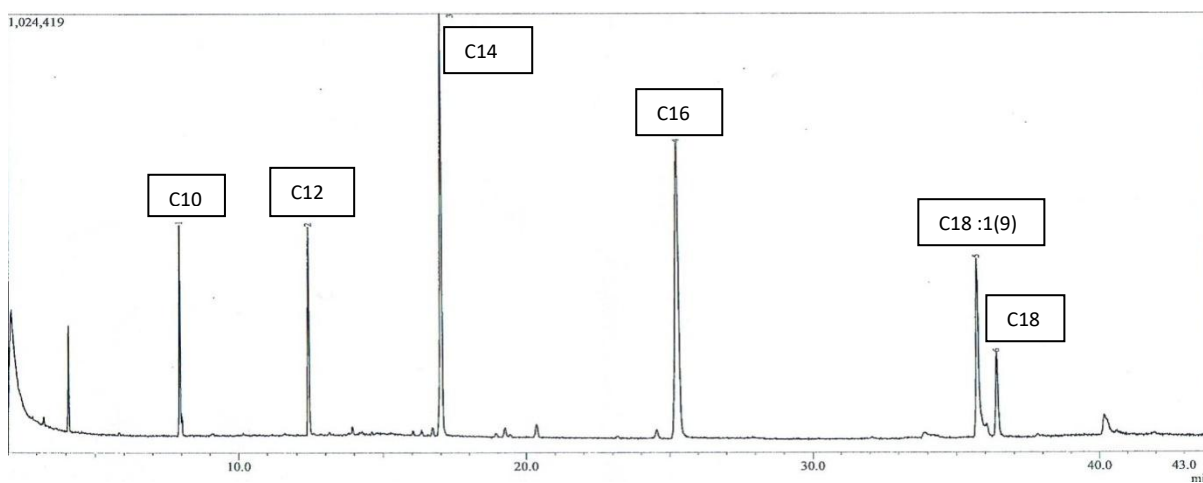
- Agitateur électrique menu avec barreau magnétique ;
- Appareil Kjeldhal ;
- Bain-marie ;
- Balance analytique ;
- Etuve électrique maintenue à  $103 \pm 2^\circ C$  ;
- Four à moufle maintenu à  $550^\circ C$  ;
- pH-mètre (Hanna) ;
- Réfrigérateur ;
- Plaque chauffante ;
- Chromatographie Phase Gazeuse couplée à Spectroscopie de Masse.

**Annexe III:** Résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons du fromage.**Tableau 02 :** Résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons du fromage.

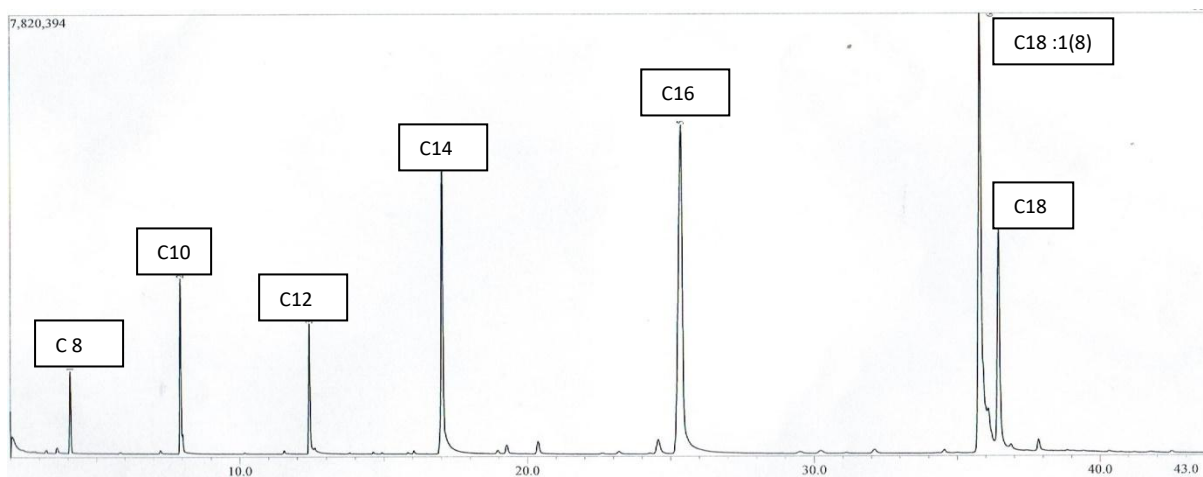
Paramètre	Durée d'affinage				
	J1	J15	J30	J45	J60
<b>pH</b>	5.72 ± 0.04	5.7 ± 0.03	5.63 ± 0.02	5.69 ± 0.01	5.77 ± 0.02
<b>L'acidité(%)</b>	0.81 ± 0.01	1 ± 0.01	1.48 ± 0.06	1.58 ± 0.06	1.75 ± 0.07
<b>MS (%)</b>	43.25 ± 1.06	54.25 ± 1.77	59.75 ± 1.77	64 ± 1.41	67 ± 1.41
<b>MM (%)</b>	2.25 ± 0.07	2.7 ± 0.14	2.95 ± 0.21	3.35 ± 0.21	3.5 ± 0.14
<b>MO (%)</b>	41 ± 0.99	51.55 ± 1.63	56.8 ± 1.56	60.65 ± 1.20	63.5 ± 1.27
<b>Humidité (%)</b>	56.57 ± 1.06	45.75 ± 1.77	40.25 ± 1.77	36 ± 1.41	33 ± 1.41
<b>MG (%)</b>	22	28.5	28	35	32.5
<b>Les protéines (%)</b>	8.49	/	17.87	/	21.4

(**pH** : potentiel d'Hydrogène ; **MS** : Matière Sèche ; **MM** : Matière Minérale ; **MO** : Matière Organique ; **MG** : Matière Grasse)

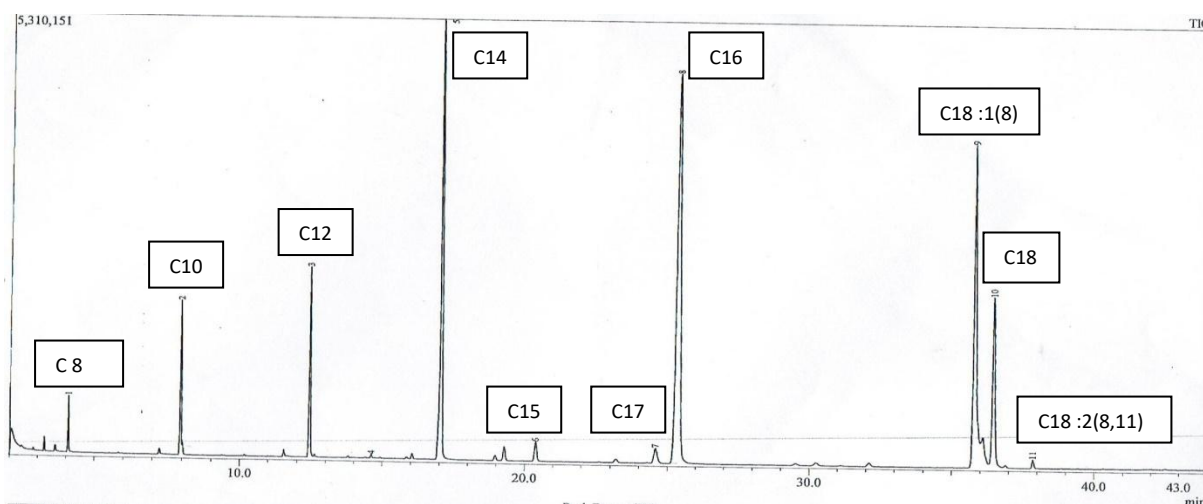
**Annexe IV:** Les chromatogrammes des acides gras d'échantillons du fromage au cours d'affinage.



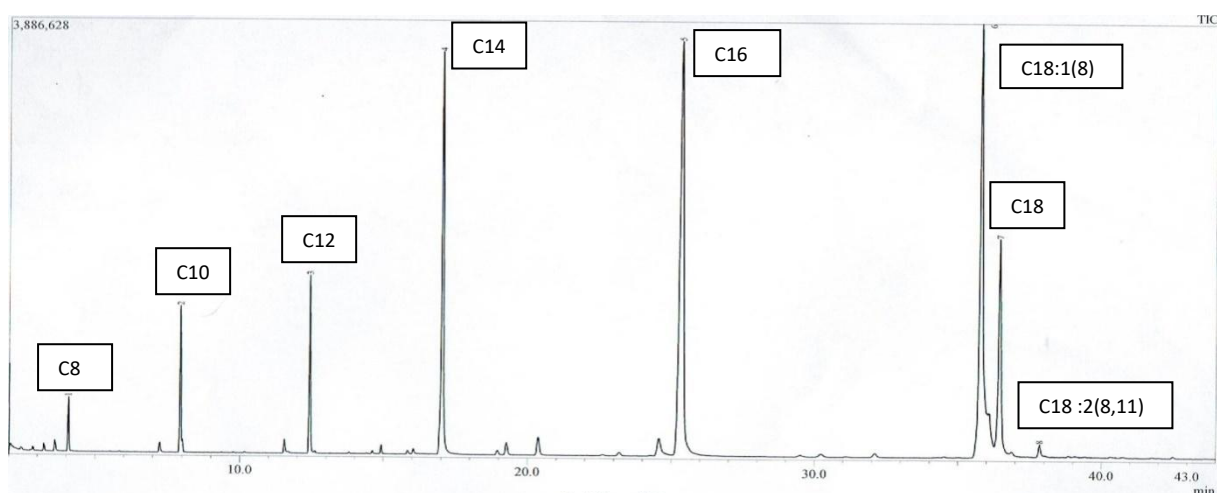
**Figure 01 :** Chromatogramme des acides gras pour l'échantillon 1 (J1).



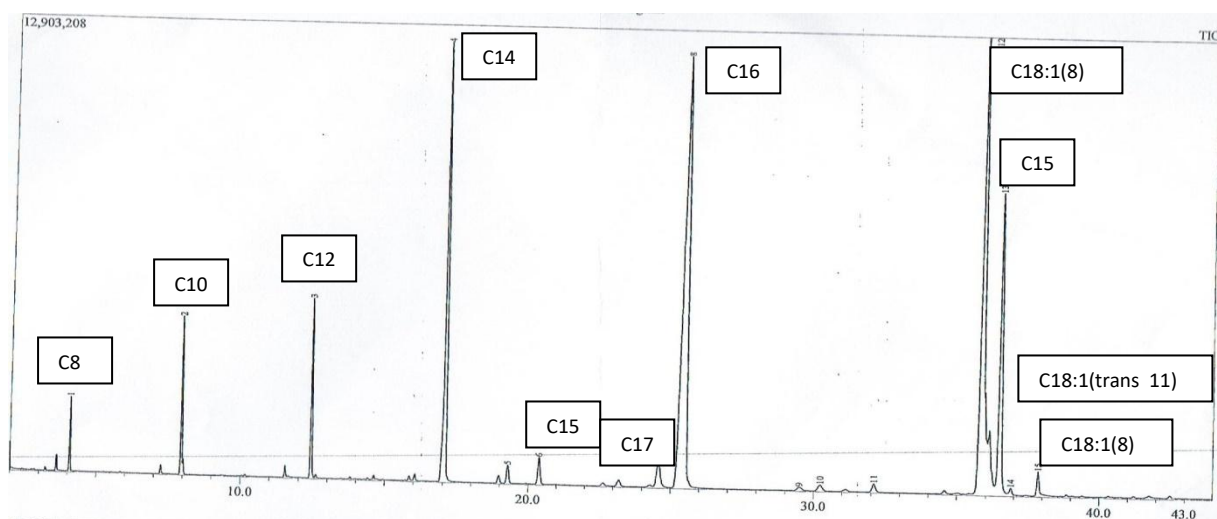
**Figure02 :** Chromatogramme des acides gras pour l'échantillon 2 (J15).



**Figure 03 :** Chromatogramme des acides gras pour l'échantillon 3 (J30).



**Figure 04** : Chromatogramme des acides gras pour l'échantillon 4 (J45).



**Figure 05** : Chromatogramme des acides gras pour l'échantillon 5 (J60).

**Annexe V: Résultats d'analyse par GC-MS des acides gras d'échantillons du fromage  
« TAMGOUT ».**

**Tableau 01 : Résultats d'analyse par GC-MS des acides gras d'échantillons du fromage au cours d'affinage.**

<b>Nom systématique</b>	<b>Nom commun</b>	<b>Représentation</b>	<b>J1</b>	<b>J15</b>	<b>J30</b>	<b>J45</b>	<b>J60</b>
Acide octanoïque	Acide caprylique	(C8 :0)		5.03	3.18	2.93	3.48
Acide décanoïque	Acide caprique	(C10 :0)	14.78	10.24	8.57	7.97	7.08
Acide dodécanoïque	Acide laurique	(C12 :0)	15	7.94	10.88	9.64	8.39
Acide tridécanoïque	Acide tridécylique	(C13 :0)			0.17		
Acide tétradécanoïque	Acide myristique	(C14 :0)	30.61	17.43	25.25	21.72	20.43
Acide pentadécanoïque	Acide pentadécylique	(C15 :0)			1.08		1.26
Acide Hexadécenoïque	Acide palmitique	(C16 :0)	21.29	19.96	22.25	22.37	20.19
Acide heptadécanoïque	Acide margarique	(C17 :0)					0.38
Acide octadécenoïque	Acide stéarique	(C18 :0)	5.86	13.42	9.56	11.38	13.79
Acide 9-octadécenoïque	Acide oléique	(C18:1(9))	12.46				
Acide 8-octadécenoïque	Isomère de l'acide oléique	(C18 :1(8))		25.97	17.75	29.31	21.21
Acide 11-octadécenoïque	Acide trans-vaccénique	(C18 :1(trans11))					0.27
Acide 9,12 octadécédianoïque	Acide linoléique	(C18 :2(9,12))					1.11
Acide 8,11-octadécédianoïque	Isomère de l'acide linoléique	(C18 :2(8,11))			0.48	0.62	
Acide hexadécanoïque 14-méthyl		(C17 :0)					0.24
Acide hexadécanoïque 15-méthyl		(C17 :0)					0.16
Acide Tétradécanoïque 9-méthyl		(C16 :0)					0.85
Acide 11-hexadécanoïque		(C17 :0)					1.1

**Thème :** Analyse physicochimique du fromage « TAMGOUT » au cours d'affinage.

**Membres de Jury :**

**Présidente : Dr. AITMEDDOUR A.**

**Examineur : Mr. RAMOUNE Y.**

**Encadreur : Dr. LAGGOUNE S.**

**présenté par :**

M<sup>elle</sup> : BOUKERB Halima.

M<sup>elle</sup> : BOUDADI Manel.

### Résumé

Le fromage, en tant que principal produit laitier, est généralement consommé dans le monde en raison de sa haute valeur nutritionnelle.

Notre travail s'est basé sur l'étude de l'évolution des paramètres physicochimiques d'un fromage affiné type "TAMGOUT" durant le 1<sup>er</sup>, le 15<sup>ème</sup>, le 30<sup>ème</sup>, la 45<sup>ème</sup> et le 60<sup>ème</sup> jour d'affinage, ce fromage est fabriqué à partir du lait de vache.

Pour suivre l'évolution de la qualité physicochimique du fromage étudié, nous avons effectué des analyses physicochimiques du fromage. Les résultats obtenus lors des différentes analyses montrent que le pH est d'environ 5.77, une réduction de l'humidité (33%) et l'augmentation de l'acidité (1.75%), de la matière sèche (67%), des cendres (3.5%), de la matière grasse (35%), des protéines (21.4%). Le profil d'acides gras des cinq échantillons analysés sont divisés en acides gras saturés (75%) et insaturés (25%).

**Mots clés :** TAMGOUT, Analyses physico-chimiques, Fromage affiné, GC-SM.

### Summary

Cheese, as the main dairy product, generally consumed in the world because of its high nutritional value.

Our work based on the study of the evolution of the physicochemical parameters of a ripened cheese type "TAMGOUT" during the 1st, the 15th, the 30th, the 45th and the 60th day of ripening, this cheese made from cow's milk.

To follow the evolution of physicochemical quality of the studied cheese, we have carried out physicochemical analyses of cheese. The results obtained during the different analyses show that the pH is about 5.77, a reduction of humidity (33%) and the increase of acidity (1.75%), dry matter (67%), ash (3.5%), fat (35%), and proteins (21.4%). The fatty acid profiles of the five samples analyzed are divided into saturated (75%) and unsaturated (25%) fatty acids.

**Keywords:** TAMGOUT , Physico-chemical analyzes, Ripened cheese, GC-MS.

### ملخص

يعد الجبن منتج من مشتقات الحليب الرئيسية ويستهلك في جميع انحاء العالم نظرا لقيمه الغذائية العالية. خلال عملنا ركزنا على دراسة تطور الجودة الفيزيوكيميائية لأحد أنواع الجبن المصنوع من حليب البقر وهو الجبن الناضج "TAMGOUT"، وهذا عبر تسلسل زمني لمراحل نضجه ابتداء من اليوم الأول إلى غاية اليوم 60.

ولهذا قمنا بإجراء تحاليل لعينات بمعدل عينة كل 15 يوم بمجموع 05 عينات، وتظهر النتائج المتحصل عليها أن درجة الحموضة تبلغ حوالي 5.77، مع انخفاض في الرطوبة (33%)، كما أعطت التحاليل النسب التالية: المادة الجافة (67%)، المادة المعدنية (3.5%)، الدهون (35%)، البروتينات (21.4%)، وأحماض دهنية مشبعة وغير المشبعة بنسبة (75%) و (25%) على التوالي.

**الكلمات المفتاحية:** تامقوت، التحاليل الفيزيو كيميائية، الجبن الناضج، GC-MS.