



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة سعد دحلب - البلدية 11

Institut des sciences et techniques appliquées معهد العلوم والتقنيات التطبيقية (العلوم الغذائية)

Spécialité : technologie alimentaire تخصص تكنولوجيا الغذاء

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme master

**THÈME**

**Étude de l'influence du sumac sur la conservation du fromage**

Présenté par : Belkhir Meriem  
Larbi essaidi Abdelkader

Soutenu le :25/06/2025

Devant le jury composé de :

Président : M. BOUKHARI. N Maître de conférence B (ISTA - Blida 1)

Promotrice : Mme. ATTAL. F.S. Maître de conférence B (ISTA- Blida 1)

Examinatrices : Mme TERKI. L Maître de conférence B (ISTA- Blida 1)

Année universitaire 2024 - 2025

## REMERCIEMENTS

Avant toute chose, nous remercions **Dieu Tout-Puissant**, qui nous a offert la santé, la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail. C'est avec Sa grâce que nous avons pu franchir les différentes étapes de notre parcours universitaire.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à **nos parents bien-aimés**, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de nos études. Leur présence, leur confiance et leurs encouragements ont été notre moteur chaque jour. Rien de tout cela n'aurait été possible sans leur appui constant.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères et les plus profonds à notre encadrante, Dr **ATTAL F.S**, pour son accompagnement exceptionnel, sa disponibilité, son écoute attentive et sa grande générosité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Dès les premiers instants, elle a su nous accueillir avec bienveillance, et nous encadrer avec rigueur et patience. Elle a toujours été présente pour répondre à nos interrogations, nous orienter dans nos démarches, et surtout nous motiver dans les moments les plus exigeants. Son implication, sa pédagogie et sa confiance ont profondément marqué notre parcours. Ce mémoire est bien plus qu'un simple travail académique : il représente une étape personnelle et humaine à laquelle elle a grandement contribué. Grâce à elle, nous avons appris à aller plus loin, à rester rigoureux, et à persévérer malgré les difficultés. Nous garderons une immense admiration pour sa personnalité, à la fois professionnelle et profondément humaine. **Merci infiniment, Madame, pour votre soutien, vos conseils précieux, et pour avoir cru en nous.**

Nos remerciements vont également à Monsieur **BOUKHARI** pour son aide précieuse, sa disponibilité et son écoute. Sa contribution a été essentielle pour l'avancement de ce travail, et nous lui en sommes très reconnaissants.

Enfin, nous remercions chaleureusement Monsieur **BOUKHARI. N** et Madame **TERKI. L** d'avoir accepté de faire partie de notre jury. Leur présence à nos côtés et l'intérêt qu'ils ont porté à notre mémoire témoignent de leur engagement et de leur soutien, que nous apprécions sincèrement.

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail :*

*À ma chère mère, celle qui a toujours été à mes côtés, la femme la plus forte et la plus courageuse au monde. Votre patience, votre amour inconditionnel et vos prières silencieuses ont été ma lumière dans les moments sombres. C'est à vous que je dois cette réussite.*

*À mon père bien-aimé, ce grand homme au cœur noble, qui a consenti aux plus grands sacrifices pour le bien de notre famille. Votre force, votre sagesse et votre dévouement ont tracé le chemin de mon avenir. Merci pour tout ce que vous avez fait, souvent en silence, mais toujours avec amour.*

*À mes sœurs adorées, Asma et Yakout, les piliers de ma vie, mon refuge et mon soutien indéfectible. Vous avez toujours été là, à chaque étape, partageant mes joies et apaisant mes peines. Votre présence est une bénédiction dans ma vie.*

*À mes frères, Ahmad et Oussama, les véritables légendes de mon existence. Vous m'avez protégée, épaulée et soutenu avec une force et une fidélité qui me touchent profondément. Vous êtes et resterez toujours mes héros.*

*À Mohamed Metidji et Mohamed Askri, les époux de mes sœurs, mais bien plus encore : des frères de cœur, toujours présents avec leur bienveillance, leur aide et leur sincère affection. Je vous en suis infiniment reconnaissante.*

*À mon binôme et ami Abdelkader, compagnon fidèle tout au long de ce projet et durant tout notre parcours universitaire. Ta collaboration et ton sérieux ont été des atouts précieux dans cette réussite commune. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir été à mes côtés à chaque étape.*

*À mes chères amies : Ikram, Nour, Bouchra Sirine, ines yesmine, warda, sara et anissa qui ont toujours su trouver les mots pour m'encourager, me soutenir et me redonner le sourire. Votre amitié est un trésor que je chéris.*

*Meriem*

*Je dédie ce mémoire à ceux qui ont été ma force, mon refuge et ma source d'inspiration tout au long de ce parcours.*

*À ma mère*

*La lumière de ma vie, mon pilier, mon exemple de courage et de patience.*

*Chaque pas que je fais, chaque réussite que je célèbre, je te les dois. Tes prières m'ont protégé, ton amour m'a porté, et ton sourire m'a toujours redonné espoir même dans les moments les plus sombres.*

*À mon père*

*L'homme de principes, de sagesse et de générosité. Merci pour tout ce que tu as sacrifié pour moi, pour les valeurs que tu m'as transmises, et pour ta foi en moi même lorsque je doutais de moi-même.*

*À ma petite sœur Ismahan*

*Mon petit rayon de soleil, ta douceur et ton innocence me rappellent toujours ce qu'il y a de plus pur et sincère dans la vie.*

*À mes frères Seddik, Abdenoor et Ahmed*

*Merci pour votre présence solide, vos mots d'encouragement, et cette fraternité qui me donne la force d'avancer. Vous êtes plus que des frères, vous êtes mes repères, mes exemples, mes alliés.*

*À mes amis Abdelhak, Karim, Hanafi, Yacine, Reda, Zakia, Merouane et Abdelraouf,*

*Chacun d'entre vous a apporté une pierre à l'édifice de ce parcours. Merci pour les rires, les discussions, les moments de doute partagés, et surtout pour cette amitié sincère et indéfectible. Dans les moments d'épuisement, vous avez su redonner de la légèreté à mon chemin.*

*Et enfin, à Meriem, mon binôme,*

*Merci pour ton sérieux et ton implication durant ce travail partagé.*

*Abdelkader*

## **Liste des abréviations et d'acronymes**

- **Aw** : Activité de l'eau
- **ACP** : Analyse en Composantes Principales
- **AHA** : Analyse Hiérarchique Ascendante
- **°D** : Degré Dornic (unité d'acidité titrable)

- **CFU / UFC** : Colony Forming Units / Unités Formant Colonie
- **Na OH** : Hydroxyde de sodium
- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide sulfurique
- **H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>** : Acide borique
- **VRBL** : Violet Red Bile Lactose agar (milieu de culture)
- **VRBG** : Violet Red Bile Glucose agar
- **XLD** : Xylose Lysine Deoxycholate agar
- **TSI** : Triple SugarIron agar
- **LIA** : Lysine Iron Agar
- **TSE** : Tryptone Sel Eau (diluant microbiologique)
- **PCA** : Plate Count Agar
- **TTA** : Titratable Total Acidity (acide lactique %)
- **EqAG / EAG** : Équivalent Acide Gallique
- **EqQ** : Équivalent Quercétine
- **BHT** : Butylated Hydroxy Toluene
- **ABTS<sup>+</sup>** : 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
- **DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl
- **ISO** : International Organization for Standardization
- **AOAC**: Association of Official Analytical Chemists
- **CNIEL** : Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière
- **INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
- **ISTA** : Institut des Sciences et Techniques Appliquées
- **ANOVA** : Analyse de la variance
- **CP1 / CP2** : Composantes principales 1 et 2
- **pH** : Potentiel Hydrogène
- **J+1, J+7, J+14, J+21** : Jours d'analyse après fabrication
- **JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne

## Liste des figures

<b>FIGURE 1</b> TECHNIQUE DE FABRICARION DE FROMAGE FRAIS SELON ( <b>CNIEL ,INRAE 2021</b> )	11
<b>FIGURE 2</b> (ZUHAIR, T 2020) RHUSCORIARIA .....	14
<b>FIGURE 3</b> DIAGRAMME DE FABRICATION DU FROMAGE FRAIS ENRICHI EN SUMAC A DIFFERENTES CONCENTRATIONS.....	30

<b>FIGURE 4</b> PROFIL SENSORIEL POUR LES DIFFERENTS FROMAGES PREPARES (FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI EN SUMAC A DIFFERENTES CONCENTRATIONS).....	46
<b>FIGURE 5</b> COMPARAISON DU CARACTERE ACIDITE DES FROMAGES PREPARES .....	47
<b>FIGURE 6</b> COMPARAISON DU CARACTERE SALINITE DES FROMAGES PREPARES. ....	48
<b>FIGURE 7</b> COMPARAISON DU CARACTERE INTENSITE D'AROME DES FROMAGES PREPARES... ..	48
<b>FIGURE 8</b> COMPARAISON DU CARACTERE AMERTUME DES FROMAGES PREPARES.....	49
<b>FIGURE 9</b> COMPARAISON DU CARACTERE ARRIERE-GOUT DES FROMAGES .....	49
<b>FIGURE 10</b> COMPARAISON DU CARACTERE DURETE (ASPECT) DES FROMAGES. ....	50
<b>FIGURE 11</b> COMPARAISON DU CARACTERE TEXTURE EN BOUCHE DES FROMAGES. ....	50
<b>FIGURE 12</b> COMPARAISON DU CARACTERE COULEUR DES FROMAGES. ....	51
<b>FIGURE 13</b> COMPARAISON DU CARACTERE ODEUR DES FROMAGES. ....	51
<b>FIGURE 14</b> PREFERENCE GENERALE DES FROMAGES.....	52
<b>FIGURE 15</b> EVALUATION DE LA MATIERE SECHE % DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS .....	56
<b>FIGURE 16</b> EVALUATION DE LA MATIERE SECHE % DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS .....	57
<b>FIGURE 17</b> <i>EVALUATION DU CENDRES % DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS .....</i>	58
<b>FIGURE 18</b> EVALUATION DU CENDRES % DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS.....	59
<b>FIGURE 19</b> EVALUATION DE PH DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS .....	60
<b>FIGURE 20</b> EVALUATION DU PH DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS .....	61
<b>FIGURE 21</b> EVALUATION D'ACIDITE (°D) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS.....	62
<b>FIGURE 22</b> EVALUATION D'ACIDITE (°D) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS .....	62
<b>FIGURE 23</b> EVALUATION PROTEINE (%) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C SUR 21 JOURS.....	64
<b>FIGURE 24</b> EVALUATION PROTEINE (%) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS .....	65
<b>FIGURE 25</b> <i>EVALUATION MG (%) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS.....</i>	66

<b>FIGURE 26</b> EVALUATION MG (%) DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C SUR 21 JOURS .....	67
<b>FIGURE 27</b> TENEUR EN POLYPHENOLS DU FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI EN SUMAC (13G) AU COURS DU STOCKAGE A 4°C .....	68
<b>FIGURE 28</b> TENEUR EN POLYPHENOLS DU FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI EN SUMAC (10G) AU COURS DU STOCKAGE A 21°C .....	68
<b>FIGURE 29</b> RESULTATS DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE PAR LE TEST DPPH (%) DU FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 4°C. ....	69
<b>FIGURE 30</b> RESULTATS DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE PAR LE TEST DPPH (%) DU FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI AU COURS DU STOCKAGE A 21°C. ....	70
<b>FIGURE 31</b> VALEURS PROPRES DE LA MATRICE DE CORRELATION DES VARIABLES ACTIVES ..	72
<b>FIGURE 32</b> PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN FACTORIEL (F1 ET F2).....	74
<b>FIGURE 33</b> PROJECTION DE L'ECHANTILLON DE FROMAGE FRAIS (TEMOIN) SUR LE PLAN FACTORIEL .....	75
<b>FIGURE 34</b> DENDROGRAMME DE CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DES ECHANTILLONS DE FROMAGE FRAIS.....	76
<b>FIGURE 35</b> VALEURS PROPRES DE LA MATRICE DE CORRELATION DE VARIABLE ACTIVES DE FROMAGE ENRICHI (13G) .....	77
<b>FIGURE 36</b> PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN FACTORIEL (F1 ET F2) DE FROMAGE ENRICHI (13G) .....	78
<b>FIGURE 37</b> PROJECTION DES ECHANTILLONS DE FROMAGE FRAIS ENRICHI EN SUMAC (13G) SUR LE PLAN FACTORIEL (F1 ET F2) .....	80
<b>FIGURE 38</b> DENDROGRAMME DE CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DE L'ECHANTILLON DE FROMAGE ENRICHI EN SUMAC (13 G) .....	81
<b>FIGURE 39</b> MINERALISATEUR KJELDAHLBEHRATEST .....	1
<b>FIGURE 40</b> BALANCE DE PRECISION.....	1
<b>FIGURE 41</b> AGITATEUR MAGNETIQUE .....	1
<b>FIGURE 42</b> SOXHLET .....	1
<b>FIGURE 43</b> DISTILLATEUR BEHRO TEST .....	2
<b>FIGURE 44</b> FROMAGE ENRICHI AVEC 7G DE SUMAC.....	5
<b>FIGURE 45</b> FROMAGE TEMOIN.....	5
<b>FIGURE 46</b> FROMAGE ENRICHI AVEC 13G DE SUMAC.....	5
<b>FIGURE 47</b> FROMAGE ENRICHI AVEC 10 G DE SUMAC .....	5
<b>FIGURE 48</b> LES ECHANTILLONS DANS J1 DE CONSERVATION A 4°C ET 21°C.....	6

<b>FIGURE 49</b> FROMAGE ENRICHI (13G) J 26 DE CONSERVATION A 4°C.....	6
<b>FIGURE 50</b> FROMAGE TEMOIN CONSERVER A 4°C J26.....	7

### **Liste des tableaux**

<b>TABLEAU 1</b> VALEURS NUTRITIONNELLES DES FROMAGES FRAIS DE TYPE FROMAGE BLANC ET PETIT SUISSE (DONNEES CIQUAL,POUR 100 G DE PRODUIT ) .....	9
<b>TABLEAU 2</b> COMPOSITION MINIRALE DE RHUS CORIARIA . L KAZEMI ET AL .2015.....	14

<b>TABLEAU 3</b> COMPOSES PHENOLIQUES IDENTIFIES DANS RHUS CORIARIA L (KAZEMI ET AL. 2025)	14
<b>TABLEAU 4</b> COMPOSITION EN ACIDES GRAS DE RHUS CORIARIA L (KAZEMI ET ALL 2025).....	15
<b>TABLEAU 5</b> COMPOSITION NUTRITIONNELLE DES FRUITS DE RHUS CORIARIA L. RAPPORTEE DANS DIFFERENTES ETUDES .....	15
<b>TABLEAU 6</b> COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE DU RHUS CORIARIA L.....	36
<b>TABLEAU 7</b> RESULTATS COMPARATIFS DU SCREENING PHYTOCHIMIQUE DES EXTRAITS AQUEUX ET ETHANOLIQUES DE RHUS CORIARIA L. ....	38
<b>TABLEAU 8</b> TENEURS EN POLYPHENOLS ET EN FLAVONOÏDES DE RHUS CORIARIA L .....	39
<b>TABLEAU 9</b> ACTIVITE ANTIOXYDANTE DE « RHUS CORIARIA » EXPRIMEE EN % D'INHIBITION .....	41
<b>TABLEAU 10</b> RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU SUMAC. ....	42
<b>TABLEAU 11</b> RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DU LAIT.....	44
<b>TABLEAU 12</b> RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU LAIT .....	45
<b>TABLEAU 13</b> LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE DU FROMAGE TEMOIN ET ENRICHI EN SUMAC (7 ,10 ET 13G).....	52
<b>TABLEAU 14</b> RESULTATS D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUE DES FROMAGES TEMOIN ET ENRICHI A 4°C .....	70
<b>TABLEAU 15</b> PRIX UNITAIRE DE COUT DE REVIENT DE INGREDIENTS POU 250G DE FROMAGE FRAIS ENRICHI EN SUMAC .....	82
<b>TABLEAU 16</b> ESSTIMATION DE PRIX DE REVIENT ET PRIX DE VENTE DE FROMAGE FRAIS ENRICHI AU SUMAC .....	83

## Résumé

Le sumac (*Rhus coriaria L.*), épice riche en composés antimicrobiens et antioxydants, a été ajouté en poudre lors de la fabrication d'un fromage frais (pasteurisation,ensemencement, coagulation, découpage, égouttage, salage, moulage), avec un lot témoin et trois lots enrichis à 7 g, 10 g et 13 g ; la formule à 13 g a fait l'objet d'analyses détaillées.

Des mesures physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées à J+1, J+7, J+14 et J+21 à 4 °C (et, pour évaluer la protection à température ambiante, à 21 °C). Au J+1, le lot 13 g présentait un pH d'environ  $4,6 \pm 1,23$ , une acidité titrable d'environ  $14,98 \pm 0,75^{\circ}\text{D}$ , une teneur en protéines proche de  $16,8 \pm 2,04$  % et en matières grasses autour de  $14,6 \pm 1,24$  %. À 4 °C, ces paramètres modérés induits par le sumac ont conduit à une inhibition prolongée du développement microbien jusqu'à J+21 mais à 21 °C, l'effet protecteur a été observé jusqu'à J+7 pour le fromage témoin et j+14 pour le fromage enrichi avant une détérioration rapide. Les données du témoin et du lot 13 g ont été soumises à une ANOVA ( $p < 0,05$ ) et à des analyses multivariées (ACP, classification hiérarchique), confirmant la significativité des effets observés. Tandis que les analyses microbiologiques confirment la stabilité hygiénique sans créer de biais organoleptique en l'absence de défauts perceptibles. Cette approche valide le potentiel du sumac comme conservateur naturel efficace pour le fromage frais en réfrigération prolongée.

**Mots clé :** fromage frais, *Rhus coriaria*, conservation, 4 °C, 21 °C, ANOVA.

## **Abstract**

Sumac (*Rhus coriaria L.*), aspicerich in antimicrobial and antioxidant compounds, was incorporated in powdered form during the manufacture of fresh cheese (pasteurization, inoculation, coagulation, cutting, draining, salting, molding). One control batch and three fortified batches (7 g, 10 g, and 13 g per liter of milk) were produced, with the 13 g

formulation subjected to detailed analyses. Physicochemical and microbiological measurements were performed at Day 1, Day 7, Day 14, and Day 21 at 4 °C (and, to assess ambient-temperature protection, at 21 °C). At Day 1, the 13 g batch exhibited a pH around  $4.6 \pm 1.23$ , titratable acidity  $14.98 \pm 0.75$  °D, protein content  $16.8 \pm 2.04$  %, and fat content  $14.6 \pm 1.24$  %. At 4 °C, these moderate changes induced by sumac led to prolonged inhibition of microbial growth up to Day 21; at 21 °C, the protective effect was observed until Day 7 for the control cheese and until Day 14 for the fortified cheese before rapid deterioration. Data from the control and the 13 g batch were subjected to ANOVA ( $p < 0.05$ ) and multivariate analyses (PCA, hierarchical clustering), confirming the significance of observed effects, while microbiological analyses verified hygienic stability without causing organoleptic bias in the absence of perceptible defects. This approach validates sumac's potential as an effective natural preservative for fresh cheese under extended refrigeration.

**Keywords:** fresh cheese, *Rhus coriaria*, preservation, 4 °C, 21 °C, ANOVA.

## ملخص

السماق الهجين غني بمركبات مضادة للمكروبات ومضادات الاكسدة. اضيف مسحوق اثناء انتاج الجبن الطازج (البسترة. التلقيح. التخثر. التقطيع. التصفية. التملح والقولبة) انتجت دفعة مرجعية وثلاثة دفعات (7 غ. 10 غ و 13 غ) مع تحليل تركيبية (13 غ) بالتفصيل. اجرية دراسات فيزيائية

ومكروبيولوجية في الايام 1 و7 و14 و21 في درجة حرارة 4 درجات مئوية (ولتقييم الحماية في درجة حرارة الغرفة في 21 درجة مئوية) في اليوم الاول بلغت القيمة الهيدروجينية للدفعة التي تزن 13 غ حوالي  $4.6 \pm 1.23$  وحموضة العينة  $14.98 \pm 0.75$  ومحتوى البروتين  $16.8 \pm 2.04$  ومحتوى الدهون  $14.6 \pm 1.24$

ادت هذه التغيرات المعتدلة التغيرات المعتدلة التي احدثها السماق الى تثبيط مطول لنمو الميكروبات حتى اليوم الحادي لو العشرين. وفي درجة حرارة 21 درجة مئوية لوحظ التأثير على الجبن الضابط حتى اليوم السابع. وحتى اليوم الرابع عشر في الجبن قبل التلف السريع. خضعت بيانات الجبن الضابط والدفعة 13 غ لتحليل التباين (القيمة الاحتمالية أكبر من 0.5) وتحليلات متعددة المتغيرات (تحليل المكونات الرئيسية. التجميع الهرمي) مما أكد اهمية التأثيرات الملحوظة بينما اكدت التحاليل المكروبيولوجية ثباتها من الناحية الصحية دون التسبب في تحيز حسي يؤكد هذا النهج فعاليتها كمواد حافظة طبيعية فعالة للجبن الطازج في ظل التبريد لفترات طويلة

الكلمات المفتاحية: جبن طازج. سماق. تخزين. التجميع الهرمي 4 درجة مئوية

## Table des matières

REMERCIEMENTS .....	
DEDICACES.....	
Liste des abréviations et d'acronymes .....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux .....	
Résumé .....	
INTRODUCTION.....	19
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE.....	
1. Définition d'un fromage .....	3
2. Historique de fromage.....	3
3. Origine du terme « Fromage » .....	3
4. Les types de fromage .....	4
5. Étapes clés de la fabrication du fromage .....	5
6. Le fromage frais .....	7
6.1. Définition .....	7
6.2. Types de fromage frais.....	7
6.3. Composition et valeur nutritive .....	8
6.4. Technologies du fromage frais.....	11
CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE SUMAC.....	
1. Généralités sur la famille <i>anacardiaceae</i> et genre <i>Rhus</i> .....	12
2. Définition du sumac ( <i>Rhus coriaria</i> ) .....	12
3. Description botanique .....	13
3.1 Feuilles.....	13
3.2 Fleurs.....	13
3.3 Fruits .....	13

3.4	Tiges.....	13
3.5	Habitat et répartition .....	13
3.6	Multiplication.....	13
4.	Composition de sumac .....	14
4.1	Composition minérale.....	14
4.2	Composés phénoliques identifiés.....	14
4.3	Composition en acides gras .....	15
4.4	Composition nutritionnelle des fruits.....	15
5.	Intégration du sumac dans l'industrie agroalimentaire.....	16
5.1	Potentiel bioactif et intérêt industriel.....	16
5.2	Activité antimicrobienne pour la conservation .....	16
ETUDE EXPERIMENTALE .....		
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES .....		
1.	Matériel.....	17
1.1	Matériels végétaux .....	17
1.2	Matériel biologique .....	17
2.	Méthodes.....	17
2.1	Analyses physico-chimiques du sumac .....	17
2.1.1	Détermination de la teneur en matière grasse.....	17
2.1.2	Détermination des cendres.....	18
2.1.3	Détermination de la matière sèche.....	18
2.1.4	Mesure du pH .....	19
2.1.5	Détermination de l'acidité titrable.....	19
2.1.6	Détermination de la teneur en protéines .....	19
2.2	Screening phytochimiques .....	20
2.2.1	Préparation des extraits bruts.....	20
2.2.2	Tests phytochimiques .....	20

2.2.3	Dosage des polyphénols totaux .....	21
2.2.4	Dosage des flavonoïdes totaux .....	22
2.3	Analyses microbiologiques du sumac.....	23
2.3.1	Préparation de la suspension mère.....	23
2.3.2	Préparation des Dilutions Décimales.....	24
2.3.3	Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT) .....	24
2.3.4	Recherche et dénombrement des <i>levures et moisissures</i> .....	24
2.3.5	Recherche et dénombrement des <i>coliformes fécaux</i> .....	24
2.3.6	Recherche des staphylocoques à coagulase positive .....	24
2.3.7	Recherche des Anaérobies sulfito-réducteurs.....	25
2.2.6	Analyses physico-chimiques de lait : .....	25
2.4.1	Détermination de la matière grasse (Méthode Gerber) .....	25
2.4.2	Dosage des protéines totales (Méthode Kjeldahl) .....	25
2.4.3	Mesure de l'acidité titrable (Méthode Dornic) .....	26
2.4.4	Mesure du pH .....	26
2.4.5	Détermination de l'extrait sec total (EST).....	26
2.2.7	Analyses microbiologiques du lait .....	26
2.5.1	Préparation de la solution mère .....	26
2.5.2	Préparation des dilutions décimales .....	27
2.5.3	Dénombrement des Enterobacteriaceae.....	27
2.5.4	Dénombrement des germes <i>aérobies a 30°C</i> .....	27
2.5.5	Détection de Salmonella spp. ....	27
3.	Préparation du Fromage Frais .....	28
1.1	Procédé de fabrication.....	28
3.1.1	Pasteurisation du lait.....	28
3.1.2	Ensemencement et coagulation .....	28
3.1.3	Tranchage et séparation du lactosérum .....	29

3.1.4	Égouttage .....	29
3.1.5	Salage et incorporation du sumac .....	29
3.1.6	Moulage et affinage .....	29
4.	Analyse sensorielle .....	31
5.	Test de stabilité .....	31
5.1	Analyses physico-chimiques.....	32
5.1.1	Mesure du PH .....	32
5.1.2	Détermination de l'extrait sec total (EST).....	32
5.1.3	Détermination de la matière grasse .....	32
5.1.4	Détermination de la teneur en cendres .....	32
5.1.5	Détermination de la teneur en protéines .....	33
5.1.6	L'acidité titrable .....	33
5.2	Les analyses microbiologiques .....	34
5.2.1	Préparation de la solution mère .....	34
5.2.2	Recherche et dénombrement d' <i>Escherichia coli</i> .....	34
5.2.3	Recherche et dénombrement de <i>Staphylococcus aureus</i> .....	34
5.2.4	Salmonella spp.....	35
6.	Analyse statistique .....	35
7.	Étude de la valeur marchande .....	35
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION.....		16
1.	Résultats des analyses physico-chimiques du sumac.....	36
1.1	Évaluation de la teneur en matière sèche .....	36
1.2	Évaluations de la teneur en protéines.....	36
1.3	Évaluation de la teneur en matière grasse.....	37
1.4	Evaluation de la teneur en cendres.....	37
1.5	Évaluation du pH .....	37
1.6	Évaluation de l'acidité titrable .....	37

2.	Résultats du screening phytochimique du sumac .....	38
2.1	Teste phytochimiques .....	38
2.2	Analyse quantitative.....	39
2.2.1	Évaluation de la teneur en polyphénols totaux .....	40
2.2.2	Évaluation de la teneur en flavonoïdes totaux.....	40
2.3	Évaluation de l'activité antioxydante par les tests DPPH et ABTS.....	40
3.	Résultats des analyses microbiologiques du sumac .....	42
3.1	Interprétation des résultats microbiologiques du sumac .....	42
4.	Résultats des analyses physico-chimiques du lait demi écrème additionne de 90 de poudre de lait .....	43
5.	Résultats des analyses microbiologiques du lait .....	44
6.	Évaluation de l'analyse sensorielle .....	45
7.	Résultats des analyses physico-chimiques du fromage .....	52
7.1	Interprétation des résultats de fromage témoin .....	52
7.2	Interprétation des résultats des fromages enrichis au sumac .....	54
8.	Résultats de tests de stabilités de fromages au cours de stockage .....	56
8.1	Evaluation de la matière sèche.....	56
8.2	8 Evaluation Des cendres .....	58
8.3	Evaluation de pH.....	60
8.4	Evaluation d'Acidité (°D) .....	61
8.5	Evaluation de la teneur en protéines .....	63
8.6	Evaluation de la teneur en matière grasse .....	66
8.7	Evaluation de la teneur en polyphénols de fromage .....	68
8.8	Evaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH.....	69
9.	Résultats des analyses microbiologique de fromage .....	70
10.	Résultats des analyses statistiques.....	72
10.1	Résultats de fromages témoin .....	72

10.2	Les résultats de fromage enrichi (13g).....	77
11.	Valeur marchande .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	
	ANNEXES.....	
	Annexe 1 : Appareillages .....	
	Annexe 2 : Fiche de dégustation .....	
	Annexe 3 : Les échenillions de fromage témoin et enrichi (7g, 10g, 13g) .....	
	Annexe 4 : Les échantillons au cours de stockage .....	

# **INTRODUCTION**

La conservation des denrées alimentaires, en particulier les produits laitiers, représente un défi constant pour l'industrie agroalimentaire en raison de leur forte teneur en eau, en nutriments et de leur sensibilité aux altérations microbiologiques et chimiques. Le fromage, notamment à pâte fraîche, est particulièrement périssable à cause de son activité de l'eau élevée et de son pH favorable au développement microbien (**Abdel-Salam et al. 2020**). De plus, les lipides qu'il contient sont sensibles à l'oxydation, ce qui altère la qualité sensorielle et nutritionnelle du produit (**Saleh et al. 2023**).

Pour prolonger la durée de conservation du fromage, divers procédés sont utilisés, tels que la réfrigération, le conditionnement sous atmosphère modifiée, ou encore l'emploi d'additifs chimiques. Toutefois, ces conservateurs de synthèse soulèvent des inquiétudes chez les consommateurs, qui sont de plus en plus soucieux de la naturalité et de l'innocuité des ingrédients utilisés dans les aliments. De surcroît, certaines substances chimiques peuvent entraîner des effets toxiques à long terme et favoriser l'apparition de souches microbiennes résistantes (**Mohammed et al. 2022**).

Face à ces limitations, l'industrie agroalimentaire s'oriente vers des solutions naturelles, telles que les extraits de plantes médicinales, qui sont souvent riches en composés bioactifs à propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. Ces extraits sont capables d'inhiber la croissance des microorganismes pathogènes et d'augmenter la durée de vie des aliments tout en respectant les exigences de sécurité alimentaire (**Ali et al, 2021**). Les conservateurs naturels sont également conformes à la tendance du marché vers des produits « clean label », sans additifs artificiels (**Turrini et al.2021**).

Parmi les plantes ayant démontré un potentiel de conservation alimentaire, le sumac (**Rhus coriaria L.**) suscite un intérêt croissant. Originaire des régions méditerranéennes, il est traditionnellement utilisé comme épice, mais possède également des propriétés pharmacologiques bien documentées. Il renferme une grande diversité de composés bioactifs, notamment des tanins, flavonoïdes, anthocyanes, acides phénoliques et acides organiques, qui lui confèrent des effets antimicrobiens et antioxydants notables (**Mehmood et al., 2019 ; Zannou et al., 2025**).

Plusieurs études ont mis en évidence la capacité du sumac à inhiber des microorganismes pathogènes comme *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus*,

ainsi qu'à retarder l'oxydation lipidique dans des produits tels que la viande, les jus et les produits laitiers (Alirezalu et al. 2020). De plus, l'incorporation de sumac dans certaines matrices alimentaires a montré un effet positif sur la stabilité physico-chimique et sur les caractéristiques sensorielles, grâce à ses composés aromatiques et sa couleur rougeâtre attractive (Ali et al. 2021).

Malgré l'abondance d'études sur les propriétés biologiques du sumac, son application dans le domaine de la conservation du fromage reste peu explorée. L'utilisation de cette plante comme agent naturel dans les produits laitiers pourrait permettre de prolonger leur durée de vie tout en répondant aux attentes des consommateurs en matière de sécurité, d'efficacité et de naturalité (Saleh et al. 2023).

Ce travail vise ainsi à évaluer l'effet de l'incorporation du sumac, sous forme de poudre, sur la conservation du fromage frais. Cette évaluation repose sur des critères microbiologiques (évolution de la flore altérante et pathogène), physico-chimiques (pH, acidité), et sensoriels (apparence, goût, odeur, texture). L'objectif est de proposer une solution de conservation naturelle, efficace et acceptable, s'inscrivant dans une démarche de développement durable et de valorisation des ressources végétales.

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE**

### 1. Définition d'un fromage

"Le fromage est le produit obtenu par la coagulation du lait, partiellement écrémé, écrémé ou entier, ou d'un mélange de ces produits, par l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, suivie de la séparation du lactosérum et de la maturation, le cas échéant." (**Codex Alimentarius, norme CXS 283-1978, révision la plus récente 2023**)

### 2. Historique de fromage

Des archéologues ont réussi à identifier une substance retrouvée dans une tombe égyptienne vieille de 3 200 ans : il s'agirait de fromage.

Il y a quelques années, une équipe de chercheurs a mis au jour une « masse blanchâtre solidifiée » sur des jarres découvertes dans la tombe de Ptahmes, un haut dignitaire égyptien ayant vécu au XIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Cette découverte est remarquable, car aucun fromage n'avait encore été retrouvé en Égypte ancienne. Elle pourrait même constituer la plus ancienne trace de fromage connue à ce jour. Les résultats ont été publiés dans la revue *Analytical Chemistry*. « Le matériau analysé est probablement le plus ancien résidu solide de fromage jamais identifié lors de fouilles archéologiques », (**Dr Greco**), de l'université de Catane. Il a collaboré avec des chercheurs de l'université du Caire pour parvenir à cette conclusion.

« Nous savons qu'il a été fabriqué principalement à partir de lait de brebis et de chèvre, mais il est très difficile d'imaginer précisément son goût », précise-t-il.

De son côté, le professeur (**Kindstedt**), spécialiste de l'histoire du fromage et professeur de chimie, a déclaré au ce fromage devait avoir une saveur « très, très acide ». (**Quackenbush 2018**)

### 3. Origine du terme « Fromage »

La dénomination "fromage" est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. (**Décret n° 2013-1010 – France**)

Le terme "fromage" provient du latin "formaticum", qui désignait un produit laitier moulu, dérivant de "forma", signifiant "forme" ou "moule" en latin. Cela fait référence à

la manière dont le lait coagulé était placé dans des moules pour prendre une forme spécifique. (Rey 2000).

Le mot "fromage" en français est donc une évolution de ce terme latin, symbolisant le processus de transformation du lait en fromage à l'aide de formes ou de moules. (Robert 1992).

### 4. Les types de fromage

Le fromage peut être classé en catégories : les fromages frais, les fromages à pâte molle, les fromages à pâte pressée. Selon les différentes étapes de sa fabrication, telles que la coagulation du lait, l'égouttage du petit-lait, le salage et l'affinage, le fromage développera une texture, un goût, des arômes et des parfums distincts. Ainsi, sa pâte pourra être coulante ou ferme, tandis que sa croûte, si elle existe, pourra être duveteuse, fine, ou complètement absente, ce qui contribue à la diversité des fromages et à leur caractère unique.

**A. Les fromages frais** : qu'ils soient fabriqués à partir de lait de vache, de chèvre ou de brebis, sont des fromages généralement peu ou pas affinés et parfois partiellement écrémés. Leur pâte est blanche, parfois légèrement nacrée et humide, en raison d'un égouttage limité. Étant donné l'absence d'affinage et de fermentation, ces fromages ne possèdent pas de croûte, et leur texture est à la fois lisse et crémeuse. Ils se caractérisent par leur fraîcheur et des saveurs lactiques et crémeuses. Selon les préférences, ils peuvent être dégustés sucrés ou salés, moulés ou non, et se marient facilement avec des arômes de fleurs, de miel, de baies ou de fines herbes. Il est important de noter qu'ils doivent être consommés assez rapidement. Parmi les exemples, on trouve le Satonnay, la Brousse du Rove, le fromage blanc et le Mascarpone. (Anonyme 2021)

**B. Fromages à pâte molle à croûte fleurie** : Dotés d'une croûte blanche due à l'action de moisissures spécifiques, ces fromages ont une pâte souple et onctueuse. Exemples : Camembert, (Gougedranche et al. 2001)

**Fromage à pâte pressée** : Le terme « à pâte pressée » désigne ainsi les fromages dont le caillage et l'égouttage sont plus poussés que pour les autres fromages : le

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE

caillé est pressé au moment du moulage afin d'éliminer le maximum de petit-lait. Sur cette base, il existe deux catégories de fromages à pâte pressée.

- Les fromages à pâte pressée non cuite, souvent simplement appelés « pâtes pressées », regroupent une large variété de fromages, tant fermiers qu'industriels.

Après la traite, le lait peut être légèrement chauffé, mais le caillé n'est jamais chauffé à une température supérieure ou égale à 50 °C. Il est ensuite pressé, soit avant, soit après le moulage, et salé par immersion dans un bain de saumure ou par frottage. L'affinage des fromages ainsi produits se déroule dans des caves fraîches et humides, et peut durer de deux semaines à plus d'un an.

Ce procédé de fabrication, rustique et ancien, est particulièrement répandu en Auvergne et dans plusieurs autres pays européens.

Parmi les fromages emblématiques de ce type, on trouve le Cantal ou la Fourme de Cantal, le Laguiole, la Mimolette, le Morbier, le Reblochon, le Saint-Nectaire, le Salers, ou encore le Cheddar.

- Les fromages à pâte pressée cuite, aussi appelés « pâtes dures », sont fabriqués en chauffant le caillé à plus de 50 °C dans le petit-lait, un processus appelé « cuisson ». Cette étape permet d'obtenir un extrait sec plus élevé, ce qui contribue à une meilleure conservation des fromages. Après la cuisson, les grains de caillé sont rassemblés, placés dans des moules et soumis à une pression prolongée.

Quelques célèbres représentants de pâtes cuites : abondance, beaufort, comté, emmental français, parmesan... (Anonyme,2022)

### 5. Étapes clés de la fabrication du fromage

Les étapes fondamentales de la fabrication du fromage suivent un processus similaire pour la plupart des types de fromages. Ce processus consiste principalement à éliminer l'eau du lait, ce qui entraîne une concentration de six à dix fois de certaines substances telles que les protéines (principalement la caséine), les lipides, les minéraux et les vitamines, par un phénomène d'agglomération accompagné de l'expulsion du lactosérum. Les principales étapes impliquées dans ce processus sont : la coagulation, l'égouttage, le salage et l'affinage (Abbas, 2012 ; Aissaoui, 2014).

- La coagulation :

Est une transformation physico-chimique des micelles de caséine, provoquée par l'action d'enzymes protéolytiques et/ou par l'acide lactique. Elle conduit à la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel. Les mécanismes de formation du coagulum varient selon qu'ils sont induits par une acidification, l'action d'enzymes coagulantes ou une combinaison des deux (**Brulé et al. 1997**).

Coagulation par acidification :

Lorsque l'acidification est rapide, suite à l'ajout direct d'un acide, les caséines précipitent à un pH d'environ 4,6 sous forme de flocons granulés dispersés dans le lactosérum. En revanche, une acidification lente, obtenue par fermentation lactique ou par hydrolyse de la glucono-delta-lactone, favorise la formation d'un gel lisse, homogène, et occupant l'ensemble du volume initial du lait (**Eck et Gillis, 2006**).

La coagulation acide repose sur un mécanisme électrochimique. Elle est déclenchée soit par l'activité de bactéries lactiques transformant le lactose en acide lactique, soit par l'ajout d'un acide minéral ou organique tel que l'acide citrique (**Gelais et Tirard, 2002**).

La production d'acide entraîne une baisse progressive du pH du lait, provoquant la solubilisation du phosphate et du calcium colloïdal, éléments essentiels à la stabilité des micelles de caséine. En réponse à cette déstabilisation, les micelles s'agrègent pour former un gel fragile, peu élastique et friable (**Ramet, 1997**).

Coagulation enzymatique :

Cette étape remplit plusieurs fonctions. D'un point de vue technologique, elle complète l'égouttage, participe à la formation de la croûte et régule l'activité de l'eau ( $A_w$ ), influençant ainsi le développement microbien et les réactions enzymatiques pendant l'affinage.

Le sel joue également un rôle sensoriel en conférant au fromage une saveur caractéristique, en renforçant son arôme et en modulant la perception de certaines substances produites durant la maturation (**Abbas, 2012 ; Leskir, 2018**).

De nombreuses enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, possèdent la capacité de coaguler les complexes caséiques. Historiquement, l'enzyme la plus utilisée est la présure, extraite de la caillette des jeunes ruminants nourris exclusivement au lait. Elle contient principalement de la chymosine, souvent associée à la pepsine. D'autres sources enzymatiques sont également utilisées, notamment les enzymes fongiques issues de *Rhizomucormiehei* (**Bennett et Johnston, 2004 ; Eck et Gillis, 2006**).

- **Égouttage :**

Lorsqu'un coagulum est laissé au repos, il commence à libérer progressivement le lactosérum emprisonné dans le réseau formé par la coagulation acide et/ou enzymatique. Ce phénomène, appelé synérèse, s'accompagne d'un resserrement et d'un durcissement du gel, conduisant à la formation du caillé ou caillebotte (**Tormo, 2010**).

- **Affinage :**

L'affinage constitue une étape essentielle dans l'élaboration des caractéristiques spécifiques de chaque fromage (**Abbas, 2012**).

Il s'agit d'un processus de transformation enzymatique, impliquant des enzymes protéolytiques et lipolytiques, qui peuvent provenir de la flore microbienne, de l'enzyme coagulant ou encore du lait lui-même. Durant cette phase, le fromage évolue : sa composition, sa digestibilité, sa valeur nutritionnelle et ses qualités organoleptiques (texture, arôme, goût) sont modifiées en fonction du type de produit recherché (**Vignola, 2010**).

L'affinage se déroule dans des conditions contrôlées de température et d'humidité, qui contribuent également à la formation de croûtes variées selon les fromages (**Tormo, 2010**).

### **6. Le fromage frais**

#### **6.1. Définition**

Selon (le Décret n° 2007-628 du 27 avril 2007 –France) relatif aux fromages et spécialités fromagères, un fromage blanc est défini comme un fromage non affiné ayant subi une fermentation principalement lactique. Les fromages blancs commercialisés avec le qualificatif « frais » ou sous la dénomination « fromage frais » doivent contenir une flore vivante au moment de la vente au consommateur.

#### **6.2. Types de fromage frais**

- **Fromages frais non affinés :** Ces fromages sont produits sans période d'affinage et sont consommés rapidement après leur fabrication. Ils ont une haute teneur en humidité, une texture crémeuse et une saveur douce. Exemples :

**Fromage blanc :** Un fromage frais, souvent consommé dans des desserts ou comme produit de petit-déjeuner.

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE

Ricotta : Un fromage frais fabriqué à partir du lactosérum, généralement doux et légèrement granuleux.

- Fromages frais à pâte filée : Ces fromages subissent un processus de filage où la pâte est étirée et chauffée, ce qui leur confère une texture élastique. Ils peuvent être consommés frais ou légèrement affinés. Exemples :

Mozzarella : Un fromage frais à pâte filée, souvent utilisé dans les pizzas et les salades.

- Fromages frais à base de lactosérum : Ces fromages sont fabriqués à partir de lactosérum, un sous-produit de la fabrication d'autres fromages. Ils ont une texture légère et sont riches en protéines. Exemples :

Brousse : Un fromage méditerranéen fabriqué à partir de lait de brebis ou de chèvre, léger et granuleux.

- Fromages frais aromatisés ; Ces fromages frais sont enrichis de divers ingrédients tels que des herbes, des épices ou des fruits pour leur donner une saveur unique. Ils sont consommés frais et peuvent être utilisés dans une variété de plats. Exemples :

Fromages frais aux herbes : Fromages blancs ou similaires auxquels on ajoute des herbes comme le thym, le romarin ou l'ail.

Fromages frais aux épices : Comme ceux avec du poivre, du paprika ou du cumin.

- Fromages frais avec faible teneur en matières grasses : Ces fromages sont fabriqués avec du lait partiellement écrémé ou du lait écrémé pour réduire leur teneur en matières grasses tout en maintenant une texture fraîche et agréable. Exemples :

Fromage blanc 0% : Une variante du fromage blanc avec une teneur en matières grasses réduite. (Domagala, Kubica et al, 2020)

### 6.3. Composition et valeur nutritive

Les fromages frais contiennent entre 70 % et 82 % d'eau, et sont une source exceptionnelle de protéines, avec une qualité et un taux d'assimilation remarquables. Par contre, leur teneur en glucides est souvent négligeable. La quantité de matières grasses, principalement sous forme d'acides gras saturés, ainsi que l'apport calorique, peuvent

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE

varier de manière significative. La valeur nutritionnelle de ces fromages dépend en grande partie de la teneur en matières grasses du lait utilisé et du procédé de fabrication **(Anonyme, 2008)**.

Tableau 1 Valeurs nutritionnelles des fromages frais de type fromage blanc et petit suisse (données ciqual, pour 100 g de produit) (ciqual 2020)

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE FROMAGE

Désignation produits	Energie (Kcal/100g)	Protéines (g/100g)	Matières grasses (g/100g)	Glucides (g/100g)	Calcium (mg/100g)
<b>Fromage blanc nature, 0% MG</b>	50,1	7,95	0,041	3,89	134
<b>Fromage blanc nature, 3% MG environ</b>	77 ,5	8,03	3,26	3,46	130
<b>Fromage blanc nature, gourmand, 8% MG environ</b>	117	6,19	7,65	5,25	104
<b>Fromage blanc nature, 0% MG, enrichi en vitamine D</b>	53,4	7,55	0,1	5	164
<b>Fromage blanc nature, 3% MG environ, enrichi en vitamine D</b>	78 ,6	7,04	3,2	5,4	200
<b>Fromage blanc ou spécialité laitière nature et crème MG</b>	134	6,89	10,2	3,74	95
<b>Fromage frais type petit suisse, nature, 0% MG</b>	59,8	9,89	0,24	3,8	127
<b>Fromage frais type petit suisse, nature, 4% MG</b>	89,6	9,95	4	2,84	103
<b>Fromage frais type petit suisse, nature, 10% MG environ</b>	150	9,7	10,4	3,17	110
<b>Fromage frais type petit suisse, aux fruits, 2-3% MG</b>	93,2	6,7	2,8	9,34	110
<b>Fromage frais type petit suisse, aux fruits, 2-3% MG, enrichi en calcium et vitamine D</b>	98,6	6,42	2,63	12,2	155

#### 6.4. Technologies du fromage frais

Voici le schéma technique de la technologie de fabrication du fromage frais, basé sur les procédés décrits dans les références techniques telles que le CNIEL (**Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière**).

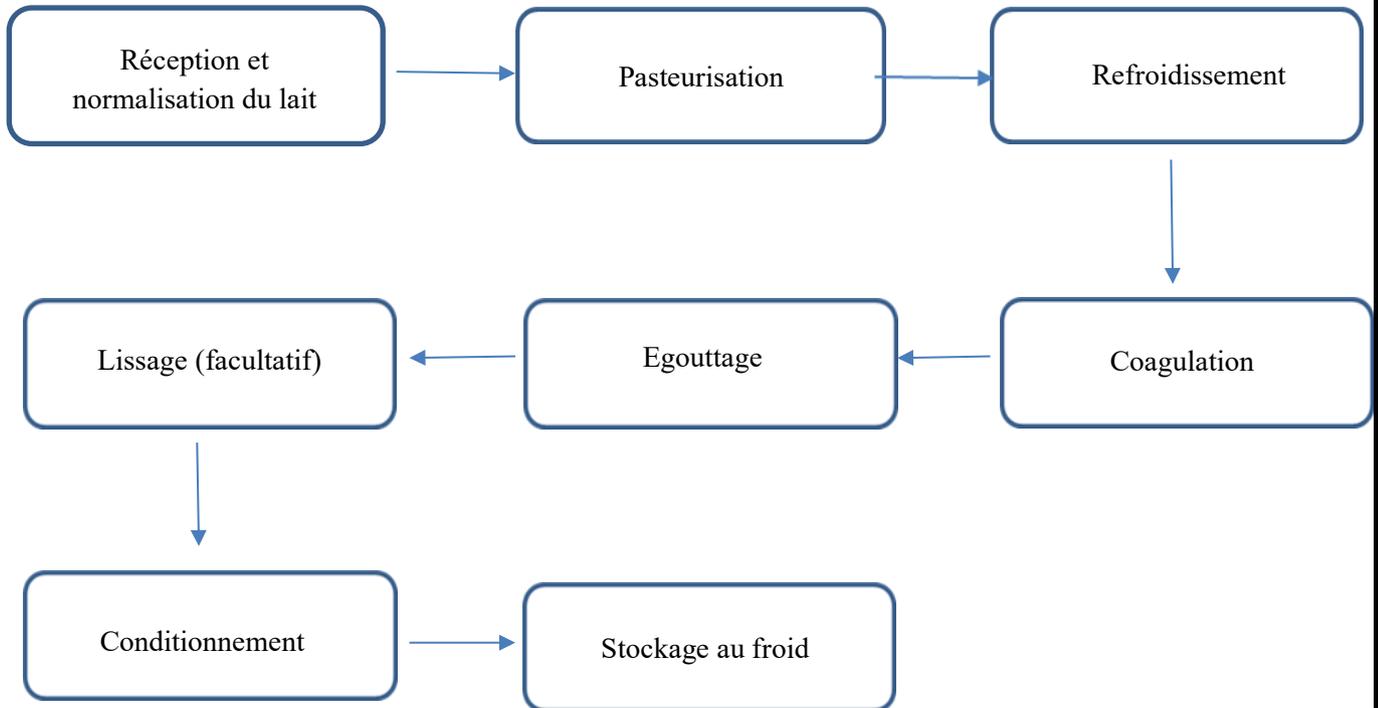


Figure 1 technique de fabrication de fromage frais selon (CNIEL ,INRAE 2021)

## **CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE SUMAC**

### 1. Généralités sur la famille *anacardiaceae* et genre *Rhus*

La famille des *Anacardiaceae* est une famille de plantes à fleurs comprenant environ 80 genres et 870 espèces d'arbres, arbustes et lianes. La majorité de ces espèces sont originaires des régions tropicales et subtropicales, bien que quelques-unes se trouvent également dans les zones tempérées. Certaines espèces notables de cette famille incluent le mangoustan, la mangue, l'anacarde, le pistachier, le sumac, le poivrier du Pérou, le lierre vénéneux et le chêne vénéneux.

Le genre *Rhus*, communément appelé sumac, est l'un des genres les plus connus de cette famille. Il comprend plus de 250 espèces de plantes à fleurs, principalement réparties dans les zones tempérées et subtropicales. Les espèces de *Rhus* sont généralement des arbustes ou de petits arbres à feuilles caduques ou persistantes. Leurs feuilles sont souvent composées, et les fleurs, généralement unisexuées, sont regroupées en panicules terminales ou axillaires. Les fruits sont des drupes rouges ou noires, regroupées en grappes denses.

Certaines espèces de *Rhus*, comme le *Rhus chinensis* sont utilisées en médecine traditionnelle et pour la production de teintures. Cependant, il est important de noter que certaines espèces, telles que le *Rhus toxicodendron* (lierre vénéneux), contiennent de l'*urushiol*, une résine qui peut provoquer des réactions allergiques cutanées. (Petruzzello 2025)

### 2. Définition du sumac (*Rhus coriaria*)

Le sumac (*Rhus coriaria*) est une plante aromatique traditionnellement utilisée dans les régions méditerranéennes comme épice. C'est un ingrédient fonctionnel potentiel, en raison de sa richesse en composés phytochimiques bioactifs, bénéfiques pour la santé humaine. Ces composés comprennent principalement des flavonoïdes, acides phénoliques, anthocyanines et tanins. (Zannou et al.2025)

*Rhus coriaria*, communément appelé sumac, est une plante médicinale appartenant à la famille des *Anacardiaceae*. Elle est largement utilisée dans les régions méditerranéennes et du Moyen-Orient, tant pour ses applications culinaires que thérapeutiques. Les fruits de cette plante sont riches en composés bioactifs, notamment des flavonoïdes, des tanins et des acides phénoliques, qui lui confèrent des propriétés antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. (Alsamri et al. 2021)

### 3. Description botanique

*Rhus coriaria* est un arbuste caduc appartenant à la famille des *Anacardiaceae*, mesurant généralement entre 1 et 3 mètres de hauteur.

#### 3.1 Feuilles

- Feuilles imparipennées, composées de 7 à 15 folioles ovales-lancéolées, sessiles, à marges dentées.
- Le pétiole est ocre clair et velu.
- Le dessus des feuilles est brillant, tandis que le revers est velu.
- En automne, le feuillage vire au rouge orangé.

#### 3.2 Fleurs

- Petites fleurs étoilées et nectarifères, de couleur blanchâtre.
- Regroupées en panicules denses, érigées et pyramidales, mesurant de 15 à 20 cm de long.
- La floraison se déroule du printemps à l'été.

#### 3.3 Fruits

- Petites drupes aromatiques, de couleur rousse, hirsutes (recouvertes de poils).
- Les fruits sont regroupés en grappes denses et dressées.

#### 3.4 Tiges

- Tiges à port érigé, avec une ramure fragile et cassante, contenant de la moelle.

#### 3.5 Habitat et répartition

- Présent à l'état sauvage dans les basses altitudes, notamment le long des côtes rocheuses du Maghreb (principalement en Algérie et au Maroc), en Espagne méridionale, au Proche-Orient et en Asie occidentale.
- Cultivé dans plusieurs régions, notamment dans le sud de l'Italie et au Moyen-Orient.

#### 3.6 Multiplication

- Se multiplie par bouturage de tiges aoûtées ou par division des rejets. (Amor 2010)

Et d'après (Zannou et al.2025)

- Il s'agit d'un arbuste appartenant à la famille des *Anacardiaceae*.
- Il est cultivé pour ses fruits rouges riches en substances acides et aromatiques.
- Les fruits sont séchés et réduits en poudre pour être utilisés comme épice.

- Il possède des composés volatils responsables de son arôme distinctif.

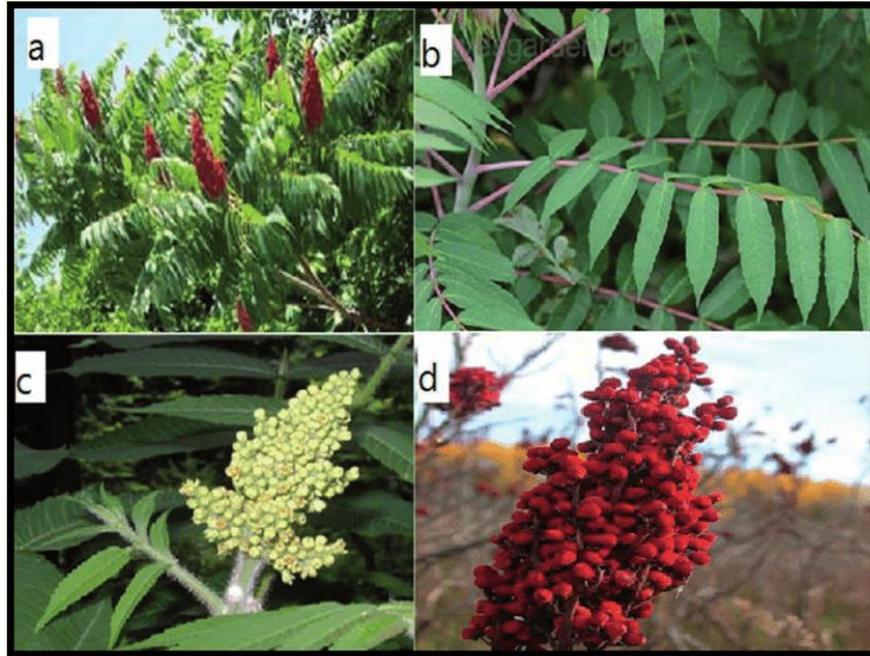


Figure 2 (zuhair, T 2020) *rhuscoriaria*

#### 4. Composition de sumac

##### 4.1 Composition minérale de *Rhus coriaria L.*

Tableau 2 Composition minirale de *rhus coriaria* . Kazemi et al .2015

Minéral	Concentration (ppm)
Potassium	7963
Calcium	3661
Phosphore	1238
Magnésium	1013
Fer	46

##### 4.2 Composés phénoliques identifiés dans *Rhus coriaria L.*

Tableau 3 *composes phenoliques identifies dans Rhus coriaria L (Kazemi et al. 2025)*

Catégorie de composés	Exemples
Flavonoïdes	Quercétine, Myricétine, Kaempférol
Tanins hydrolysables	Acide caféique, Acide férulique
Anthocyanines	Acide caféique, Acide férulique
Anthocyanines	Cyanidine-3-glucoside

#### 4.3 Composition en acides gras de *Rhus coriaria L.*

Tableau 4 composition en acides gras de *Rhus coriaria L.* (Kazemi et al 2025)

Acide gras	Pourcentage (%)
Acide oléique (C18 :1)	37,7
Acide linoléique (C18 :2)	34,8
Acide palmitique (C16 :0)	27,4
Acide stéarique (C18 :0)	17,3

#### 4.4 Composition nutritionnelle des fruits de *Rhus coriaria L.* rapportée dans différentes études

Tableau 5 composition nutritionnelle des fruits de *Rhus coriaria L.* rapportée dans différentes études (Kazemi et al 2025)

Composant	Valeurs moyennes (g/100g)
Protéines	2,3 – 2,6
Lipides	4,7 – 5,1
Fibres alimentaires	14,6 – 16,4
Cendres	3,2 – 3,5
Humidité	8,5 – 9,1
Glucides	63,8 – 65,9

## **5. Intégration du sumac dans l'industrie agroalimentaire**

### **5.1 Potentiel bioactif et intérêt industriel**

Le genre *Rhus* constitue une riche source de tanins, flavonoïdes, acides phénoliques et divers autres composés secondaires bioactifs. Ces molécules se distinguent par leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires, offrant ainsi un potentiel intéressant pour une utilisation dans l'industrie agroalimentaire, notamment en tant qu'agents naturels de conservation (**Rayne et Mazza 2007**)

### **5.2 Activité antimicrobienne pour la conservation**

Les huiles essentielles issues de *Rhus tripartita* montrent une activité antibactérienne et antifongique significative envers diverses souches pathogènes. Ce potentiel antimicrobien suggère leur utilisation possible dans la conservation des aliments, notamment en tant qu'alternative naturelle aux conservateurs chimiques.

(**Hadjadj et Abed 2014**)

# **ETUDE EXPERIMENTALE**

# **CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES**

Ce travail de recherche a été réalisé au sein de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées, Saad Dahlab – Blida 1. L'étude s'est inscrite dans le cadre de la valorisation des conservateurs naturels dans les produits laitiers, en particulier les fromages frais. Nous avons entamé notre démarche par la réalisation d'analyses physico-chimiques et microbiologiques du lait de vache, utilisé comme matière première. Par la suite, des analyses physico-chimiques, microbiologiques et phytochimiques ont été menées sur le sumac (*Rhus coriaria*), plante aux propriétés antimicrobiennes et antioxydantes reconnues. L'objectif principal de notre travail a consisté en l'élaboration de fromages frais enrichis au sumac, utilisé comme agent conservateur naturel. Trois formulations différentes ont été développées, chacune contenant une concentration spécifique de sumac. Les produits obtenus ont été soumis à une série d'analyses approfondies, incluant les paramètres physico-chimiques, microbiologiques ainsi qu'une évaluation sensorielle, afin d'étudier l'effet de l'enrichissement sur la qualité, la conservation et l'acceptabilité du produit fini.

### **1. Matériel**

#### **1.1 Matériels végétaux**

Dans le cadre de notre étude, le sumac utilisé a été acheté auprès de l'épicier IBN EL QAYYIM, situé dans la wilaya de BLIDA. Selon les informations fournies par le commerçant, ce sumac est un produit importé de Turquie. Ce choix a été motivé par la disponibilité du produit et son usage courant en tant qu'épice aux propriétés intéressantes pour notre étude.

#### **1.2 Matériel biologique**

Le lait de vache utilisé dans le cadre de cette étude est un lait entier, issu de la production locale à Blida. Son acquisition a été effectuée auprès d'un fournisseur agréé, réputé pour la constance et la qualité de ses produits laitiers. Dès la réception, nous avons veillé à respecter toutes les conditions nécessaires pour maintenir le lait dans un état optimal, notamment en assurant le transport et la conservation à froid jusqu'à son utilisation. Cela nous a permis de préserver ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques avant d'entamer les différentes étapes de fabrication des fromages frais.

### **2. Méthodes**

#### **2.1 Analyses physico-chimiques du sumac**

##### **2.1.1 Détermination de la teneur en matière grasse**

La méthode de Soxhlet est utilisée pour extraire les lipides contenus dans un échantillon à l'aide d'un solvant organique non miscible à l'eau (AOAC, 1975). Dix grammes de

l'échantillon sont placés dans une cartouche filtrante en cellulose, elle-même insérée dans un extracteur Soxhlet relié à un ballon contenant 200 mL d'hexane. L'extraction est réalisée à chaud (température d'ébullition de l'hexane) durant 5 à 6 heures, pendant lesquelles les lipides sont dissous puis recueillis dans le ballon. Ensuite, le solvant est évaporé à 65 °C à l'aide d'un Rotavapor (Buchi R-II). Le résidu lipidique est séché à 40 °C pour éliminer les traces de solvant avant d'être pesé. La matière grasse est calculée comme suit :

$$MGT\% = [(p_1 - p_0)/E] \times 100$$

Où :

- P<sub>0</sub> : poids du ballon vide (g)
- P<sub>1</sub> : poids du ballon avec les lipides (g)
- E : poids de l'échantillon (g)
- MGT : matière grasse totale

### 2.1.2 Détermination des cendres

Les cendres totales représentent le résidu minéral restant après combustion complète de la matière organique présente dans un échantillon d'origine animale, végétale ou synthétique. La méthode consiste à incinérer 5 g de matière broyée dans des creusets placés dans un four à moufle à 550 °C pendant 5 heures, jusqu'à ce que la matière prenne une teinte gris clair à blanchâtre (AFNOR, 1982). Après refroidissement dans un dessiccateur, les creusets sont pesés.

Le calcul de la matière organique se fait avec la formule suivante :

$$MO\% = [(M_1 - M_2)/M] \times 100$$

### 2.1.3 Détermination de la matière sèche

La matière sèche correspond à la part d'un aliment qui subsiste après l'évaporation complète de l'eau qu'il contient. Pour la mesurer, on procède à un séchage dans une étuve ventilée à 105 °C, en utilisant un échantillon de 5 g. Le séchage se poursuit jusqu'à obtention d'une masse stable (AOAC, 2008).

La teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage et calculée comme suit :

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

La teneur en humidité (H %) est obtenue par la formule :

$$H\% = [(M_1 - M_2) / m] \times 100$$

Où :

- $M_1$  : masse du creuset + échantillon avant dessiccation (g)
- $M_2$  : masse du creuset + échantillon après dessiccation (g)
- $m$  : masse de l'échantillon analysé (g)

Les analyses sont réalisées en triplicata.

#### 2.1.4 Mesure du pH

Le pH, indicateur de l'activité chimique des ions hydrogène, a été mesuré avec un pH-mètre électronique muni d'une électrode en verre. L'appareil a été étalonné avec des solutions tampons à pH 7 et pH 4.

La mesure s'est faite en immergeant l'électrode directement dans un bécher contenant 2 g d'échantillon dissous dans 20 mL d'eau distillée, agité avec un agitateur magnétique. Une fois la valeur stabilisée, le pH a été noté (**Çorapci et al. 2020**).

#### 2.1.5 Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée par titrage à l'hydroxyde de sodium (NaOH 0,1 N) en présence de phénolphthaléine comme indicateur (**AOAC, 1995**).

5 g d'échantillon ont été mélangés à 95 mL d'eau distillée et agités pendant 3 heures.

Après filtration, 15 mL du filtrat ont été titrés goutte à goutte avec la solution de NaOH jusqu'au changement de couleur (**Çorapci et al. 2020**).

Formule de calcul :

$$\text{Acidité} = (6 \times \text{Volume NaOH}) / \text{Volume échantillon}$$

#### 2.1.6 Détermination de la teneur en protéines

La méthode de **Kjeldahl (1883)** est utilisée, comprenant trois étapes : la minéralisation, la distillation et la titration.

##### 1. Minéralisation

Elle permet la conversion de l'azote organique en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) via un traitement à l'acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et un catalyseur, à 300 °C pendant 3 heures.

##### 2. Distillation

Réalisée avec un distillateur Behr, après ajout de NaOH au mélange refroidi, transformant

le  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$ . L'ammoniac est distillé à la vapeur et piégé dans une solution d'acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) à 4 %.

### 3. Titration

L'ammoniac piégé sous forme de borate est titré avec une solution d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 98 %.

Formules de calcul :

$$\text{Taux d'azote total (\%)} = (V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times N(\text{H}_2\text{SO}_4) \times 0,014 \times 100) / P$$

$$\text{Taux protéines (g/100g de sumac)} = NT (\%) \times 6,25$$

Avec :

- $V(\text{H}_2\text{SO}_4)$  = volume d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  utilisé (mL)
- $N(\text{H}_2\text{SO}_4)$  = normalité de le  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,1 N)
- P = poids de l'échantillon
- 0,014 = coefficient lié à la concentration normale de l'azote
- 6,25 = facteur de conversion en protéines

## 2.2 Screening phytochimiques

### 2.2.1 Préparation des extraits bruts

Dans le but de déterminer la teneur en composés phénoliques et d'évaluer l'activité antioxydante de la poudre de sumac, deux types d'extraits ont été réalisés à l'aide de solvants considérés comme peu toxiques selon la littérature : l'eau et l'éthanol.

#### a. **Extrait aqueux**

15 g de poudre de sumac ont été dissous dans 100 mL d'eau distillée. Le mélange a été chauffé au bain-marie pendant 3 heures à 40 °C. Après filtration, la solution obtenue a été conservée dans des tubes au réfrigérateur jusqu'à son utilisation (**Mazzara et al. 2023**).

#### b. **Extrait au solvant organique**

L'extraction a été effectuée à chaud à l'aide d'un dispositif Soxhlet. Pour cela, 10 g de poudre de sumac ont été placés dans une cartouche poreuse en cellulose insérée dans le siphon, avec 150 mL d'éthanol. Le résidu huileux obtenu a ensuite été concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif (**Wang et Weller, 2006**).

### 2.2.2 Tests phytochimiques

Ces tests visent à identifier les différents groupes chimiques présents dans un végétal. Ils reposent sur des réactions physico-chimiques telles que des tests de solubilité, de précipitation, ou encore des réactions sous lumière UV.

**a. Composés phénoliques**

100 µL d'extrait sont ajoutés à 5 mL d'eau distillée, puis 3 mL d'acétate de plomb à 10 %. L'apparition d'un précipité blanc indique un résultat positif (**Shaikh et Patil, 2020**).

**b. Flavonoïdes**

À 100 µL d'extrait, on ajoute le même volume d'acétate de plomb à 10 %. Une coloration vert jaunâtre traduit la présence de flavonoïdes (**Boukri, 2014**).

**c. Tanins**

70 µL d'extrait sont mélangés à 5 mL d'eau distillée, puis quelques gouttes de FeCl<sub>3</sub> à 1 % sont ajoutées. Une coloration vert noirâtre révèle la présence de tanins (**Rejeundran et al. 2014**).

**d. Alcaloïdes**

La détection se fait par précipitation avec le réactif de Dragendorff. À 2 mL d'extrait, on ajoute 1 mL de ce réactif. La formation d'un précipité brun orangé indique la présence d'alcaloïdes.

**e. Saponines**

À 100 µL d'extrait, on ajoute quelques gouttes de FeCl<sub>3</sub> à 1 %. L'apparition de mousse indique la présence de saponines (**Rejeundran et al. 2014**).

**f. Mucilage**

1 mL d'extrait est ajouté à 5 mL d'alcool absolu dans un tube. Après agitation, un précipité floconneux traduit la présence de mucilage (**Attal, 2023**).

**g. Composés réducteurs**

On mélange 2 mL d'extrait avec 2 mL de liqueur de Fehling. Après chauffage au bain-marie pendant 8 minutes, la formation d'un précipité rouge brique confirme leur présence (**Shaikh et Patil, 2020**).

**H. Caroténoïdes**

Un volume de 100 µL d'HCl et de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est ajouté à 100 µL d'extrait. L'apparition d'une coloration vert-bleu confirme leur présence (**Attal, 2023**).

**2.2.3 Dosage des polyphénols totaux**

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée à l'aide de la méthode colorimétrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Un volume de 200 µL d'extrait a été introduit dans des tubes à essai, suivi de l'ajout de 1 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué au 1/10) et de 800 µL de carbonate de sodium à 7,5 %. Après incubation pendant 2 heures à

température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV (UV/VIS spectrophotometer, Optizen 2120UV) (Singleton et Slinkard, 1977).

Une courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant l'acide gallique dans une gamme de concentration allant de 0 à 250 mg/L, avec trois répétitions pour chaque concentration. Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g).

#### **2.2.4 Dosage des flavonoïdes totaux**

La teneur en flavonoïdes a été déterminée selon le protocole modifié de Kim et al. (2003). Dans un tube à hémolyse en verre, 400 µL d'extrait ou d'éthanol (témoin) ont été mélangés à 120 µL de NaNO<sub>2</sub> à 5 %. Après 5 minutes, 120 µL de AlCl<sub>3</sub> à 10 % ont été ajoutés, suivis d'un mélange vigoureusement agité. Après 6 minutes, 800 µL de NaOH à 1 M ont été ajoutés. L'absorbance a été immédiatement mesurée à 510 nm contre un blanc.

Une courbe d'étalonnage a été établie dans les mêmes conditions en utilisant la quercétine comme standard (50–500 µg/mL), en triplicata pour chaque concentration. Les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine par gramme de matière sèche (mg EqQ/g).

#### **2.2.5 Évaluation de l'activité antioxydante**

##### **2.2.5.1 Mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)**

Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) est un radical libre stable. En présence de composés antioxydants, ce radical capte un atome d'hydrogène, se réduisant alors en une forme non radicalaire. Cette réaction s'accompagne d'un changement de couleur visible, allant du violet au jaune (Molyneux, 2004).

##### **2.2.5.2 Mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH**

Pour évaluer le pouvoir antiradicalaire à l'aide du DPPH, 25 µL de chaque extrait, à différentes concentrations, ont été ajoutés à 975 µL d'une solution méthanolique de DPPH (60 µM). L'absorbance a été mesurée avant et après l'ajout du réactif, à 517 nm, après une incubation de 30 minutes à température ambiante et à l'abri de la lumière (Mansouri et al. 2005).

Les standards utilisés comme références antioxydantes ou contrôles négatifs sont le BHT (hydroxytoluène butyle), la quercétine et la catéchine, chacun à une concentration de 0,1 mg/mL. Leurs absorbances ont été mesurées dans les mêmes conditions expérimentales que celles des extraits testés.

La différence d'absorbance entre la solution de DPPH seule (contrôle) et celle en présence d'échantillon traduit l'efficacité de l'activité antiradicalaire. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH a été calculé selon l'équation suivante :

$$DPPH (\% d'inhibition) = ((A_0 - A_t) / A_0) \times 100$$

Avec  $A_0$  représentant l'absorbance du contrôle, et  $A$  celle de l'échantillon.

### 2.2.5.3 Mesure du pouvoir de piégeage du radical ABTS<sup>+</sup>

Dans cette méthode, l'activité antioxydante est évaluée en mesurant la capacité d'un composé à inhiber le radical ABTS<sup>+</sup>, un radical de couleur bleu-vert formé par l'oxydation de l'ABTS avec le persulfate de potassium. La réduction du radical, indiquée par une décoloration de la solution, permet de quantifier l'activité antiradicalaire (Lien et al. 1999). Pour cette mesure, un mélange de solutions d'ABTS à 7 mM et de persulfate de potassium à 2,45 mM a été préparé, puis laissé à l'obscurité pendant 12 à 16 heures à température ambiante. Cette solution a ensuite été diluée avec de l'éthanol à 96 % jusqu'à obtention d'une absorbance initiale ( $A_0$ ) comprise entre 0,65 et 0,75 à 734 nm.

Une aliquote de 10 µL d'extrait, à différentes concentrations, a été mélangée avec 990 µL de la solution ABTS<sup>+</sup>. L'absorbance ( $A_t$ ) a été mesurée après 30 minutes d'incubation à température ambiante, à l'abri de la lumière. Les standards utilisés comme agents antioxydants ou contrôles négatifs sont le BHT, la quercétine et la catéchine, chacun à une concentration de 0,1 mg/mL.

La capacité de piégeage du radical ABTS<sup>+</sup> a été calculée selon l'équation suivante :

$$ABTS^+ (\% d'inhibition) = ((A_0 - A_t) / A_0) \times 100$$

## 2.3 Analyses microbiologiques du sumac

L'objectif est d'évaluer la qualité microbiologique du sumac à travers le dénombrement et la recherche de divers micro-organismes selon des protocoles normalisés.

### 2.3.1 Préparation de la suspension mère

- 25 g de poudre de sumac sont introduits dans 225 mL d'eau physiologique stérile.
- L'ensemble est homogénéisé afin d'obtenir une suspension uniforme utilisée comme solution mère. (Mazzara et al. 2023)

### 2.3.2 Préparation des Dilutions Décimales

- Prélèvement de 1 mL de la solution mère.
- Transférer dans un tube contenant 9 mL d'eau physiologique stérile pour obtenir une dilution  $10^{-1}$ .
- Répéter le processus pour obtenir les dilutions nécessaires ( $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ , etc.).  
(Mazzara et al., 2023)

### 2.3.3 Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)

Le dénombrement de la FAMT a été effectué en ensemencement 1 mL de la solution mère et des dilutions appropriées sur des boîtes de Pétri contenant du milieu PCA (Plate Count Agar). Après incubation à 30°C pendant 72 heures, les colonies formées ont été comptées, et les résultats exprimés en unités formant colonies par gramme (UFC/g) de sumac. Cette méthode est couramment utilisée pour évaluer la charge microbienne totale dans les produits alimentaires (Yüksel, İnce, 2023).

### 2.3.4 Recherche et dénombrement des *levures et moisissures*

Pour détecter les *levures et moisissures*, 0,1 mL de la solution mère et des dilutions ont été étalés sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose OGA (Ox tétracycline Glucose Agar). Les boîtes ont été incubées à 25°C pendant 5 jours. Les colonies ont été comptées pour estimer la contamination fongique, conformément aux méthodes décrites par (Aydogdu 2023).

### 2.3.5 Recherche et dénombrement des *coliformes fécaux*

La détection des *coliformes fécaux* a été réalisée en inoculant 1 mL de la solution mère et des dilutions dans des tubes contenant du bouillon lactosé bilié au vert brillant (VBL). Après incubation à 37°C pendant 24 heures, la production de gaz et le changement de couleur du milieu ont été observés. Les résultats ont été interprétés selon la méthode de la table de Mac Grady.

### 2.3.6 Recherche des staphylocoques à coagulase positive

La recherche de *Staphylococcus aureus* a été effectuée en deux étapes : un enrichissement dans le bouillon Giolitti-Cantoni, suivi d'un isolement sur gélose Chapman. Les colonies suspectes ont été identifiées par leur aspect caractéristique et confirmées par des tests

biochimiques. Des études récentes ont mis en évidence l'efficacité de l'extrait de sumac contre *S. aureus*, y compris les souches résistantes à la méticilline (**Farazandehnia et al. 2024**).

### **2.3.7 Recherche des Anaérobies sulfito-réducteurs**

La recherche et le dénombrement des bactéries *anaérobies sulfito-réductrices*, principalement du genre *Clostridium*, sont réalisés conformément à la norme (**ISO 15213-1 :2023**), qui décrit une méthode horizontale basée sur le comptage en colonies. Cette méthode s'applique aux produits alimentaires, à l'alimentation animale, ainsi qu'aux échantillons environnementaux liés à la chaîne alimentaire

Utiliser un milieu sélectif tel que la gélose Viande Foie, enrichi avec 1,5 mL de sulfate de fer et 5 mL de sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), selon les recommandations de la norme.

Introduire des volumes définis (ex. : 5 mL de suspension mère ou de dilutions) dans des tubes contenant le milieu préparé. Plusieurs dilutions peuvent être ensemencées pour permettre une lecture optimale.

Incuber les tubes en conditions strictement anaérobies à 44 °C pendant 24 heures.

Les colonies caractéristiques de *Clostridium sulfito-réducteurs* apparaissent généralement sous forme de colonies noires d'un diamètre supérieur à 0,5 mm, liées à la réduction du sulfate de fer en sulfure de fer noir.

### **2.2.6 Analyses physico-chimiques de lait :**

#### **2.4.1 Détermination de la matière grasse (Méthode Gerber)**

L'objectif de cette analyse est d'évaluer la teneur en matière grasse du lait, un critère essentiel de qualité et de valorisation commerciale. On introduit 10 mL d'acide sulfurique concentré dans un butyromètre, puis 10.75 mL de lait, suivis de 1 mL d'alcool isoamylique. Après fermeture, l'échantillon est vigoureusement agité, centrifugé pendant 5 minutes à 1200 tr/min, puis chauffé dans un bain-marie à 65 °C. La lecture directe du taux de matière grasse se fait sur le butyromètre gradué. (**ISO 2446 :2008**)

#### **2.4.2 Dosage des protéines totales (Méthode Kjeldahl)**

Cette méthode permet de déterminer la teneur totale en protéines du lait en mesurant l'azote organique, converti en ammoniac par digestion acide. On commence par digérer 1 g de lait avec de l'acide sulfurique et un catalyseur, puis la solution digérée est rendue alcaline et

distillée pour libérer l'ammoniac. Celui-ci est piégé dans une solution d'acide borique et dosé par titrage à l'acide fort. Le pourcentage de protéines est obtenu en multipliant la teneur en azote par le facteur 6.38. (ISO 8968-1 :2014)

#### **2.4.3 Mesure de l'acidité titrable (Méthode Dornic)**

L'objectif est de quantifier l'acidité du lait, qui reflète sa fraîcheur et son état microbiologique. On prélève 10 mL de lait dans un bécher, ajoute 3 gouttes de phénolphtaléine, puis on titre avec une solution de soude à 0.1 N jusqu'à l'apparition d'un léger rose persistant. Le volume de soude utilisé correspond directement au degré Dornic, où 1 mL équivaut à 1 °D. Un lait frais présente généralement entre 15 et 18 °D. (ISO 6091 :2010)

#### **2.4.4 Mesure du pH**

Cette analyse évalue l'acidité libre du lait et permet de détecter une acidification précoce ou des anomalies biologiques. Le lait est amené à température ambiante (20 °C), puis on plonge une électrode de pH-mètre préalablement calibrée dans l'échantillon. La lecture du pH doit se situer entre 6.6 et 6.8 pour un lait normal. (ISO 5546 :2004)

#### **2.4.5 Détermination de l'extrait sec total (EST)**

L'analyse vise à connaître la proportion de matière sèche totale (hors eau) dans le lait. On pèse 5 mL de lait dans une capsule tarée, puis on l'étuve à  $102 \pm 2$  °C jusqu'à obtention d'un poids constant. La différence de masse permet de calculer le pourcentage d'extrait sec. (ISO 6731 :2010)

#### **2.2.7 Analyses microbiologiques du lait**

Les analyses microbiologiques du lait ont été effectuées conformément aux normes internationales en vigueur dans le but de contrôler la qualité hygiénique du produit. Ces analyses comprennent principalement le dénombrement des entérobactéries, des germes aérobies mésophiles totaux et la recherche de Salmonella spp.

#### **2.5.1 Préparation de la solution mère**

Un millilitre de lait est transféré aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile dans un tube contenant 9 mL de diluant TSE (Tryptone, Sel, Eau). Le mélange est ensuite homogénéisé à

l'aide d'un vortex pendant une minute, afin d'assurer une dispersion homogène des micro-organismes dans la solution (ISO 6887-1 :2017).

### 2.5.2 Préparation des dilutions décimales

Les dilutions décimales successives sont préparées en transférant 1 mL de la solution mère dans 9 mL de diluant stérile, puis homogénéisées. Cette opération est répétée jusqu'à l'obtention de la dilution souhaitée, en respectant les conditions d'asepsie (ISO 6887-1 :2017).

### 2.5.3 Dénombrement des *Enterobacteriaceae*

Le dénombrement des *entérobactéries* est réalisé sur gélose VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar) selon la norme ISO 21528-2 :2017. Un millilitre de l'échantillon ou de la dilution appropriée est versé dans une boîte de Pétri stérile, puis 15 mL de gélose VRBG fondue et refroidie à 45 °C sont ajoutés. Après solidification, une seconde couche de 5 mL est versée. Les boîtes sont incubées à 37 °C pendant 24 heures. Les colonies typiques apparaissent rouges à centre foncé. Les résultats sont exprimés en unités formant colonie par millilitre (UFC/mL) (ISO 21528-2 :2017).

### 2.5.4 Dénombrement des germes *aérobies à 30°C*

Le dénombrement des germes *aérobies mésophiles* est effectué selon la norme ISO 4833-1 :2013. Un millilitre de la dilution choisie estensemencé dans une boîte de Pétri, puis 20 mL de gélose PCA (Plate Count Agar) sont ajoutés. Après homogénéisation et solidification, une seconde couche de 5 mL est versée. L'incubation est effectuée à 30 °C pendant 72 heures. Les colonies totales sont comptées et les résultats sont exprimés en UFC/mL (ISO 4833-1 :2013).

### 2.5.5 Détection de *Salmonella spp*

La recherche de *Salmonella spp*. Est réalisée conformément à la norme (ISO 6579-1 :2017). Elle comporte les étapes suivantes :

- Pré-enrichissement : 25 mL de lait sont ajoutés à 225 mL d'eau peptonée tamponnée (BPW), puis incubés à 37 °C pendant 18 ± 2 heures.
- Enrichissement sélectif : 0,1 mL du pré-enrichissement est transféré dans 10 mL de bouillon Rappaport-Vassiliadis soja (RVS) et incubé à 41,5 °C pendant 24 heures.

- Isolement : Une boucle du bouillon enrichi estensemencée sur gélose XLD (Xylose Lysine Deoxycholate) puis incubée à 37 °C pendant 24 heures. Les colonies suspectes de Salmonella apparaissent comme des colonies rouges avec un centre noir.
- Confirmation : Les colonies suspectes sont soumises à des tests biochimiques et sérologiques pour confirmation de l'espèce (ISO 6579-1 :2017).

### **3. Préparation du Fromage Frais**

La fabrication du fromage a été réalisée dans un environnement domestique, en respectant rigoureusement les normes d'hygiène. Quatre formulations ont été élaborées afin d'évaluer l'effet de l'enrichissement en poudre de sumac :

- Fromage A : échantillon témoin sans ajout.
- Fromage B : enrichi avec 7 g de poudre de sumac.
- Fromage C : enrichi avec 10 g de poudre de sumac.
- Fromage D : enrichi avec 13 g de poudre de sumac.

#### **1.1 Procédé de fabrication**

##### **3.1.1 Pasteurisation du lait**

Un litre de lait de vache a été complété par 90 g de lait en poudre afin d'ajuster sa teneur en matière sèche. Le mélange a été pasteurisé à 85 °C pendant 10 secondes, dans le but d'éliminer les micro-organismes pathogènes tout en conservant les propriétés organoleptiques du lait.

##### **3.1.2 Ensemencement et coagulation**

Lorsque le lait atteint une température favorable au développement des bactéries mésophiles (environ 30–34 °C), 0,01 g de ferment mésophile est incorporé par litre. Ensuite, 1 mL de présure bactérienne liquide, fournie par (APPCL'ACADÉMIE DE LA PENSÉE POSITIVE ET DE CONSULTATION), est ajouté et aussi deux cuillères à soupe de vinaigre blanc. Le mélange est agité doucement, puis laissé au repos pendant environ une heure pour permettre la formation d'un coagulum homogène.

### **3.1.3 Tranchage et séparation du lactosérum**

Le caillé formé est découpé en petits cubes réguliers à l'aide d'un couteau stérile, facilitant ainsi l'évacuation du lactosérum. Une période de repos suit cette étape afin de permettre aux grains de caillé de se resserrer et au sérum de se séparer naturellement.

### **3.1.4 Égouttage**

Le caillé est transféré dans des toiles à fromage pour l'égouttage. Cette opération permet une extraction progressive du lactosérum, entraînant une contraction du gel et un durcissement de la pâte, avec pour résultat une concentration adéquate en extrait sec.

### **3.1.5 Salage et incorporation du sumac**

À ce stade, 8 g de sel sont ajoutés et répartis uniformément dans la masse fromagère. Le sel assure la conservation, améliore la texture et contribue à l'aromatisation. La poudre de sumac est ensuite incorporée selon les dosages définis (7, 10 ou 13 g), et mélangée de manière homogène.

### **3.1.6 Moulage et affinage**

Le fromage est moulé dans des faisselles rondes en plastique, puis placé au réfrigérateur à 4 °C pendant 24 heures. Des rotations régulières des moules sont effectuées afin d'assurer une structure homogène. Après affinage, les fromages sont démoulés et conditionnés dans du papier duplex.

Les étapes de fabrication de fromage frais sont résumées dans le diagramme ci-après :

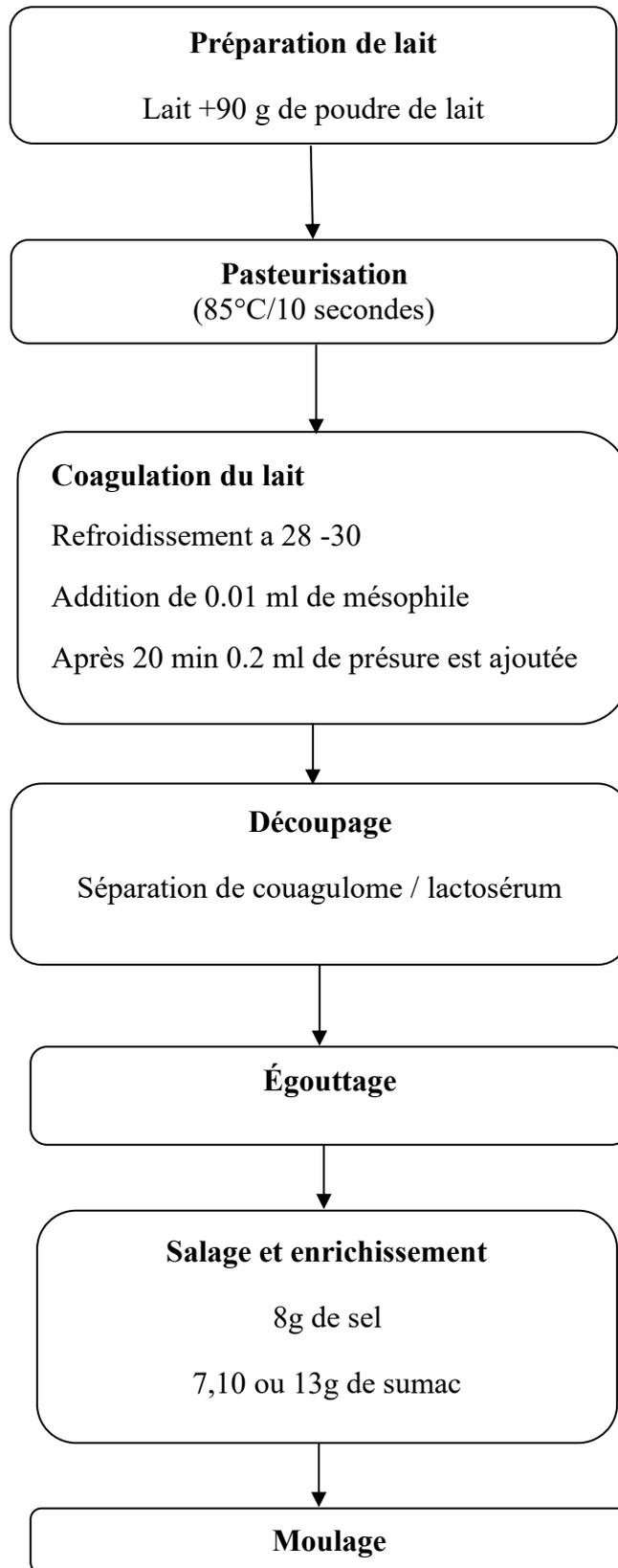


Figure 3 diagramme de fabrication du fromage frais enrichi en sumac à différentes concentrations.

#### 4. Analyse sensorielle

Une analyse sensorielle a été réalisée au sein de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA) dans le but d'évaluer l'effet de l'enrichissement en poudre de sumac sur les propriétés organoleptiques du fromage frais. L'évaluation a été menée par un panel semi-naïf composé de 30 dégustateurs, incluant des étudiants et du personnel administratif ayant reçu une initiation à la dégustation sensorielle.

Quatre échantillons ont été soumis à l'appréciation des panélistes, codés de manière aléatoire afin de garantir l'objectivité de l'évaluation :

- Échantillon A : témoin (fromage frais non enrichi)
- Échantillon B : fromage enrichi avec 7 g de poudre de sumac
- Échantillon C : fromage enrichi avec 10 g de poudre de sumac
- Échantillon D : fromage enrichi avec 13 g de poudre de sumac

Les dégustateurs ont utilisé une fiche d'évaluation structurée (voir Annexe), incluant à la fois une échelle hédonique pour mesurer l'acceptabilité globale et des critères descriptifs portant sur l'aspect, l'odeur, la texture et le goût. Cette démarche vise à identifier, en complément de l'échantillon témoin, la formulation sensoriellement la plus appréciée, en vue d'une valorisation éventuelle.

#### 5. Test de stabilité

Selon JORA (2017), le test de stabilité d'un fromage frais consiste à évaluer la durée pendant laquelle le produit conserve ses caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques sous des conditions de stockage définies. Ce test permet d'analyser l'évolution du fromage frais au fil du temps, en prenant en compte des paramètres tels que la texture, le goût, l'odeur, l'humidité, l'acidité, ainsi que la présence de microorganismes pathogènes ou de détérioration.

Les tests de stabilité sont réalisés sur une période donnée, généralement quelques semaines ou mois, avec des prélèvements réguliers pour observer l'évolution du fromage dans des conditions de stockage spécifiques (température, humidité). Ces analyses visent à déterminer la durée de vie du produit, la période optimale de consommation et les conditions de conservation idéales. L'objectif principal est de s'assurer que le fromage reste sûr à la consommation et conserve sa qualité tout au long de la période de stockage, en détectant toute dégradation physique ou chimique pouvant affecter son acceptabilité.

## 5.1 Analyses physico-chimiques

### 5.1.1 Mesure du PH

Pour mesurer le pH du fromage frais, on commence par homogénéiser 10 g de fromage dans 90 ml d'eau distillée. La suspension est ensuite agitée jusqu'à obtention d'un mélange homogène. Un pH-mètre, préalablement calibré à l'aide de solutions tampons (pH 4,00 et 7,00), est utilisé pour prendre la mesure. L'électrode est plongée directement dans la suspension, et la valeur du pH est lue une fois la stabilisation atteinte. (JORA 2012).

### 5.1.2 Détermination de l'extrait sec total (EST)

L'échantillon de fromage (environ 5 g) est pesé dans une capsule tarée puis placé dans une étuve à  $102 \pm 2$  °C jusqu'à obtention d'un poids constant (souvent après 16 à 18 heures). Après refroidissement en dessiccateur, le résidu est pesé. La teneur en extrait sec est calculée par la différence de poids avant et après séchage. Cela permet de déterminer la proportion de matière non aqueuse. (JORAn°37 – 2022.)

### 5.1.3 Détermination de la matière grasse

Deux méthodes sont utilisées. Pour les fromages frais solides, la méthode de Soxhlet est appliquée : l'échantillon sec est placé dans une cartouche et la matière grasse est extraite par un solvant organique (souvent l'éther de pétrole) pendant plusieurs heures. Le solvant est ensuite évaporé, et la graisse extraite est pesée

### 5.1.4 Détermination de la teneur en cendres

Pour cette analyse, 5 g de fromage sont pesés dans un creuset puis calcinés à 550 °C pendant 4 heures dans un four à moufle. Après refroidissement dans un dessiccateur, le creuset est pesé à nouveau (AOAC, 2002).

La teneur en cendres est exprimée en pourcentage de matière sèche :

$$Cendres (\%) = \left[ \frac{M_1 - M_0}{m} \right] \times 100$$

$M_1$  : masse du creuset avec les cendres (g)

$M_0$  : masse du creuset vide (g)

$m$  : masse de l'échantillon (g)

### 5.1.5 Détermination de la teneur en protéines

La méthode de Kjeldahl (**Kjeldahl, 1883**) est utilisée en trois étapes : minéralisation, distillation, et titration.

- Minéralisation :

Dans un matras de Kjeldahl, on introduit 1 g de fromage, 2 g de catalyseur, et 20 mL d'acide sulfurique concentré (97 %). Le mélange est chauffé jusqu'à devenir clair, indiquant que l'azote organique est converti en azote minéral. Le volume est ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée.

- Distillation :

Dans un ballon, 20 mL du digestat, 50 mL d'eau distillée, et 50 mL de soude (33 %) sont ajoutés. En parallèle, 20 mL d'acide borique ( $H_3BO_3$  4 %) sont placés dans un bécher. L'ammoniac libéré est capté par l'acide borique.

- Titration :

Le distillat est titré avec de l'acide sulfurique (98 %).

Les formules utilisées sont :

$$Taux\ d'azote\ total\ (\%) = \frac{[V(H_2SO_4) \times N(H_2SO_4) \times 0,014 \times 100]}{P}$$

$$Teneur\ en\ protéines\ (g/100\ g\ fromage) = NT\ (\%) \times 6,38$$

$V(H_2SO_4)$  : volume d'acide sulfurique utilisé (mL)

$N(H_2SO_4)$  : normalité de l'acide sulfurique (0,1 N)

0,014 : coefficient de conversion

P : masse de l'échantillon (g)

6,38 : facteur de conversion de l'azote en protéines

### 5.1.6 L'acidité titrable

L'acidité titrable du fromage frais a été déterminée selon la méthode décrite par **Boudries (2018)**. Pour ce faire, un gramme de fromage est homogénéisé avec 10 mL d'eau distillée dans un bécher. Ensuite, quelques gouttes de phénolphthaléine à 1 % sont ajoutées comme indicateur de pH. La suspension obtenue est titrée à l'aide d'une solution de soude (NaOH) de normalité 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose, marquant le point d'équivalence. L'acidité titrable, exprimée en pourcentage d'acide lactique (TTA %), est ensuite calculée à l'aide de la formule suivante :

$$TTA\ (\%) = V_{NaOH} \times 0,1 \times 10 \times 0,009 \times 100,$$

Où  $V$  *NaOH* représente le volume de soude utilisé en mL, 0,1 la normalité de la soude, 10 le facteur de dilution spécifique au fromage, 0,009 le coefficient lié à l'acide lactique, et 100 un facteur de conversion pour l'expression en pourcentage.

## 5.2 Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été menées aux jours J+1, J+7, J+14 et J+21 au sein du laboratoire de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées. Le choix des micro-organismes ciblés a été établi en fonction des milieux de culture disponibles dans l'institut.

Les germes recherchés sont :

- *Escherichia coli*
- *Staphylococcus aureus* à coagulase positive
- *Salmonella spp*

### 5.2.1 Préparation de la solution mère

Un gramme de fromage est homogénéisé dans 9 mL de diluant TSE (Tryptone, Sel, Eau), constituant ainsi une dilution au  $10^{-1}$ , selon les recommandations de la **JORA (2004)**.

### 5.2.2 Recherche et dénombrement d'*Escherichia coli*

La détection d'*Escherichia coli* est réalisée par ensemencement en profondeur en double couche sur milieu VRBL (milieu lactosé bilé avec cristal violet et rouge neutre).

Pour cela, 1 mL de la solution mère ( $10^{-1}$ ) est versé dans une boîte de Pétri stérile, suivi de l'ajout d'environ 15 mL de milieu VRBL. Le mélange est homogénéisé par des mouvements circulaires, puis laissé à solidifier. Une seconde couche de VRBL est ensuite coulée et solidifiée. Les boîtes sont incubées à 44 °C pendant 18 à 24 heures (**ISO 16649-2 : 2001**).

### 5.2.3 Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*

À l'aide d'une pipette stérile, 0,1 mL de la solution mère est prélevé et étalé uniformément sur la surface du milieu Baird-Parker, en réalisant des stries à l'aide d'un râteau stérile. Les boîtes ensemencent

#### **5.2.4 Salmonella spp**

L'échantillon de fromage est d'abord soumis à une étape de pré-enrichissement non sélectif dans de l'eau peptonée tamponnée, afin de favoriser la récupération des cellules de Salmonella éventuellement stressées par les conditions de transformation ou de conservation. Après incubation, un enrichissement sélectif est effectué dans des milieux tels que le bouillon Rappaport-Vassiliadis et le bouillon Tétrathionate, suivis d'un ensemencement sur des milieux sélectifs solides comme le XLD (Xylose Lysine Deoxycholate) et Hektoen. Les colonies suspectes sont ensuite soumises à des tests biochimiques (comme TSI, LIA, urée) et à une confirmation sérologique à l'aide d'antisérums spécifiques. Cette méthode est particulièrement adaptée aux produits laitiers frais, où la détection de Salmonella est essentielle pour garantir la sécurité microbiologique du produit. (ISO 6579-1 :2017)

#### **6. Analyse statistique**

Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes issues de trois répétitions, accompagnées de leur écart-type. L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide logiciel STATISTICA (version 12).

#### **7. Étude de la valeur marchande**

Le coût de revient du fromage frais enrichi en sumac a été évalué en prenant en considération les prix unitaires des matières premières ainsi que ceux des différents ingrédients utilisés.

# **CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION**

## 1. Résultats des analyses physico-chimiques du sumac

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de fruit de sumac sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 Composition physico-chimique du *Rhus coriaria* L.

Paramètres physicochimiques	Teneurs
Matière sèche (%)	80,20±2
Protéines (%)	2,79±0,141
Matière grasse (%)	9,06±0,3
Cendres (%)	5,4 ±0,22
pH	3,06±0,01
Acidité (%)	2,58± 0,21

### 1.1 Évaluation de la teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche du *Rhus coriaria* analysée dans cette étude a été déterminée à  $80,20 \pm 2$  %, traduisant une faible teneur en eau et une bonne concentration en composants solides. Cette valeur est inférieure à celles rapportées dans la littérature, notamment par **(Kossah et al. 2009)**, **(Ozcan et Hacisferogullari2004)** ainsi que **(Jamir et Sibian2023)**, qui ont rapporté respectivement des teneurs de 88,2 %, 89,4 % et jusqu'à 92,74 %. Ces écarts peuvent être attribués à plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques (température, humidité de l'air), la méthode de séchage (température, durée), ainsi que les conditions de stockage post-récolte. Ce qui reste cohérent avec les données rapportées par **Chaouche et Daouedine (2024)**, qui ont obtenu une teneur en matière sèche de 21,3 % pour le sumac. Cette valeur est typique d'un produit bien séché, influencé par les conditions de séchage et l'origine botanique du végétal.

### 1.2 Évaluations de la teneur en protéines

La quantification des protéines dans le sumac a révélé une teneur de  $2,79 \pm 0,14$  %, ce qui se situe légèrement en dessous des valeurs rapportées par **(Raodah et al. 2014)** et **(Jamir et Sibian2023)**, avec respectivement 4,96 % et 4,84 %. En revanche, ce résultat est proche de celui observé par **(Ozcan et Hacisferogullari2004)**, qui ont rapporté une teneur plus faible de 2,6 %. Ces divergences peuvent être expliquées par des facteurs agronomiques tels que la fertilité du sol, le type de fertilisant utilisé, ainsi que les conditions de culture. Il a été démontré que l'apport de fertilisants appropriés peut significativement augmenter la teneur

en protéines des plantes, en améliorant leur croissance et leur profil nutritionnel (**Lemma et Abewoy, 2021**).

### 1.3 Évaluation de la teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse du *Rhus coriaria* mesurée dans cette recherche est de  $9,06 \pm 0,3$  %, ce qui est supérieur aux résultats de (**Ozcan et Hacisferogullari2004**) (7,4 %) et de (**Raodah et al. 2014**) (7,67 %), mais reste inférieure aux teneurs très élevées rapportées par (**Jamir et Sibian2023**), qui ont observé jusqu'à 19,45 %. Cette variabilité peut être influencée par les conditions climatiques, notamment le stress hydrique, qui pousse la plante à accumuler davantage de lipides comme mécanisme d'adaptation. De plus, la méthode d'extraction utilisée joue un rôle crucial dans le rendement en matière grasse, certaines techniques étant plus efficaces que d'autres pour libérer les lipides (**Kehelpannala et al. 2020 ; Kumar et al. 2018**).

### 1.4 Evaluation de la teneur en cendres

La teneur en cendres obtenue dans cette étude est de  $5,4 \pm 0,22$  %, révélant une richesse en éléments minéraux. Cette valeur dépasse largement les 2,1 % observés par (**Chaouche et Daouedine 2024**) pour la même espèce végétale dans des conditions pédoclimatiques comparables à notre région, ainsi Cette valeur est nettement supérieure à celle de 1,8 % rapportée par (**Ozcan et Hacisferogullari2004**), et aussi au résultat de 4,10 % obtenu par (**Jamir et Sibian2023**). Plusieurs facteurs peuvent justifier ces différences, notamment la nature du sol, la richesse en minéraux, les pratiques agricoles (fertilisation, irrigation) ainsi que les conditions environnementales.

### 1.5 Évaluation du pH

Le pH mesuré pour le *Rhus coriaria* dans cette étude est de  $3,06 \pm 0,01$ , traduisant une acidité relativement marquée. Cette valeur est inférieure à celles rapportées dans la littérature, comme 3,7 pour (**Ozcan et Hacisferogullari2004**) et 3,02 pour (**Raodah et al. 2014**). Les différences de pH peuvent être influencées par la variété du sumac, l'environnement de culture, et surtout la maturité des fruits au moment de la récolte. Un pH plus bas peut indiquer une accumulation plus importante d'acides organiques, en lien avec le stade physiologique de la plante et ses réponses aux stress environnementaux.

### 1.6 Évaluation de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée à  $2,58 \pm 0,21$  %, ce qui confirme l'acidité du *Rhus coriaria*. Ce taux est relativement élevé comparé à certaines données de la littérature, bien que les

valeurs varient fortement selon les conditions environnementales. L'acidité est influencée par la composition biochimique du fruit, sa maturité au moment de la récolte, ainsi que par la nature du sol et l'humidité ambiante. Une teneur élevée en acides organiques peut également refléter un potentiel antioxydant important, valorisant l'usage du sumac dans les préparations alimentaires et phytothérapeutiques (Durán-Soria et al. 2020 ; Mosa et El-Naggar, 2011).

## 2. Résultats du screening phytochimique du sumac

### 2.1 Teste phytochimiques

Les résultats de l'examen phytochimique préliminaire des extraits aqueux et éthanoliques, obtenus par screening phytochimique, sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 7 Résultats comparatifs du screening phytochimique des extraits aqueux et éthanoliques de *Rhus coriaria* L.

Substances recherchées	Aqueux	Ethanolique
Composées phénoliques	+	+
Flavonoïdes	-	+
Tannins	+	+
Alcaloïdes	+	+
Saponosides	-	-
Composés réducteurs	+	+
Mucilage	-	-
Caroténoïdes	-	-

Les extraits de *Rhus coriaria* ont été obtenus à l'aide de deux solvants de polarité différente : l'eau et l'éthanol. Ces solvants ont permis l'extraction de plusieurs familles de composés bioactifs, notamment les composés phénoliques, les tanins, les flavonoïdes, les alcaloïdes, les saponosides, les composés réducteurs ainsi que les caroténoïdes. Le screening phytochimique de l'extrait aqueux a révélé la présence de composés phénoliques, de tanins et d'alcaloïdes, en accord avec les observations rapportées par (Akrayi et al. 2015) pour *Rhus coriaria*. Toutefois, aucune trace de flavonoïdes, de saponosides, de mucilage ni de caroténoïdes n'a été détectée dans cet extrait, contrairement aux résultats obtenus par (Benmansour2020) pour *Rhus pentaphylla*, chez qui ces composés étaient présents. Par

ailleurs, des composés réducteurs ont été identifiés dans l'extrait aqueux, confirmant les données de (Benmansour2020).

Concernant l'extrait éthanolique, les résultats se sont révélés globalement similaires à ceux de l'extrait aqueux, à l'exception des flavonoïdes, détectés uniquement dans ce type d'extrait. Cela peut s'expliquer par la nature chimique des composés extraits, fortement influencée par la polarité du solvant utilisé. En effet, les solvants polaires tels que l'eau et le méthanol favorisent l'extraction des composés polaires comme les phénols, tandis que les solvants apolaires comme l'hexane ou le chloroforme sont plus efficaces pour extraire les composés non polaires (Ghedadba et al. 2014). Le choix du solvant a donc un impact direct sur la qualité et la diversité des métabolites secondaires extraits.

De plus, la composition phytochimique des plantes peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs environnementaux et physiologiques, notamment les conditions climatiques, la nature du sol, la période de récolte, ainsi que l'origine géographique et les caractéristiques génétiques de l'espèce (Bouchenak et al. 2020).

## 2.2 Analyse quantitative

L'évaluation quantitative des polyphénols totaux et des flavonoïdes dans les fruits de *Rhuscoriaria* a été réalisée selon des méthodes colorimétriques. Le dosage des polyphénols a été effectué à l'aide du réactif de *Folin-Ciocalteu*, tandis que les flavonoïdes ont été quantifiés à l'aide du trichlorure d'aluminium. Les concentrations ont été déterminées à partir des équations de régression linéaire obtenues à partir des courbes d'étalonnage spécifiques à chaque composé de référence. Les résultats sont exprimés respectivement en milligrammes d'équivalent d'acide gallique (mg EAG/g de matière sèche) pour les polyphénols, et en milligrammes d'équivalent de quercétine (mg EQ/g de matière sèche) pour les flavonoïdes. L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau

Tableau 8 Teneurs en polyphénols et en flavonoïdes de *Rhuscoriaria L*

<b>Teneurs</b>	
<b>Polyphénols (mg EAG/g MS)</b>	13,01 ± 2,32
<b>Flavonoïdes (mg EQ/g MS)</b>	30,20 ± 2,10

### 2.2.1 Évaluation de la teneur en polyphénols totaux

Les analyses ont révélé que la teneur en polyphénols totaux des fruits de *Rhus coriaria* est de  $13,01 \pm 2,32$  mg EAG/g de matière sèche. Cette valeur est relativement proche de celles rapportées par (Benmansour2020) et (Roadah et al. 2014), qui ont respectivement obtenu 9,30 mg EAG/g MS pour *Rhus pentaphylla* et 6,10 mg EAG/g MS pour le sumac syrien. En revanche, des études plus récentes menées par (Ozcan et al. 2021) et (Vecchio et al. 2022) ont rapporté des concentrations nettement plus élevées, comprises entre 36,8 et 58,46 mg EAG/g MS, voire 71,69 mg EAG/g MS, ce qui souligne la variabilité des teneurs en polyphénols selon l'espèce, l'origine géographique et les conditions d'extraction.

### 2.2.2 Évaluation de la teneur en flavonoïdes totaux

La concentration en flavonoïdes totaux des fruits de *Rhus coriaria* a été déterminée à  $30,20 \pm 2,10$  mg EQ/g de matière sèche. Cette valeur est supérieure à celles rapportées dans plusieurs études antérieures, notamment par (Tohma et al. 2019), (Zannou et al. 2023) et (Mahmod et al. 2022), avec des teneurs respectives de 20,34 mg, 17,75 mg et 12,86 mg EQ/g MS. En revanche, elle diffère considérablement du résultat obtenu par (Benmansour 2020), qui a rapporté une teneur de 6,17 mg EQ/g MS pour *Rhus pentaphylla*. Ces données confirment la richesse plus marquée de l'espèce *Rhus coriaria* en flavonoïdes par rapport à d'autres espèces du même genre.

Les variations observées dans les teneurs en polyphénols et flavonoïdes peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment les conditions environnementales (sécheresse, type de sol, saison), l'origine géographique, la période de récolte, ainsi que les paramètres d'extraction tels que le type de solvant, la durée et la température d'extraction (Lee et al. 2003) ; (Ebrahimi et al. 2008) ;(Ghedadba et al. 2014).

### 2.3 Évaluation de l'activité antioxydante par les tests DPPH et ABTS

L'activité antioxydante des extraits aqueux et éthanoliques de *Rhus coriaria* a été évaluée à l'aide des tests DPPH et ABTS. Les résultats obtenus sont présentés de manière comparative dans le tableau 9.

Tableau 9 Activité antioxydante de « *Rhus coriaria* » exprimée en % d'inhibition

	DDPH %	ABTS %
<b>Extrait aqueux</b>	95,06 ± 0,45b	99,61 ± 0,3b
<b>Extrait éthanolique</b>	93,38 ± 0,71a	98,39 ± 0,3a
<b>Quercétine</b>	63,54 ± 0,33	94,42 ± 0,21
<b>Catéchine</b>	32,88 ± 0,58	75,60 ± 0,21
<b>BHT</b>	44,6 ± 0,55	41,71 ± 0,18

S'agissant de l'inhibition du radical ABTS, les extraits de *Rhus coriaria* ont montré une efficacité antioxydante remarquable. L'extrait aqueux a atteint un taux d'inhibition de 99,61 ± 0,3 %, tandis que l'extrait éthanolique a affiché une valeur légèrement inférieure, de 98,39 ± 0,3 %. En comparaison, les antioxydants de référence utilisés comme témoins ont présenté des activités moindres : 94,42 ± 0,21 % pour la quercétine, 75,60 ± 0,21 % pour la catéchine, et 41,71 ± 0,18 % pour le BHT. Ces données confirment le fort pouvoir antioxydant des extraits de sumac, en particulier celui de l'extrait aqueux, qui se révèle plus performant que les antioxydants de synthèse et que l'extrait éthanolique (**Bozkurt, 2006**) ; (**Bursal et Köksal, 2011**).

La capacité d'inhibition des radicaux libres dépend en grande partie du solvant utilisé pour l'extraction, car la polarité et les propriétés chimiques des composés antioxydants influencent leur solubilité. Ainsi, les solvants polaires comme l'eau favorisent l'extraction des composés phénoliques hydrophiles. Par ailleurs, l'activité antiradicalaire du sumac est également modulée par plusieurs facteurs extrinsèques et intrinsèques, notamment le stade de développement de la plante, les conditions environnementales (saison, température, luminosité, composition du sol), ainsi que les caractéristiques génétiques propres à l'espèce (**Fereidoonfar et al. 2019**).

### 3. Résultats des analyses microbiologiques du sumac

Tableau 10 résultats des analyses microbiologiques du sumac.

Germes recherchés	UFC/g
<i>Staphylocoques à coagulase positif</i>	Absence
<i>La flore totale aérobie mésophile</i>	Absence
<i>Coliformes fécaux</i>	Absence
<i>Anaérobies sulfito-réducteurs</i>	Absence
<i>Levures et moisissures</i>	Absence

#### 3.1 Interprétation des résultats microbiologiques du sumac

Les analyses microbiologiques effectuées sur l'échantillon de *Rhus coriaria* (sumac) ont révélé une absence totale de la flore aérobie mésophile, des coliformes fécaux, des levures et moisissures, des staphylocoques à coagulase positive ainsi que des anaérobies sulfito-réducteurs. Ces résultats indiquent un produit microbiologiquement sain, avec une hygiène satisfaisante au niveau de la chaîne de production, depuis la récolte jusqu'au conditionnement.

L'absence de flore totale aérobie mésophile, qui représente un indicateur général de la qualité hygiénique d'un produit alimentaire, témoigne d'une charge microbienne négligeable. Ceci suggère que le sumac analysé n'a pas subi de contamination significative par des germes d'origine environnementale. Ce constat est en cohérence avec les résultats **d'Abu-Reidah et al. (2015)**, qui ont montré que les extraits de sumac séché présentaient une faible contamination microbienne, confirmant l'innocuité du produit à l'état sec, souvent liée à sa faible teneur en eau et à sa composition bioactive.

L'absence de coliformes fécaux, indicateurs spécifiques de contamination d'origine fécale, atteste d'une bonne qualité sanitaire du sumac. Cela reflète l'efficacité des bonnes pratiques d'hygiène (GHP) lors des étapes de transformation et de manipulation du produit. De plus, cette absence renforce l'idée que le sumac pourrait contenir des composés antimicrobiens actifs inhibant la croissance de ces micro-organismes. En ce sens, **Gull et al. (2015)** ont démontré l'effet inhibiteur des extraits de *Rhus coriaria* sur plusieurs souches entériques

telles qu'*Escherichia coli*, soulignant ainsi son potentiel en tant qu'agent antimicrobien naturel.

L'absence de levures et de moisissures dans l'échantillon analysé est également significative. Elle suggère que le produit ne présente pas de conditions favorables au développement de flore fongique, probablement en raison d'une faible activité de l'eau ( $A_w$ ) et de la présence de composés antifongiques naturels. **Rayne et Mazza (2007)** ont rapporté que la richesse du sumac en tanins hydrolysables, flavonoïdes et acides organiques, tels que l'acide gallique, confère au produit une activité antimicrobienne large, incluant les champignons microscopiques.

L'absence de staphylocoques à coagulase positive, notamment *Staphylococcus aureus*, confirme que le sumac n'a pas été exposé à une contamination d'origine humaine post-récolte. Ce germe étant fréquemment associé à des manipulations inappropriées, son absence corrobore une bonne hygiène au niveau de la main-d'œuvre. **Gull et al. (2015)** ont souligné que le sumac exerce un effet bactéricide contre *les cocci Gram positifs*, incluant *S. aureus*, ce qui renforce la crédibilité de ces observations.

L'absence d'*anaérobies sulfito-réducteurs*, indicateurs de germes sporulés tels que *Clostridium spp.* Témoinne de l'innocuité du produit vis-à-vis de bactéries potentiellement pathogènes. Cette absence, conjuguée à la nature acide du sumac, rend le milieu défavorable à la germination et à la croissance de ces bactéries. Selon **Abu-Reidah et al. (2015)**, les propriétés acides et phénoliques du sumac peuvent inhiber efficacement les germes anaérobies.

#### **4. Résultats des analyses physico-chimiques du lait demi écrème additionne de 90 de poudre de lait**

Les résultats d'analyses physico-chimiques du lait sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 Résultats d'analyses physico-chimiques du lait.

Paramètres	Résultats	Norme JORA n°35/1998
pH	6,6± 0,1	Entre 6,6et 6,8
Acidité (°D)	15±1,0	15 à 18
Matière grasse %		≥ 3,2
Protéines %	5,1± 0,1	≥ 2,9

Les analyses physico-chimiques du mélange lait demi-écrémé additionné de 90 g de poudre de lait ont révélé un pH de  $6,6 \pm 0,1$ , une acidité titrable de  $15 \pm 1,0^{\circ}\text{D}$  et une teneur en protéines de  $5,1 \pm 0,1$  %. Ces résultats sont conformes aux exigences de la norme algérienne JORA n°35/1998 relative au lait pasteurisé. Le pH mesuré, situé dans la fourchette normale de 6,6 à 6,8, indique une stabilité chimique et microbiologique satisfaisante, témoignant de l'absence de fermentation ou de détérioration du produit. L'acidité titrable, exprimée en degrés Dornic, est également dans la plage acceptable (14–18 °D), reflétant une fraîcheur adéquate du lait et confirmant que l'ajout de poudre de lait n'a pas altéré cet équilibre acido-basique. Par ailleurs, la teneur en protéines de 5,1 % dépasse largement le minimum réglementaire de 2,9 %, ce qui s'explique par l'enrichissement apporté par la poudre de lait, riche en protéines (environ 26 %). Ce constat rejoint les observations de **(Chaouche et Daouedine 2024)**, qui ont également noté une augmentation significative de la teneur protéique dans des formulations enrichies en poudre de lait, contribuant ainsi à améliorer le profil nutritionnel final. Cette augmentation contribue à améliorer la valeur nutritionnelle du mélange, conformément aux observations rapportées par **(Kherouatou et al. 2019)**. En somme, ces paramètres physico-chimiques démontrent que le mélange étudié respecte les critères de qualité fixés par la réglementation algérienne, tout en présentant un profil nutritionnel enrichi grâce à l'incorporation de poudre de lait.

## 5. Résultats des analyses microbiologiques du lait

Tableau 12 Résultats des analyses microbiologiques du lait

Germes recherchés	UFC/ml
<i>Germes aérobies à 30°C</i>	2,1 × 10 <sup>3</sup> UFC/ml
<i>Enterobacteriaceae</i>	Absence
<i>Salmonella</i>	Absence

Selon le **JORA 2017**, l'échantillon de lait pasteurisé analysé présente une excellente qualité microbiologique, avec une absence totale de *Salmonella* et d'*Entérobactéries*, témoignant d'une hygiène rigoureuse lors de la production. La charge en germes *aérobies mésophiles* à 30 °C, évaluée à 2,1 × 10<sup>3</sup> UFC/ml, est nettement inférieure aux limites fixées par la norme (m = 10<sup>4</sup> UFC/ml et M = 10<sup>5</sup> UFC/ml), confirmant ainsi la bonne maîtrise des procédés de pasteurisation et de conservation. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans d'autres études similaires, telles que celles de **Benali et al. (2019)** et **Djebar et al. (2021)**, qui ont également rapporté des charges microbiennes faibles et l'absence de pathogènes dans des laits pasteurisés conformes aux normes algériennes

## 6. Évaluation de l'analyse sensorielle

Une évaluation sensorielle a été menée dans le but de comparer plusieurs échantillons de fromages frais, dont un témoin, afin d'identifier celui ayant obtenu la meilleure appréciation globale de la part des dégustateurs. L'analyse s'est basée sur différents critères : la couleur, l'odeur, la saveur (incluant l'intensité de l'arôme, l'acidité, la salinité, l'amertume et l'arrière-goût), ainsi que la texture.

Chaque critère a été noté sur une échelle allant de 1 à 5, où 1 correspond à une appréciation très faible et 5 à une appréciation très favorable.

Les dégustateurs ont été invités à évaluer quatre échantillons codés comme suit :

- Fromage A : témoin (fromage frais non enrichi)
- Fromage B : fromage frais enrichi avec 7 g de poudre de sumac
- Fromage C : fromage frais enrichi avec 10 g de poudre de sumac
- Fromage D : fromage frais enrichi avec 13 g de poudre de sumac

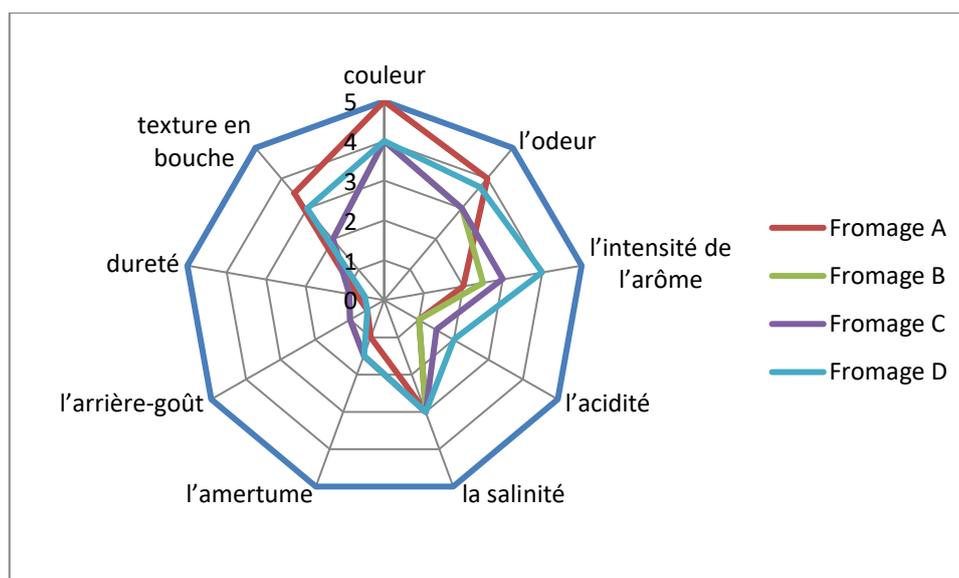


Figure 4 profil sensoriel pour les différents fromages préparés (fromage témoin et enrichi en sumac à différentes concentrations)

Le graphique illustre les profils sensoriels de quatre fromages, dont un témoin (Fromage A) et trois enrichis avec différentes doses de poudre de sumac (7 g, 10 g et 13 g). On y observe que le Fromage D, enrichi avec 13 g de sumac, présente la surface d'évaluation la plus étendue, traduisant une performance supérieure sur la majorité des critères : couleur, odeur, intensité de l'arôme, acidité, salinité, amertume, arrière-goût, dureté et texture en bouche. Cela indique une perception sensorielle globale plus riche et plus équilibrée.

En comparaison, le Fromage A (témoin) montre un bon profil de base, notamment en texture et en couleur, mais reste moins expressif, en particulier sur les critères de saveur et d'arôme. Les fromages B (7 g) et C (10 g) affichent des profils plus restreints, avec des performances moindres sur plusieurs attributs sensoriels, suggérant que des concentrations plus faibles en sumac ne suffisent pas à améliorer pleinement la qualité organoleptique du produit.

Ainsi, le profil sensorielle met en évidence que l'enrichissement en 13 g de poudre de sumac permet d'optimiser le profil sensoriel du fromage frais, en améliorant à la fois ses caractéristiques aromatiques, gustatives et texturales.

Les dégustateurs ont montré une préférence marquée pour le Fromage D (enrichi avec 13 g de sumac), qui a obtenu les meilleures appréciations sur plusieurs caractéristiques sensorielles. Concernant l'odeur, 44 % des dégustateurs ont jugé qu'elle était forte à très forte, ce qui reflète une bonne intensité aromatique, tandis que le fromage A (témoin) atteint

51 % dans cette même catégorie. En termes de couleur, 60 % des dégustateurs ont attribué au fromage D'une note forte à très forte, indiquant une couleur jugée naturelle et attractive. Pour la saveur, les notes sur l'intensité de l'arôme (50 % en "forte à très forte"), l'acidité (55 %), la salinité (49 %), ainsi que l'arrière-goût (62 %), montrent que le fromage D est le plus riche et équilibré sensoriellement. Concernant la texture, 60 % des dégustateurs ont trouvé la dureté "forte à très forte", et 62 % ont qualifié la texture en bouche d'agréable (forte à très forte). Enfin, en termes de préférence globale, le fromage D a été jugé "agréable à très agréable" par 55 % des dégustateurs, et a obtenu la meilleure note de préférence avec 7.1/8, suivi du fromage C (10g) avec 6.2/8. Ces résultats confirment que l'enrichissement à 13 g de sumac optimise les caractéristiques sensorielles du fromage frais tout en augmentant son acceptabilité.

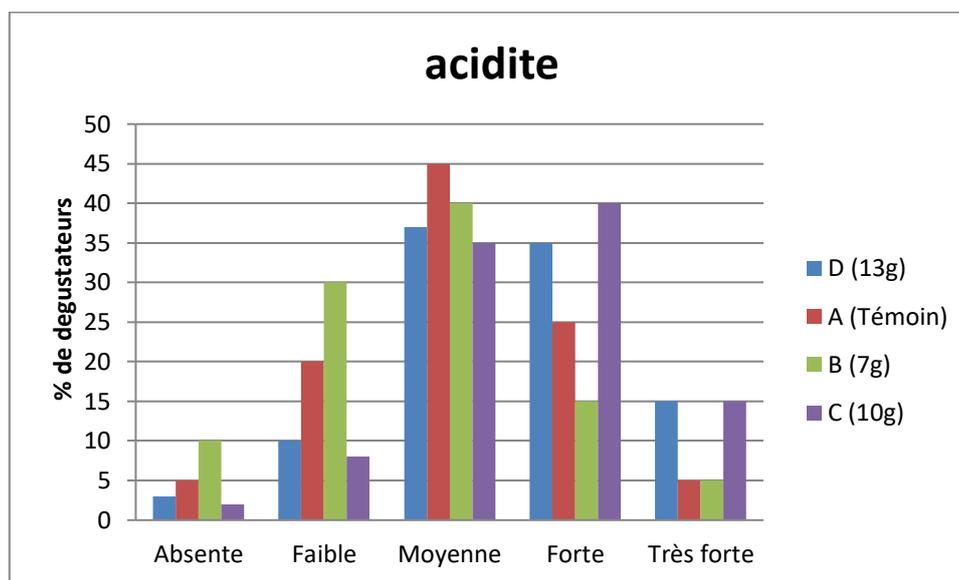


Figure 5 Comparaison du caractère acidité des fromages préparés

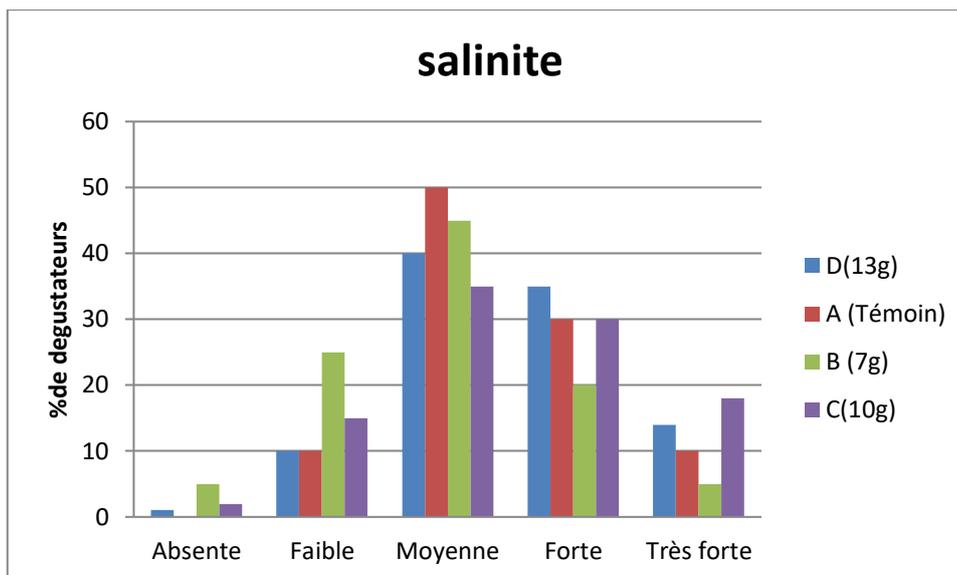


Figure 6 Comparaison du caractère salinité des fromages préparés.

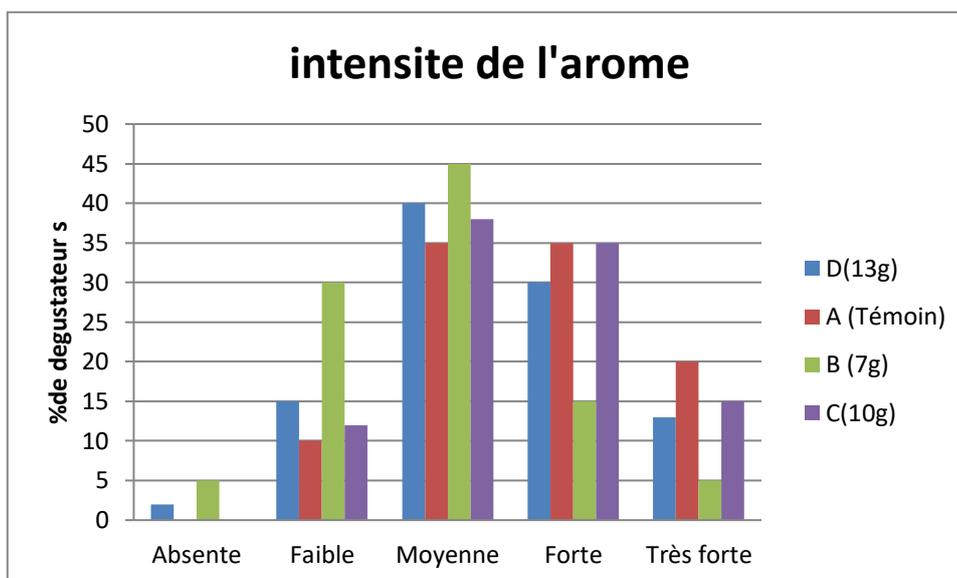


Figure 7 Comparaison du caractère intensité d'arôme des fromages préparés.

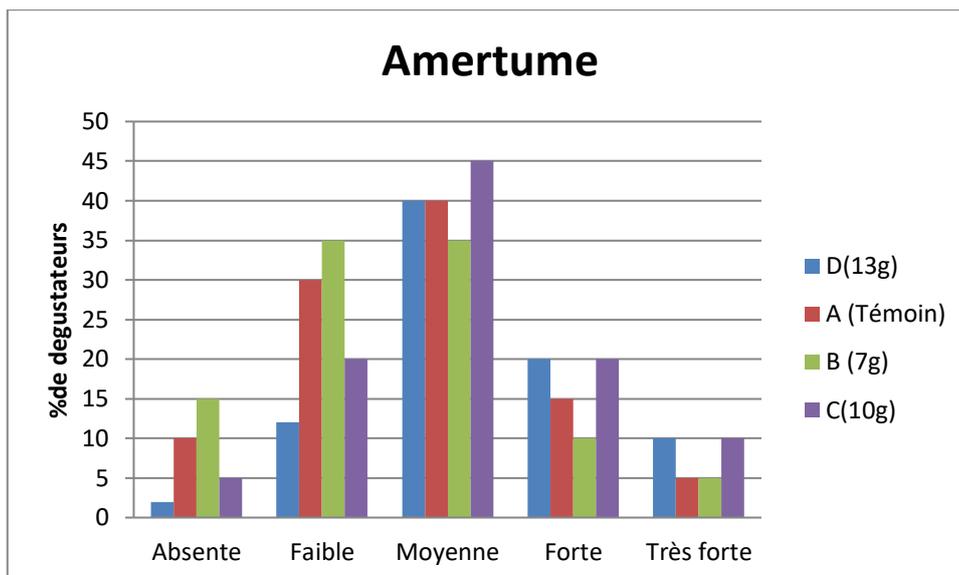


Figure 8 Comparaison du caractère amertume des fromages préparés.

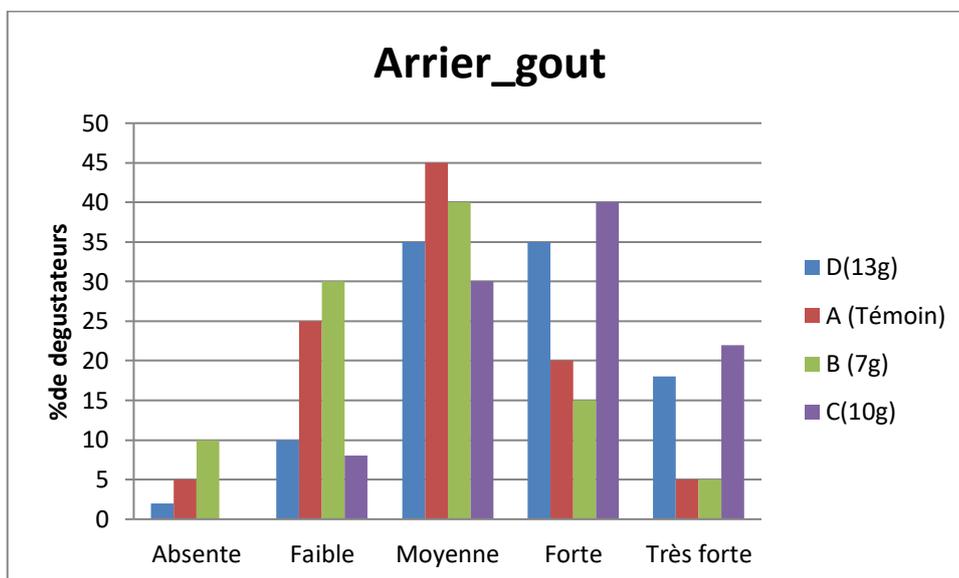


Figure 9 Comparaison du caractère arrière-goût des fromages

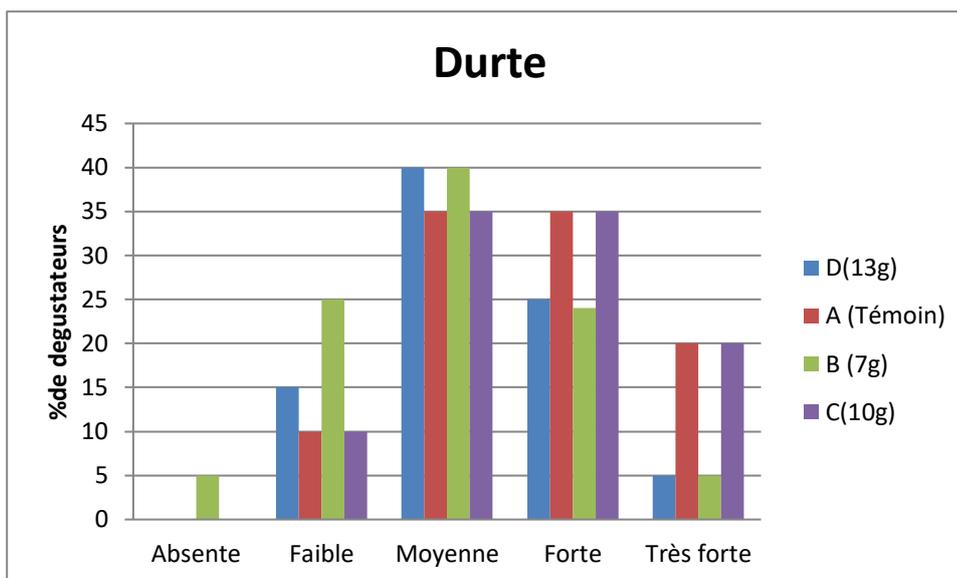


Figure 10 Comparaison du caractère dureté (aspect) des fromages.

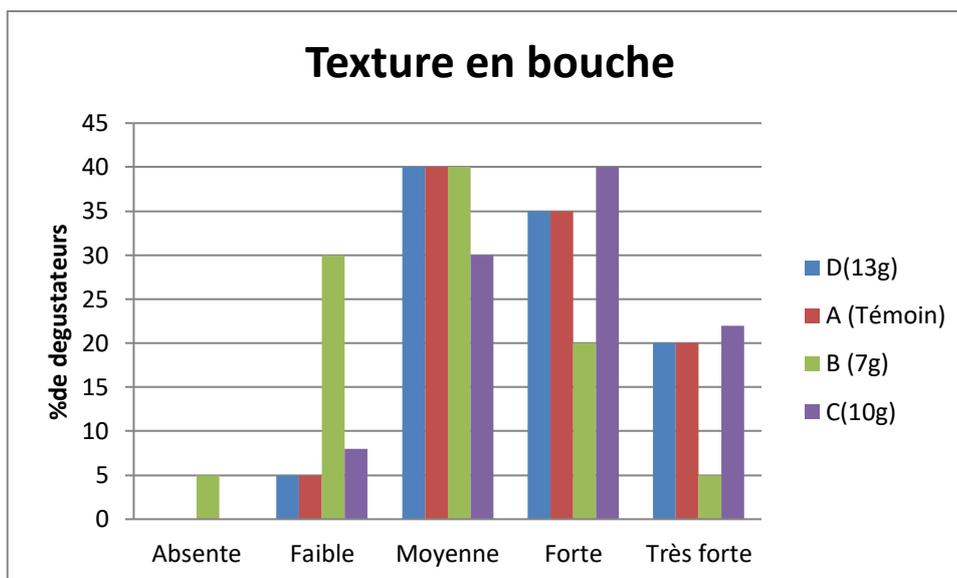


Figure 11 Comparaison du caractère texture en bouche des fromages.

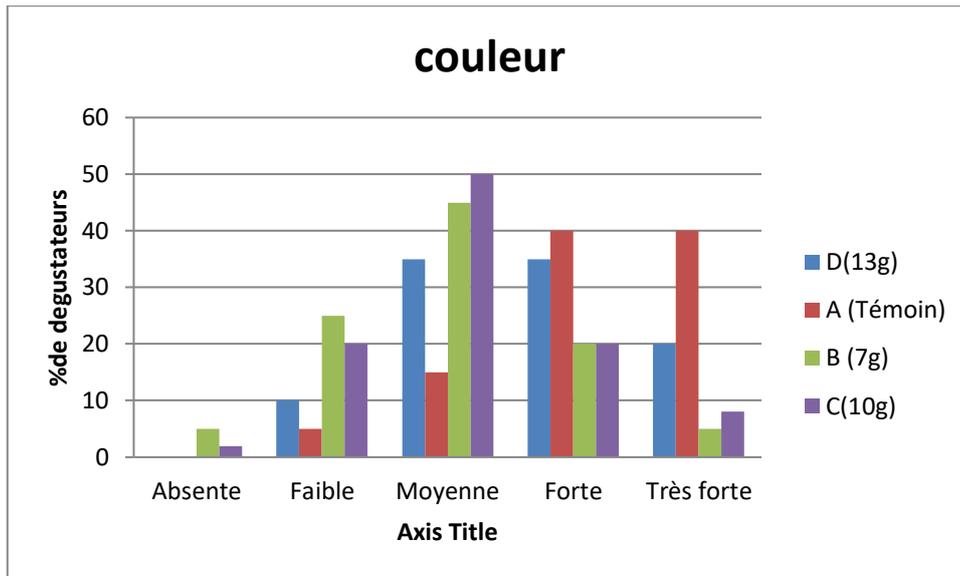


Figure 12 Comparaison du caractère couleur des fromages.

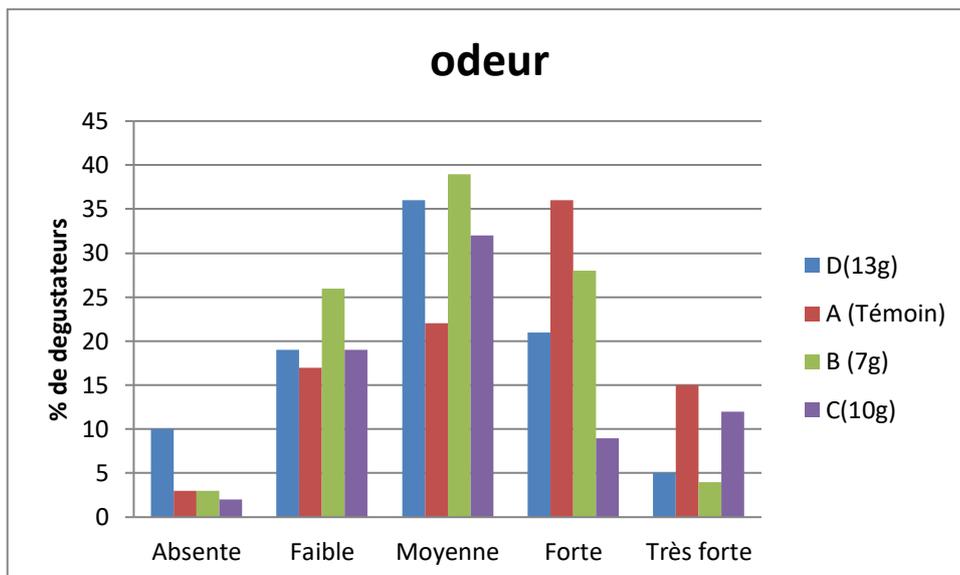


Figure 13 Comparaison du caractère odeur des fromages.

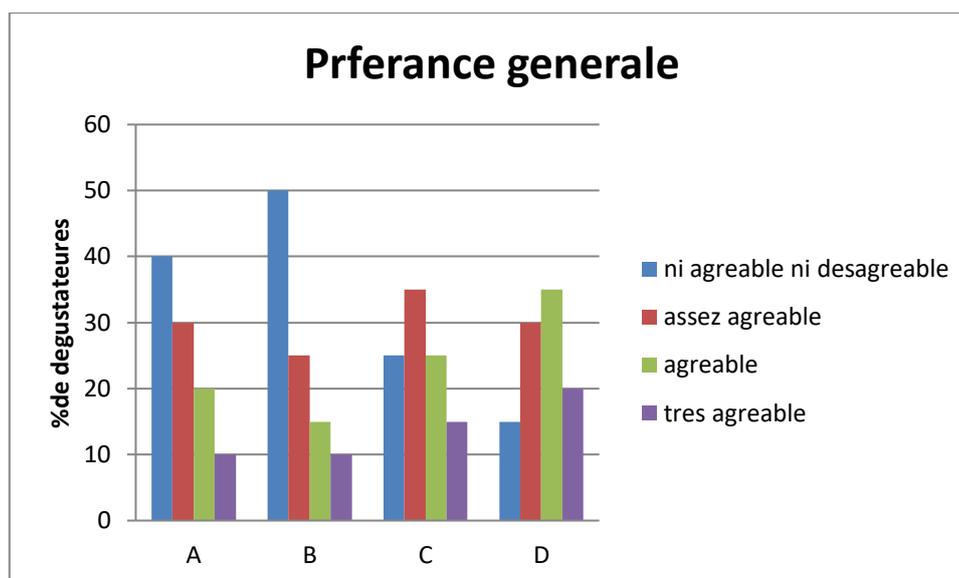


Figure 14 Préférence générale des fromages

## 7. Résultats des analyses physico-chimiques du fromage

Les résultats d'analyses physico-chimiques du fromage témoin et enrichi en sumac présentés dans le tableau suivant :

Tableau 13 La composition physico-chimique du fromage témoin et enrichi en sumac (7,10 et 13g).

Paramètres	Fromage témoin	Fromage enrichi 7g	Fromage enrichi 10g	Fromage enrichi 13g
Matière sèche (%)	41,51±0,76	43,05±3,82	49,24±1,17	52,56±0,23
Cendres (%)	4,53±0,01	4,55±0,01	5,92 ±2,38	8,67±6,82
pH	5,18±1,05	5,01± 0,96	4,8± 1,40	4,6± 1,23
Acidité (°D)	16,2±0,56	15,9±1,1	15,24± 2,04	14,98± 0,75
Protéines (%)	16,9±0,1	16,82±0,1	16,8±2,2	16,81±2,04
Matière grasse (%)	14,8±1,36	14,77± 1,01	14,7±1,1	14,56±1,24

### 7.1 Interprétation des résultats de fromage témoin

- La teneur en matière sèche obtenue pour le fromage frais est de 41.51 % ± 0.76 %. Cette valeur indique une bonne concentration en extraits secs, correspondant aux caractéristiques attendues pour ce type de produit. Selon la littérature, les fromages frais présentent généralement une matière sèche comprise entre 35 % et 45 %, en fonction des techniques de fabrication, du taux d'égouttage, et de la composition initiale du lait (Guinee et al. 2004 ; Tamime, 2006). Cette plage reflète un équilibre entre la rétention d'humidité, essentielle pour la texture, et la densité en nutriments.

La **norme Codex Alimentarius STAN 221-2001** recommande un minimum de 23 % de matière sèche pour les fromages frais. Le résultat obtenu dans cette étude est donc largement supérieur à cette exigence, traduisant une bonne qualité de concentration et une faible dilution du produit. Une teneur en matière sèche autour de 41 % confère généralement au fromage une texture plus ferme, une meilleure aptitude à la conservation, et une stabilité accrue pendant le stockage. Elle peut également influencer favorablement les caractéristiques sensorielles du produit.

- La teneur en cendres obtenue pour le fromage frais est de  $4,53 \pm 0,01$ , ce qui reflète une proportion appréciable de matières minérales dans le produit fini. Cette valeur est en accord avec les données de la littérature concernant les fromages frais élaborés à base de lait de vache, notamment dans l'étude de **(Ziarno et al. 2010)**, où les cendres varient entre 4,2 % et 4,6 %. La faible variation entre les deux échantillons analysés témoigne de la reproductibilité et de la fiabilité des mesures. La composition du lait utilisé, à savoir un lait demi-écrémé additionné de 90 g de poudre de lait, peut expliquer cette richesse minérale, la poudre de lait contribuant à concentrer les composants solides, notamment les minéraux. Ainsi, le taux de cendres mesuré reste cohérent avec les caractéristiques attendues d'un fromage frais enrichi en matière sèche laitière.
- Le pH mesuré du fromage frais est de  $5,18 \pm 1,05$  ce qui se situe dans l'intervalle classique observé pour les fromages à pâte fraîche, généralement compris entre 4,6 et 5,5 selon les normes de référence **(Codex Stan 221-2001 ; NF V 04-361)**. Cette valeur traduit une acidification adéquate du produit, résultant d'une fermentation lactique correctement conduite. Un pH dans cette plage favorise le développement des caractéristiques technologiques souhaitées, notamment une bonne tenue de la pâte et une texture souple et homogène. De plus, l'acidité modérée contribue au développement des qualités sensorielles du fromage, telles que la fraîcheur et la légère acidité perçue en bouche. Ainsi, la valeur obtenue est conforme aux exigences technologiques
- La teneur en acidité titrable du fromage frais analysé a été évaluée à  $16,2 \pm 0,56$  °D, ce qui correspond à une acidité modérée. Cette valeur se situe dans les limites acceptables définies par les normes algériennes, selon **la norme NA 1614-1997**, qui précise que l'acidité d'un fromage frais doit être comprise entre 15 et 30 °D (soit environ 0,15 à 0,30 % d'acide lactique). Cette acidité traduit un bon développement de la fermentation lactique, généralement assuré par les ferments ou les bactéries

lactiques naturelles du lait. Un pH modéré associé à une acidité d'environ 16 °D est typique d'un fromage frais jeune, dont la texture est légèrement ferme et le goût faiblement acidulé, ce qui est recherché dans ce type de produit. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux rapportés dans l'étude de **El Sayed et al., 2020**, qui ont mesuré une acidité moyenne de 16,5 °D dans un fromage frais conventionnel. De plus, dans une étude menée par **(Abd El-Moez et al. 2020)**, l'ajout d'extraits végétaux comme le sumac n'a pas significativement modifié l'acidité des fromages frais, qui est restée entre 16 et 18 °D, ce qui est cohérent avec le présent travail.

- La teneur en protéines du fromage frais témoin a été évaluée à  $16,9 \pm 0,1$  %, ce qui indique une forte rétention des protéines issues du lait, probablement liée à une bonne efficacité de la coagulation et à une évacuation modérée du lactosérum. Cette valeur est en accord avec celle rapportée par **(El Sayed et al. 2020)**, qui ont obtenu une teneur de 16,5 % dans un fromage frais fabriqué à partir de lait entier pasteurisé sans additif végétal.
- La teneur en matières grasses du fromage frais analysé a été déterminée à **14,8** %, une valeur qui s'inscrit dans les normes généralement observées pour les fromages frais élaborés à partir de lait entier. Cette concentration indique une bonne rétention lipidique lors du processus de fabrication, malgré l'égouttage partiel du lactosérum qui entraîne habituellement une légère perte de lipides. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par **(El Sayed et al. 2020)**, qui ont obtenu une teneur en matières grasses de **15,2** % dans un fromage frais préparé à partir de lait entier pasteurisé, sans additifs végétaux. La légère différence peut s'expliquer par des variations dans les conditions technologiques (temps d'égouttage, température, acidification) ou la composition initiale du lait utilisé.

### **7.2 Interprétation des résultats des fromages enrichis au sumac**

- La matière sèche des fromages enrichis augmente avec la concentration de sumac, passant de  $43,05 \pm 3,82$  % pour 7 g à  $49,24 \pm 1,17$  % pour 10 g et  $52,56 \pm 0,23$  % pour 13 g. Cette progression peut être attribuée à l'effet du sumac, qui contient des polyphénols ayant une capacité à retenir moins d'eau dans la matrice fromagère. Cette rétention hydrique réduite engendre une texture plus ferme et une concentration plus élevée en matière sèche. Une étude similaire réalisée par **(El-Sayed et al.2022)**

sur des fromages ultrafiltrés a observé une augmentation significative de la matière sèche avec l'ajout de sumac, confirmant que les composés phénoliques et les tanins peuvent influencer la répartition de l'eau dans le produit fini

- Les taux de cendres augmentent de façon notable avec la dose de sumac ajoutée :  $4,55 \pm 0,01$  % (7 g),  $5,92 \pm 2,38$  % (10 g), et  $8,67 \pm 6,82$  % (13 g). Cette augmentation reflète l'apport minéral du sumac, connu pour sa richesse naturelle en éléments tels que le potassium, le calcium, le fer et le magnésium. Cela montre que l'enrichissement au sumac renforce la densité minérale du fromage. (**Çelik et al., 2020**) ont trouvé des résultats comparables en enrichissant du fromage à pâte dure avec du sumac, notant une augmentation progressive des minéraux proportionnelle à la quantité de sumac ajoutée.
- Le pH du fromage diminue avec l'augmentation de la quantité de sumac : 5,01 (7 g), 4,8 (10 g), et 4,6 (13 g). Cette baisse est liée à la richesse du sumac en acides organiques comme l'acide malique et citrique, qui acidifient naturellement le produit. Une acidité plus élevée contribue à une meilleure conservation en inhibant les micro-organismes pathogènes. Ce phénomène est confirmé par (**Fazilah et al., 2021**), qui ont observé une baisse similaire du pH dans des fromages cheddar enrichis au sumac, en raison de la nature acide du condiment et de ses effets sur la fermentation lactique.
- L'acidité diminue légèrement malgré la baisse du pH, avec des valeurs de  $15,9 \pm 1,1$  °D (7 g),  $15,24 \pm 2,04$  °D (10 g) et  $14,98 \pm 0,75$  °D (13 g). Cette tendance peut s'expliquer par une activité antibactérienne des polyphénols du sumac, qui peut inhiber partiellement les bactéries lactiques responsables de la production d'acide. (**El-Sayed et al., 2022**) ont rapporté une réduction comparable de l'acidité dans des fromages traités au sumac, due à la perturbation de la flore fermentaire à haute dose, ce qui ralentit la production d'acide lactique.
- Les valeurs protéiques restent relativement stables malgré l'ajout croissant de sumac :  $16,82 \pm 0,1$  % (7 g),  $16,8 \pm 2,2$  % (10 g),  $16,81 \pm 2,04$  % (13 g). Cela montre que le sumac n'interfère pas avec la structure protéique ou les mécanismes de coagulation de la caséine. Ce résultat est cohérent avec l'étude de (**Fazilah et al. 2021**) sur du cheddar enrichi au sumac, où la teneur en protéines n'a pas significativement varié, suggérant que le sumac n'altère ni la rétention des protéines ni la texture protéique du fromage.

- La matière grasse montre une stabilité relative dans tous les échantillons, avec  $14,77 \pm 1,01$  % (7 g),  $14,7 \pm 1,1$  % (10 g) et  $14,56 \pm 1,24$  % (13 g). Cela suggère que l'ajout de sumac n'impacte pas l'émulsion lipidique ni la libération des graisses lors de la fabrication. Une stabilité similaire a été rapportée dans l'étude de (Çelik et al. 2020), où la teneur en matière grasse dans le fromage enrichi au sumac n'a pas été significativement modifiée, même à des concentrations élevées.

## 8. Résultats de tests de stabilités de fromages au cours de stockage

À température ambiante, le fromage témoin a subi une altération rapide, rendant les analyses impossibles à réaliser après un certain délai. En revanche, le fromage enrichi a conservé sa stabilité jusqu'au jour 7 (J+7)

### 8.1 Evaluation de la matière sèche

L'évolution de la teneur en matière sèche du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours est présentés dans les figures 15 et 16

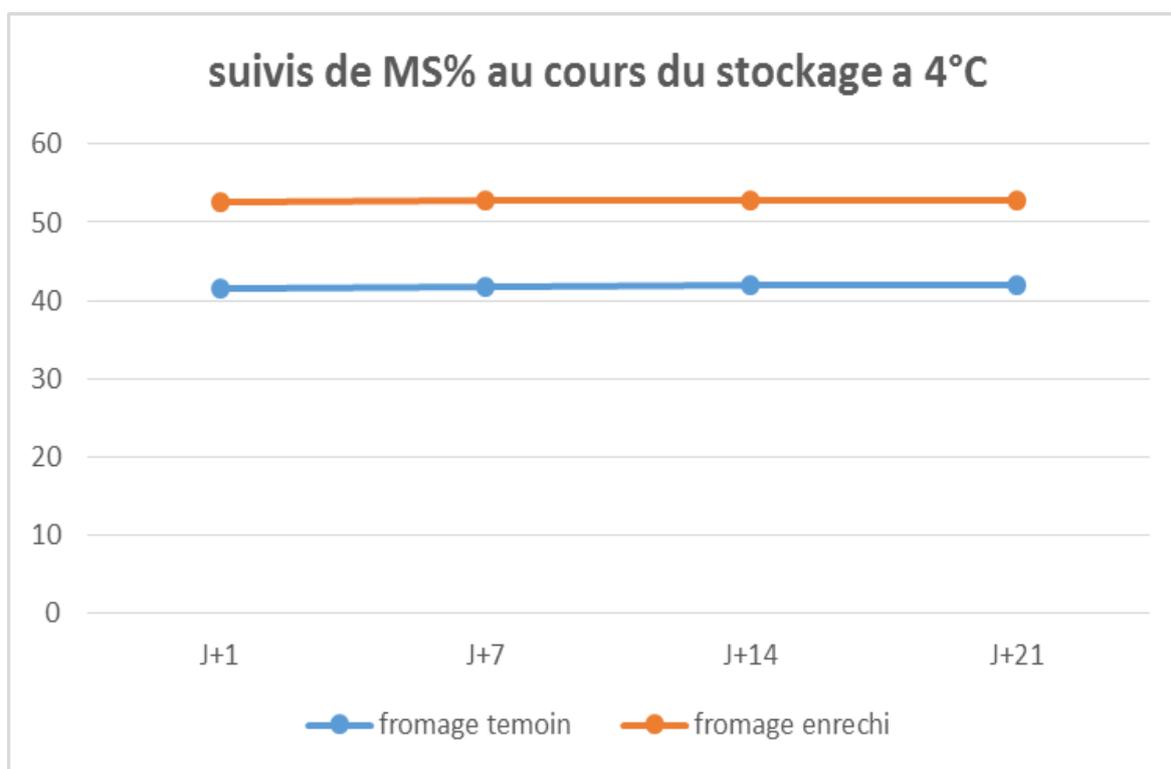
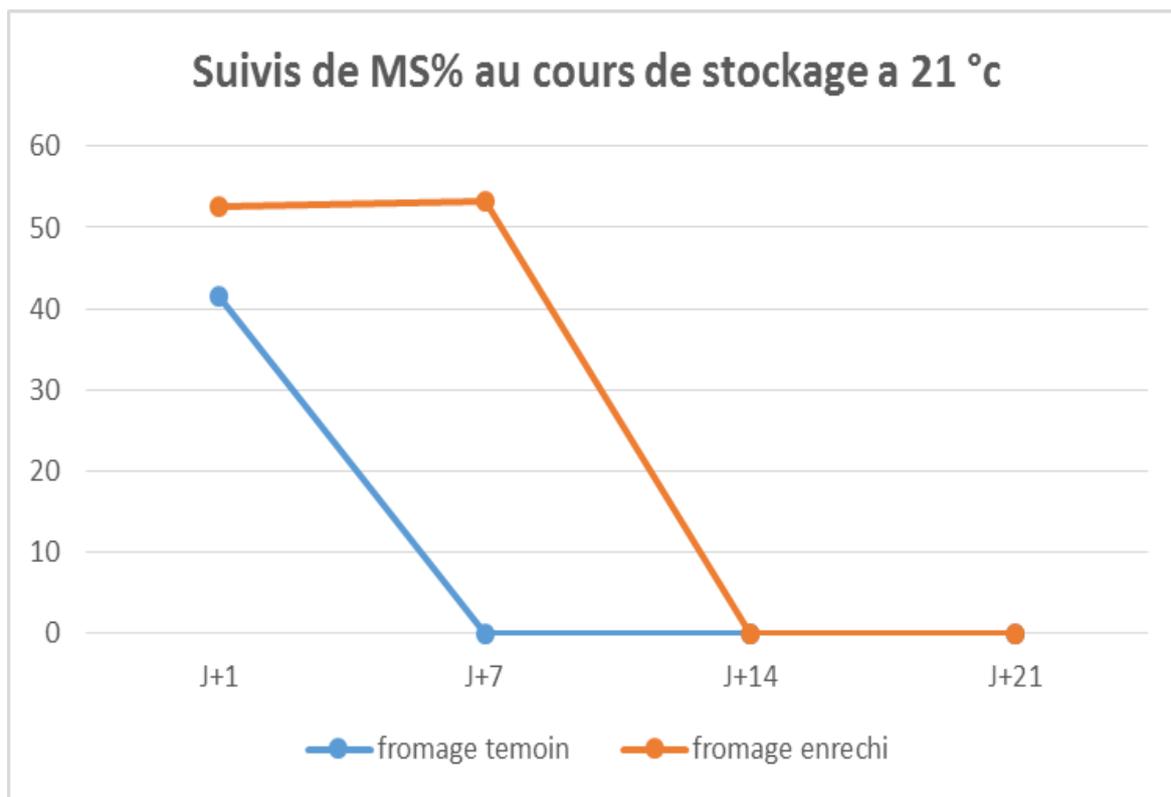


Figure 15 Evaluation de la matière sèche % des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours



*Figure 16 Evaluation de la matière sèche % des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21 jours*

L'évolution du pourcentage de matière sèche (MS%) du fromage témoin et du fromage enrichi avec 13 g de sumac, stockés à 4 °C pendant 21 jours, montre une stabilité générale des deux échantillons. Le fromage enrichi présente à chaque intervalle (J+1, J+7, J+14, J+21) une teneur en MS% légèrement supérieure à celle du témoin. Cette différence indique que l'ajout de sumac permet une meilleure rétention de la matière sèche au froid, probablement grâce à ses propriétés antimicrobiennes et antioxydants. Aucun des échantillons n'a atteint une valeur nulle, ce qui signifie qu'aucune altération n'a été observée durant toute la période de stockage, confirmant que la réfrigération combinée à l'enrichissement au sumac contribue à maintenir la qualité du fromage.

L'évolution du pourcentage de matière sèche (MS%) du fromage témoin et du fromage enrichi avec 13 g de sumac, stockés à 21 °C pendant 21 jours, révèle une altération rapide des échantillons à température ambiante. Jusqu'à J+7, le fromage enrichi conserve une teneur en MS% supérieure à celle du témoin, ce qui suggère un effet protecteur temporaire du sumac. Cependant, à partir de J+14, les deux échantillons présentent une valeur nulle, indiquant une altération avancée rendant toute analyse impossible. Ainsi, bien que le sumac

ait permis de ralentir l'altération jusqu'au 7<sup>e</sup> jour, il ne suffit pas à assurer la stabilité du fromage au-delà d'une semaine à température ambiante, ce qui confirme la nécessité du froid pour garantir une conservation optimale.

### 8.2 8 Evaluation Des cendres

L'évolution de la teneur en cendres du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours est présentés dans les figures 17 et 18.

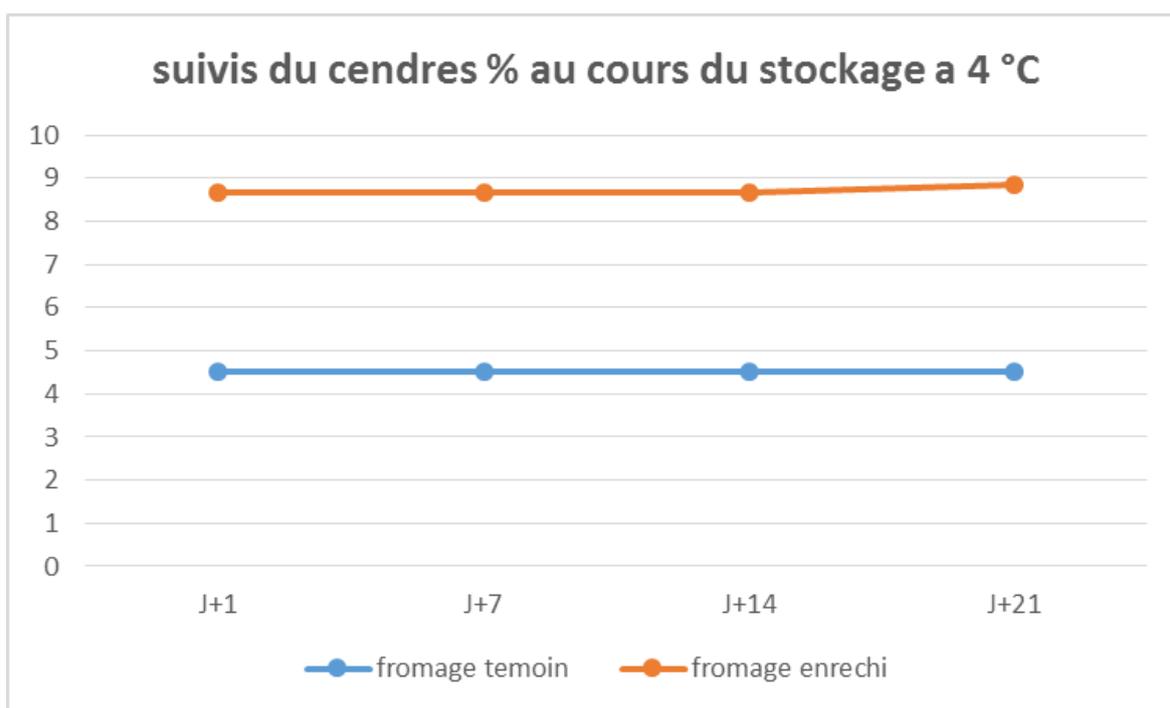
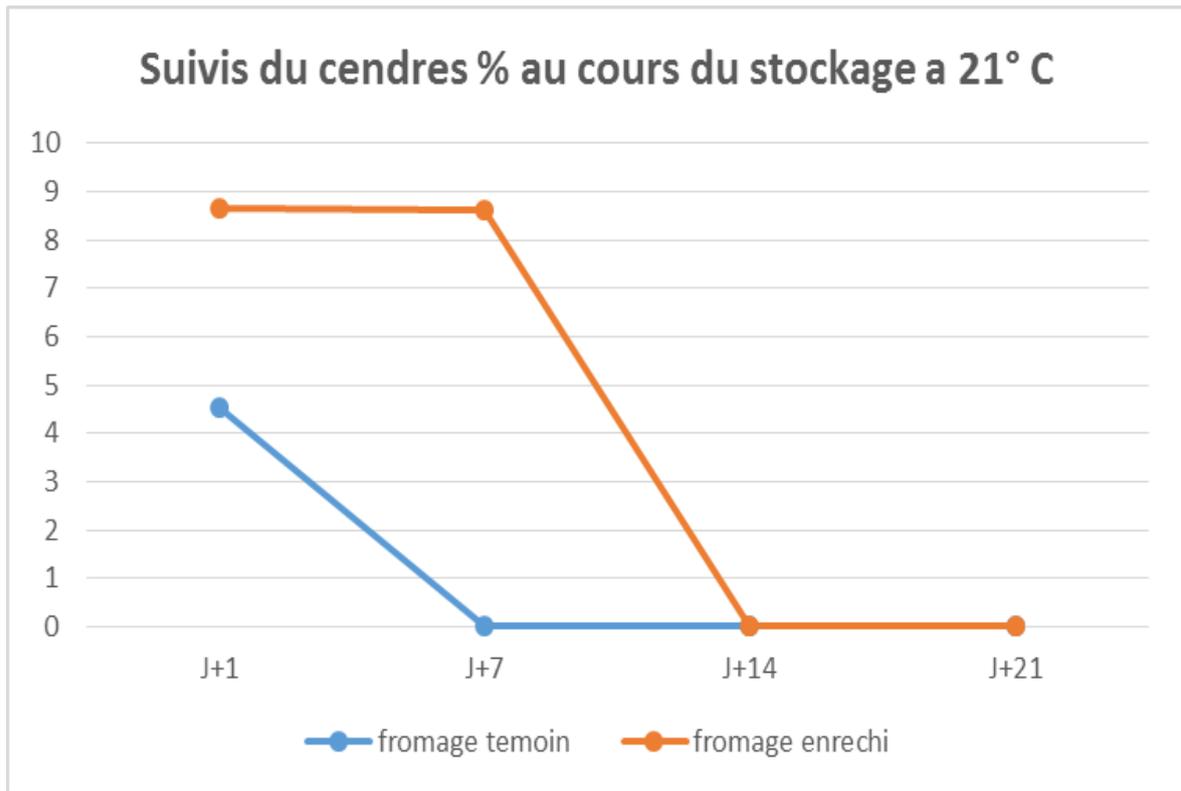


Figure 17 *Evaluation Du cendres % des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours*



*Figure 18 Evaluation Du cendres % des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours*

L'analyse du suivi du pourcentage de cendres dans les fromages stockés à 4 °C met en évidence une bonne stabilité des deux échantillons au cours des 21 jours. On observe que le fromage enrichi avec 13 g de sumac présente systématiquement des valeurs plus élevées que le fromage témoin, et ce dès le premier jour. Cette différence s'explique par la richesse naturelle du sumac en minéraux, contribuant à une augmentation de la teneur en cendres.

En conditions de stockage à température ambiante (21 °C), une évolution rapide et défavorable des teneurs en cendres est constatée, notamment pour le fromage témoin. Dès le 7e jour, ce dernier enregistre une valeur nulle, ce qui témoigne d'une altération avancée rendant les analyses impossibles. À l'inverse, le fromage enrichi conserve une teneur en cendres élevée à J+1 et J+7, signe d'une meilleure résistance face à l'altération. Cela traduit l'effet protecteur du sumac, probablement lié à ses propriétés antimicrobiennes. Toutefois, à partir du 14e jour, aucune donnée n'est disponible pour les deux échantillons, confirmant que le stockage à température ambiante entraîne une détérioration rapide, même en présence de sumac.

### 8.3 Evaluation de pH

L'évolution de pH du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours est présentée dans les figures 19 et 20.

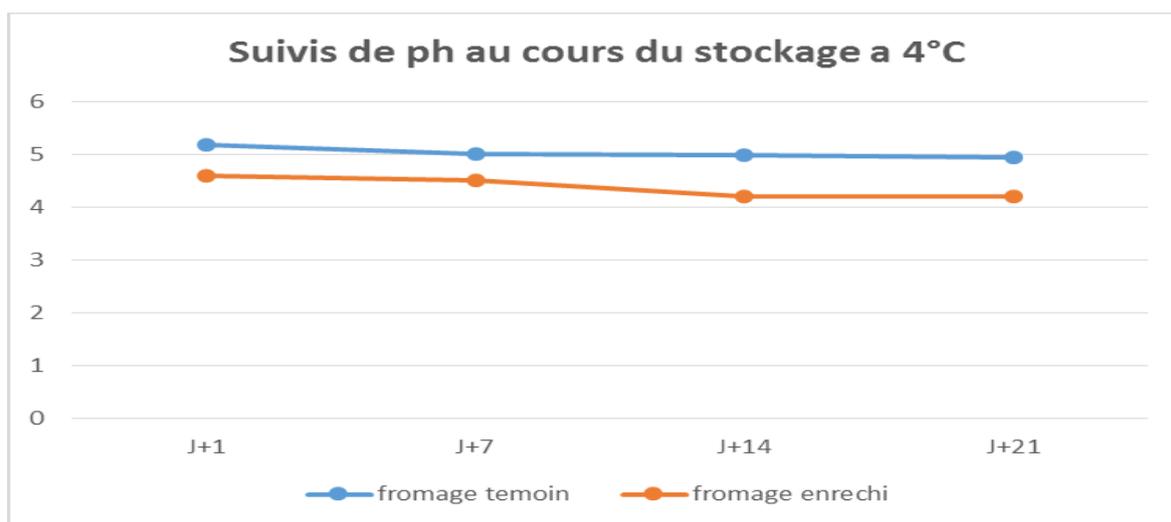
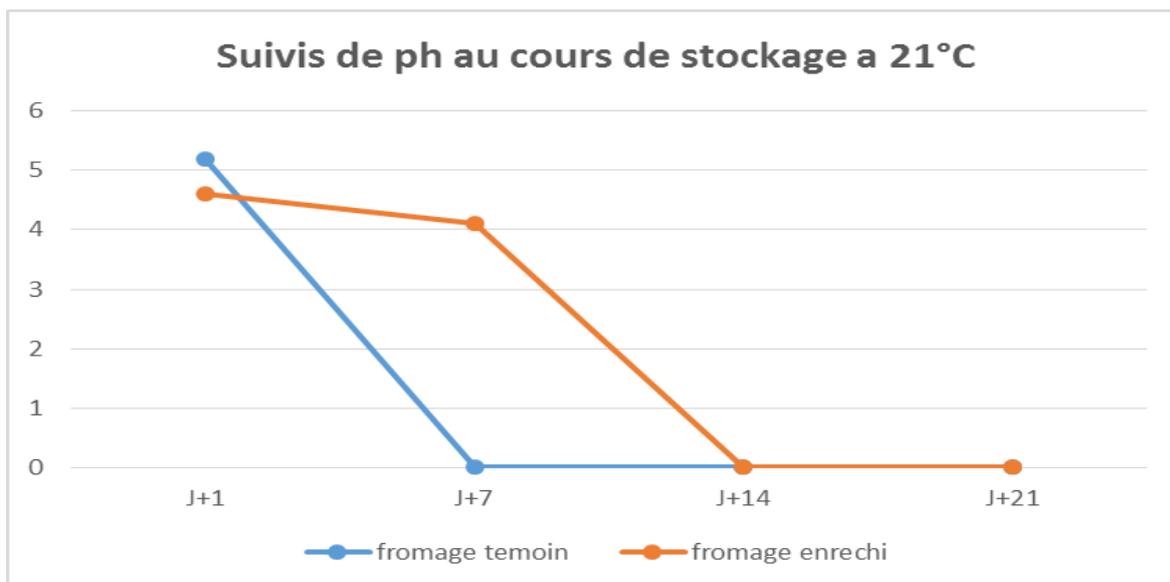


Figure 19 Evaluation De pH des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours



*Figure 20 Evaluation Du PH des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21 jours*

Lors du suivi du pH à 4 °C, il est observé que les deux types de fromages présentent une évolution modérée au fil des 21 jours de stockage. Une tendance générale à la baisse du pH se manifeste progressivement, ce qui est typique du métabolisme microbien et enzymatique. Le fromage enrichi avec 13 g de sumac montre systématiquement des valeurs de pH inférieures à celles du témoin. Cette différence peut être attribuée à l'acidité naturelle du sumac, qui contribue à créer un environnement plus acide, potentiellement défavorable à certains micro-organismes.

À température ambiante (21 °C), les résultats révèlent une dégradation beaucoup plus rapide des fromages. Dès le 7e jour, le fromage témoin affiche une valeur de pH nulle, indiquant une altération complète rendant l'analyse impossible. En revanche, le fromage enrichi conserve une valeur mesurable, bien que plus acide qu'à J+1, traduisant une activité microbienne encore présente. L'absence totale de données au-delà de J+7 pour les deux fromages montre que la conservation à température ambiante est fortement défavorable. Toutefois, la résistance légèrement prolongée du fromage enrichi suggère un effet protecteur partiel du sumac, sans pour autant empêcher l'altération complète après une semaine.

#### **8.4 Evaluation d'Acidité (°D)**

L'évolution de l'acidité du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours est présentée dans les figures 21 et 22.

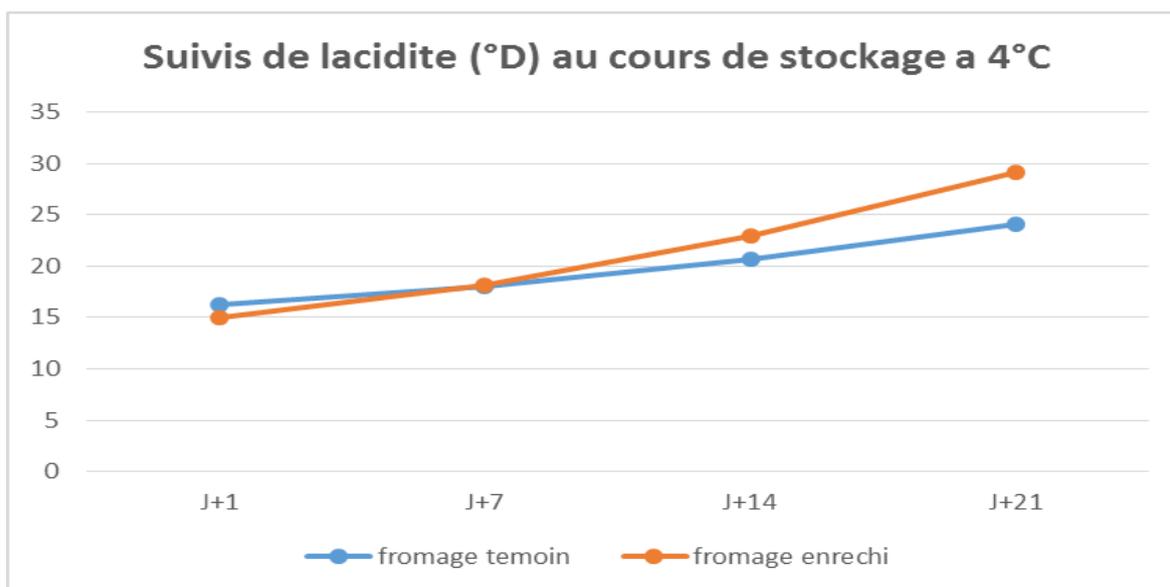


Figure 21 Evaluation D'acidité (°D) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours

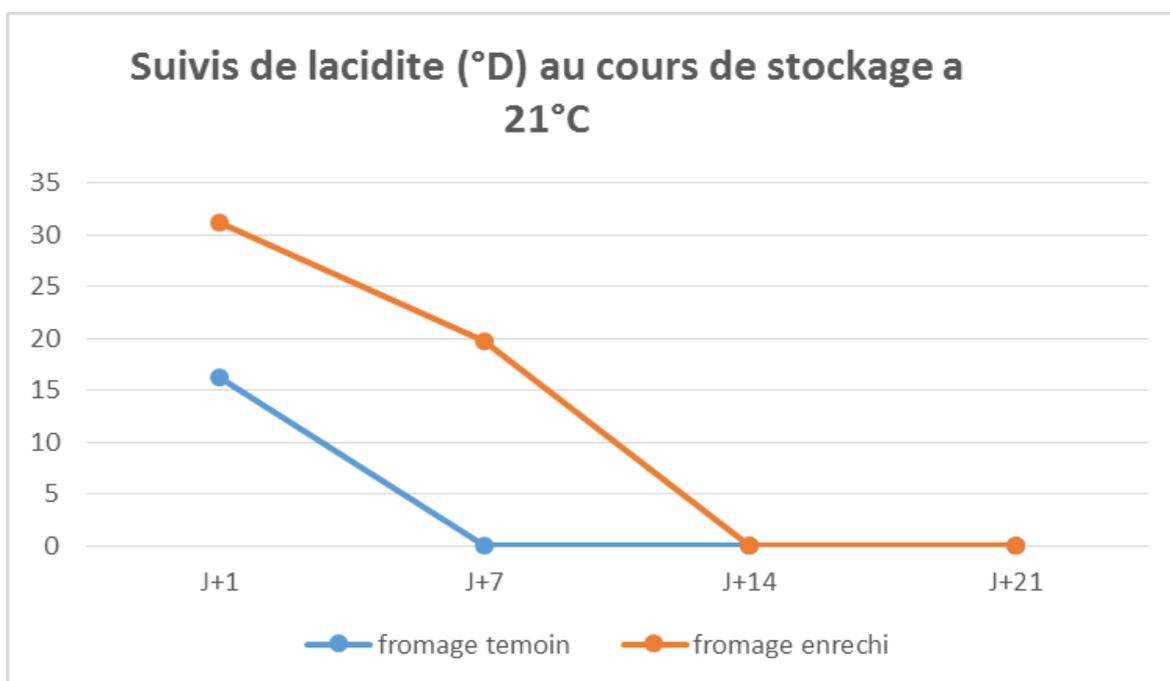


Figure 22 Evaluation D'acidité (°D) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21 jours

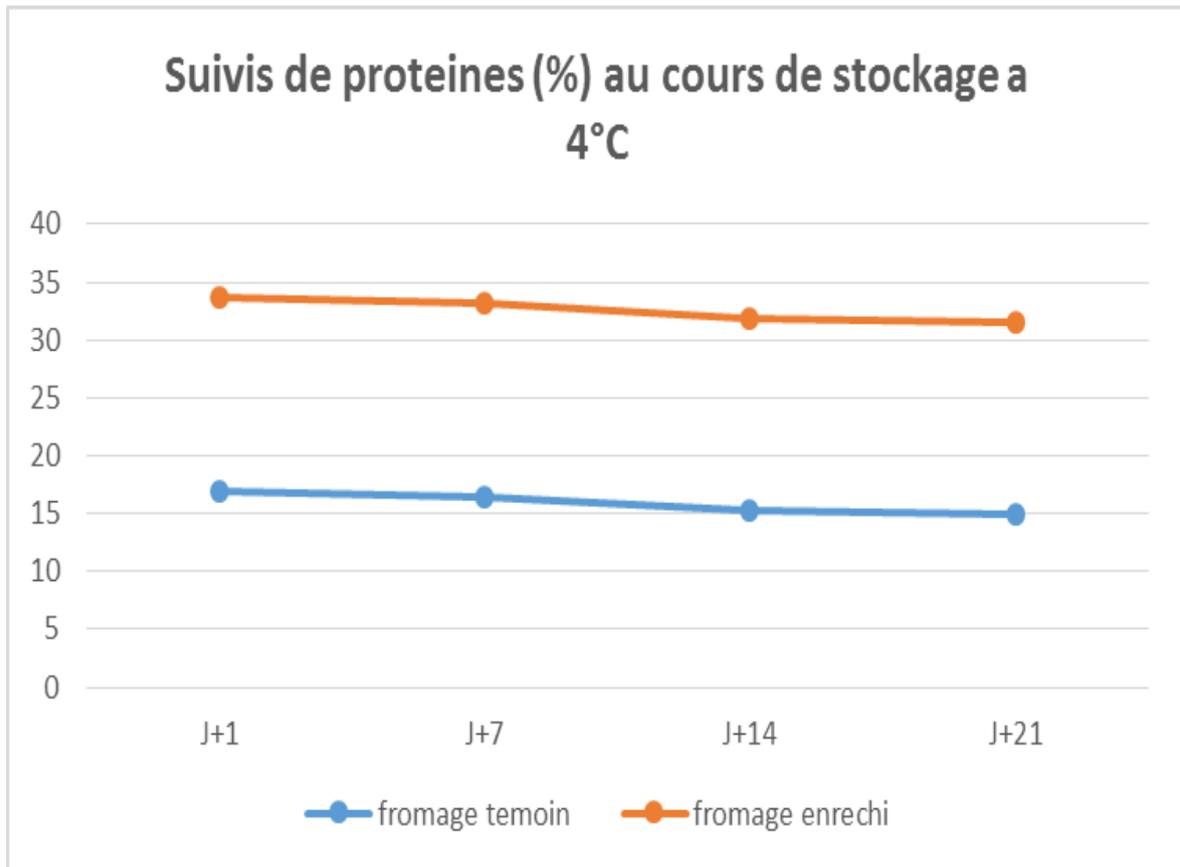
Le suivi de l'acidité (°D) des fromages stockés à 4°C montre une augmentation progressive des valeurs au cours des 21 jours d'observation, tant pour l'échantillon témoin que pour celui

enrichi avec 13 g de sumac. Dès le 14<sup>e</sup> jour, une différence notable apparaît entre les deux fromages : l'échantillon enrichi présente une acidité légèrement supérieure à celle du témoin, différence qui s'accroît davantage au 21<sup>e</sup> jour. Cette évolution suggère que l'ajout de sumac pourrait influencer positivement le développement de l'acidité, probablement en modulant l'activité microbienne ou enzymatique.

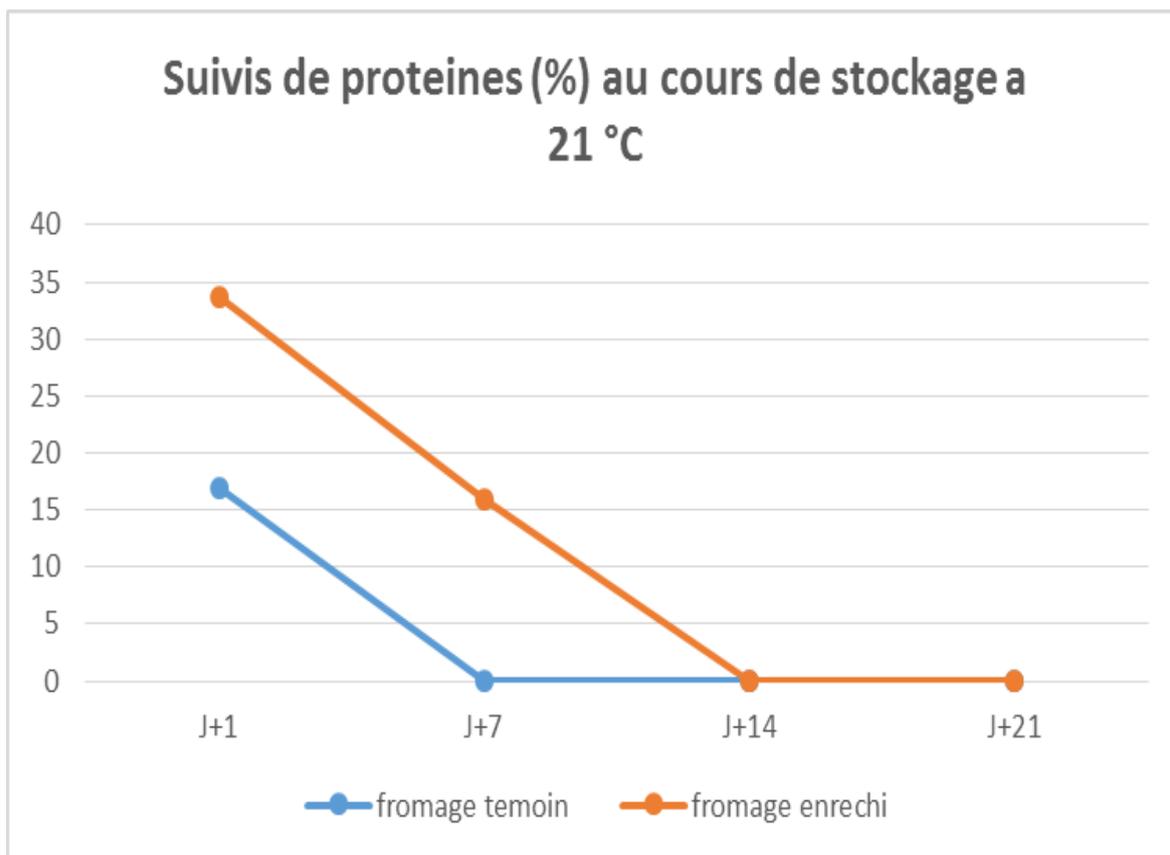
À 21°C, l'évolution de l'acidité présente un comportement nettement différent. Si une élévation modérée de l'acidité est observée jusqu'au 7<sup>e</sup> jour, notamment plus marquée pour le fromage enrichi au sumac par rapport au témoin, une dégradation rapide est constatée par la suite. En effet, à partir du 14<sup>e</sup> jour, les deux types de fromages présentent une acidité nulle (0 °D), ce qui reflète une altération avancée empêchant toute poursuite des analyses. L'ajout de sumac semble avoir eu un effet temporairement protecteur, ralentissant légèrement l'altération durant la première semaine. Toutefois, cette protection s'avère insuffisante à moyen terme face à l'exposition prolongée à température ambiante.

### **8.5 Evaluation de la teneur en protéines**

Les figures 23 et 24 montrent l'évolution de la teneur en protéines du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours.



*Figure 23 Evaluation protéine (%) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C sur 21 jours*



*Figure 24 Evaluation protéine (%) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21jours*

Le suivi de la teneur en protéines au cours du stockage à 4°C révèle une évolution variable mais globalement stable dans le temps. Le fromage enrichi au sumac maintient une teneur en protéines légèrement supérieure à celle du témoin à tous les temps de stockage (J+1, J+7, J+14 et J+21). Cette différence est particulièrement notable au 14<sup>e</sup> et au 21<sup>e</sup> jour, où l'écart devient plus marqué. Cette stabilité relative pourrait s'expliquer par la capacité antioxydante du sumac, qui contribue à la préservation des protéines en limitant les réactions de dégradation enzymatique ou microbienne.

À température ambiante (21°C), la teneur en protéines chute brusquement à partir du 7<sup>e</sup> jour. En effet, les données ne sont disponibles que pour les jours J+1 et J+7, indiquant qu'au-delà, l'analyse n'a pas pu être poursuivie, probablement en raison d'une altération du produit. On remarque que les teneurs initiales sont comparables entre le fromage témoin et le fromage enrichi, mais qu'à J+7, seule la barre du fromage enrichi est visible, ce qui suggère que le témoin a subi une dégradation plus rapide. Cela montre que le sumac pourrait jouer un rôle

protecteur temporaire, ralentissant la détérioration protéique au début du stockage. Cependant, cette protection reste insuffisante au-delà d'une semaine à température ambiante.

### 8.6 Evaluation de la teneur en matière grasse

Les figures 25 et 26 montrent l'évolution de la teneur en MG du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 21 jours

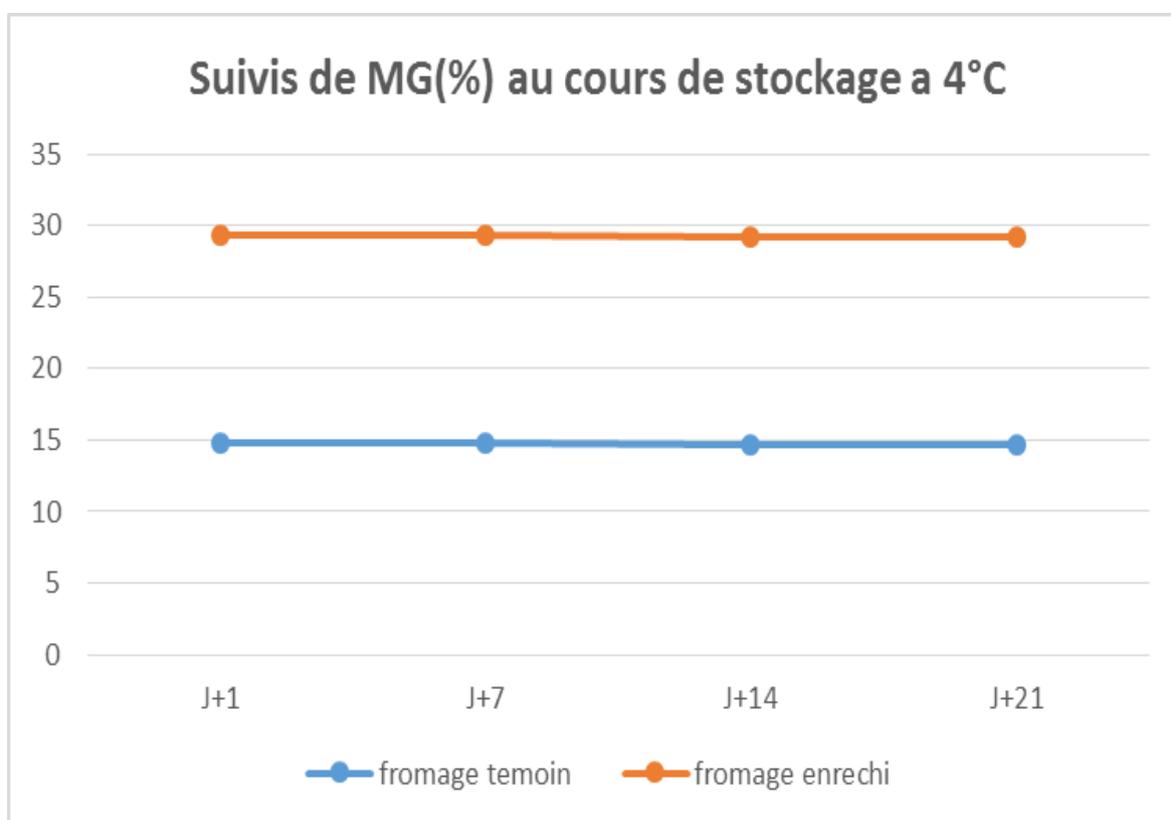
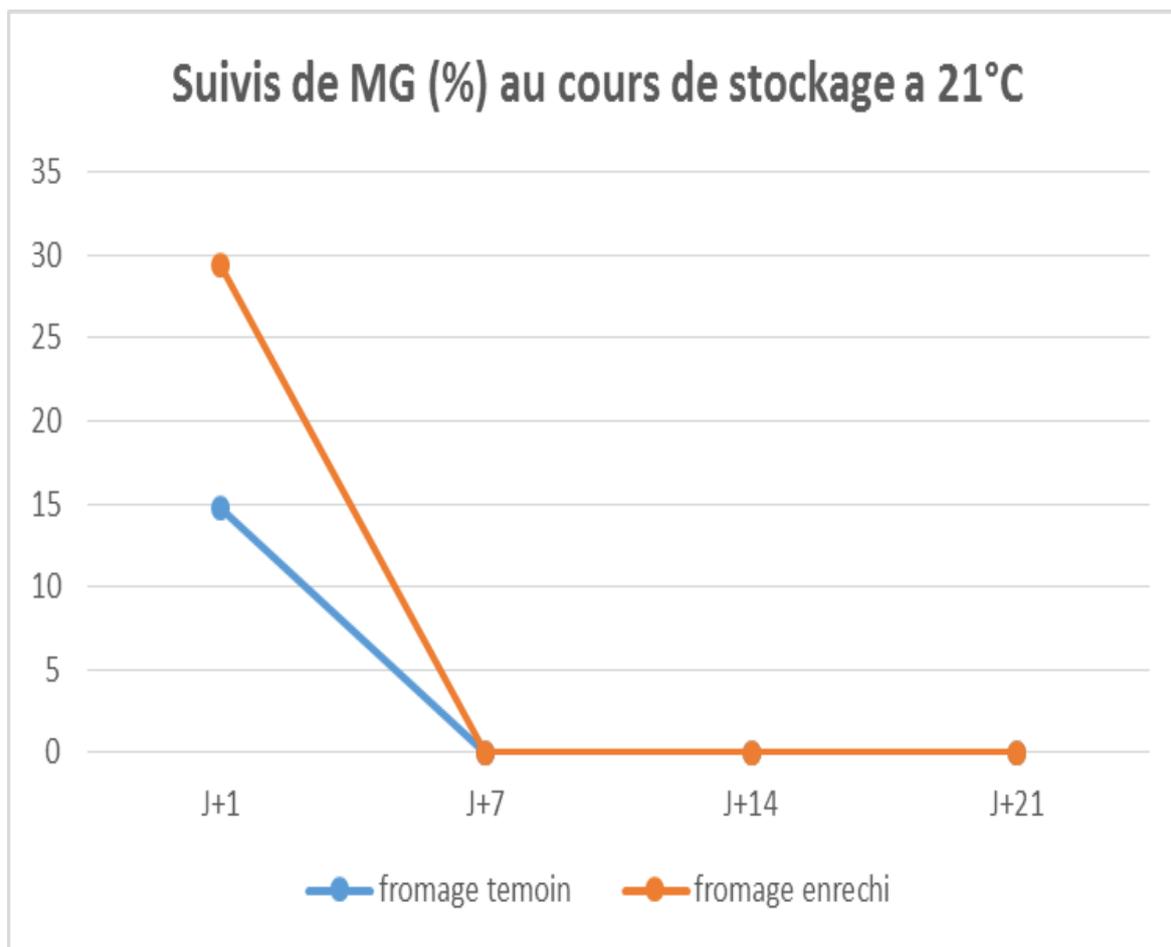


Figure 25 Evaluation MG (%) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21 jours



*Figure 26 Evaluation MG (%) des fromages témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C sur 21 jours*

Lors du stockage à 4°C, on observe une stabilité globale de la teneur en matières grasses pour les deux types de fromages analysés. Le fromage témoin affiche une teneur initialement plus élevée 14,8 % par rapport au fromage enrichi 14,6 %, une différence qui se maintient durant les 21 jours d'observation. Une légère diminution des valeurs est constatée à partir du 14<sup>e</sup> jour pour les deux échantillons.

En ce qui concerne la conservation à 21°C, les données disponibles se limitent au premier jour (J+1), avec des teneurs très similaires pour les deux types de fromages, avoisinant les 14,8 %. Cette quasi-équivalence indique que l'enrichissement au sumac n'a pas d'effet immédiat significatif sur la teneur en MG à cette température. L'absence de suivi dans le temps peut s'expliquer par une détérioration rapide du produit

### 8.7 Evaluation de la teneur en polyphénols de fromage

La teneur en polyphénols du fromage témoin et enrichi en sumac au cours du stockage à deux températures différentes (4°C et 21°C) pendant 14 jours, sont présentés dans les figures 27 et 28 :

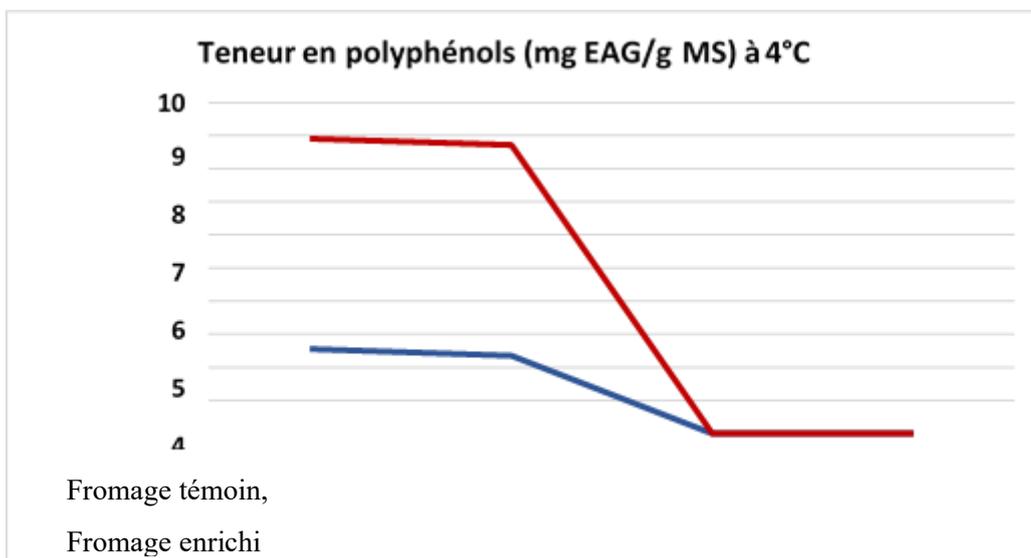


Figure 27 Teneur en polyphénols du fromage témoin et enrichi en sumac (13g) au cours du stockage à 4°C

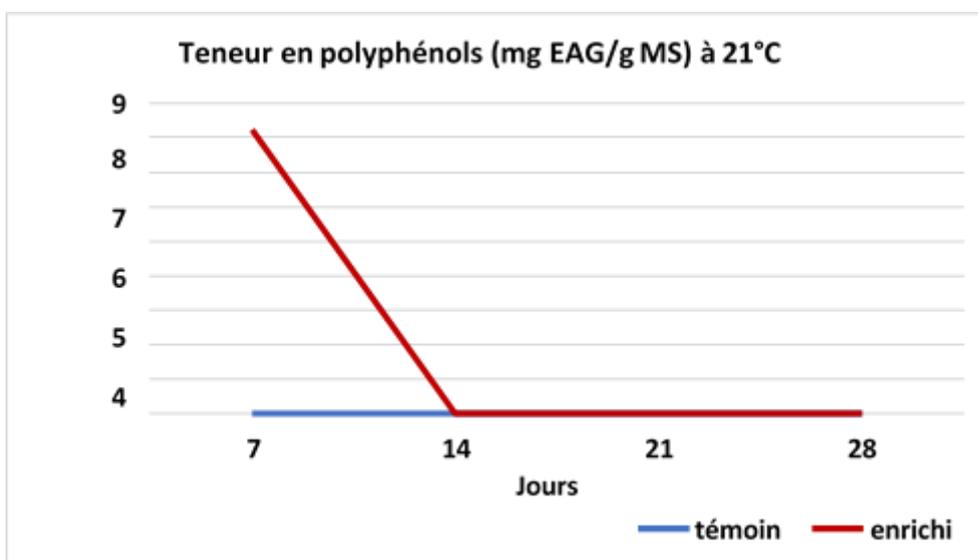


Figure 28 Teneur en polyphénols du fromage témoin et enrichi en sumac (10g) au cours du stockage à 21°C

Lors du stockage à 4°C, la teneur en polyphénols du fromage témoin passe de 2,56 mg EAG/g MS à J+7 à 2,35 mg à J+14, traduisant une diminution progressive malgré les

conditions froides. À l'inverse, le fromage enrichi en sumac présente une concentration nettement plus élevée, atteignant 8,92 mg EAG/g MS à J+7, puis 8,73 mg à J+14, indiquant une meilleure rétention des composés phénoliques dans le temps. Cette diminution modérée chez le témoin suggère une sensibilité des polyphénols à l'oxydation ou à d'autres facteurs environnementaux, même en réfrigération. Bien que la perte observée dans le fromage enrichi soit minime, sa concentration reste largement supérieure à celle du témoin. À 21 °C, le fromage enrichi a maintenu une stabilité phénolique jusqu'à J+7, avec une teneur de  $8,23 \pm 0,19$  mg EAG/g MS. En revanche, le fromage témoin a subi une dégradation rapide dès cette période, empêchant toute quantification. Il est important de souligner que la teneur en polyphénols du fromage enrichi à 21 °C reste inférieure à celle observée à 4 °C, ce qui s'explique par l'effet de la température élevée favorisant la dégradation des composés antioxydants et entraînant ainsi une réduction progressive de leur concentration.

### 8.8 Evaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH

Les résultats de l'activité antioxydante par le test DPPH des extraits aqueux des fromages, exprimés en pourcentage d'inhibition, sont présentés dans les figures

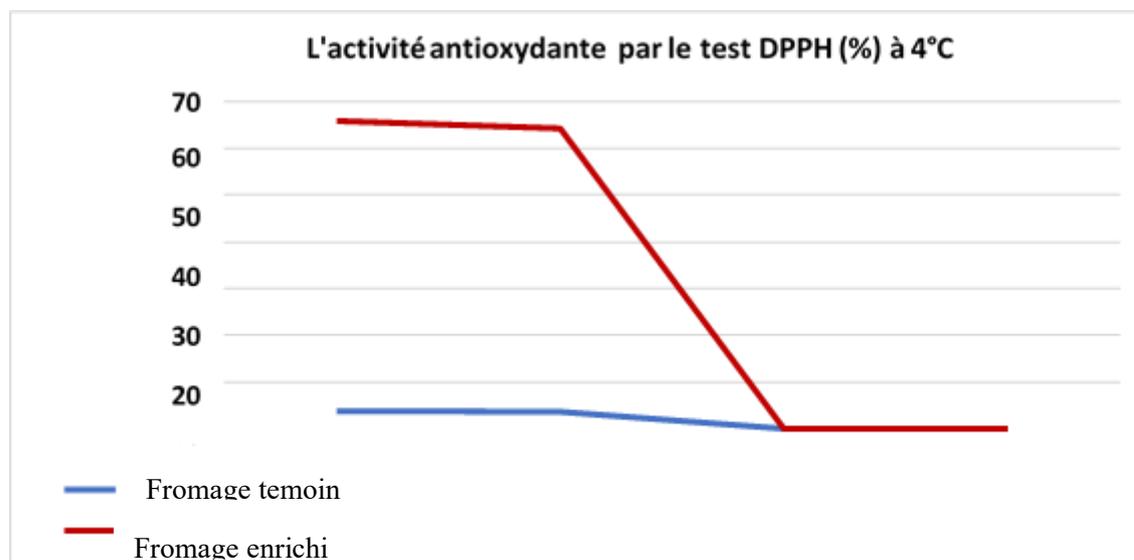


Figure 29 Résultats de l'activité antioxydante par le test DPPH (%) du fromage témoin et enrichi au cours du stockage à 4°C.

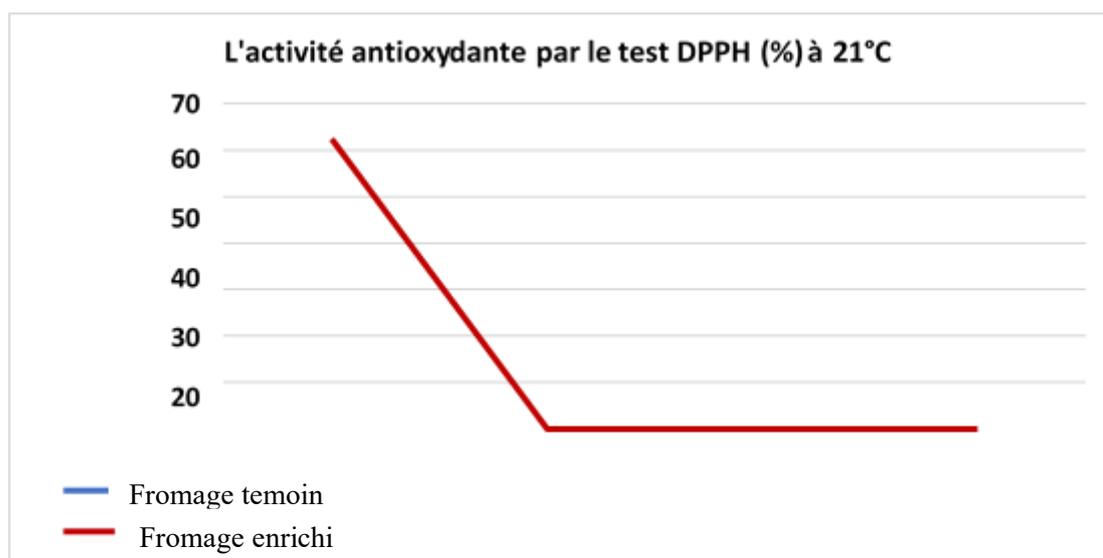


Figure 30 Résultats de l'activité antioxydante par le test DPPH (%) du fromage témoin et enrichi au cours du stockage à 21°C.

L'évaluation de l'activité antiradicalaire par le test DPPH révèle une supériorité marquée du fromage enrichi en sumac par rapport au fromage témoin. À 4 °C, l'activité DPPH du témoin est limitée à  $3,84 \pm 0,32$  % au J+7, puis diminue légèrement à  $3,67 \pm 0,11$  % au J+14, traduisant une faible capacité antioxydante. En revanche, le fromage enrichi affiche des taux nettement plus élevés, atteignant  $65,89 \pm 0,56$  % au J+7 et  $64,24 \pm 0,32$  % au J+14, témoignant d'une forte capacité à neutraliser les radicaux libres. À 21 °C, l'activité DPPH du fromage enrichi reste élevée avec  $62,43 \pm 0,58$  % au J+7, indiquant une efficacité antioxydante maintenue, même à température ambiante. À l'opposé, le fromage témoin, du fait de sa faible activité radicalaire, montre une vulnérabilité accrue à l'oxydation, ce qui accélère sa détérioration dès J+1. Ces résultats mettent en évidence l'apport significatif du sumac dans le renforcement de l'activité antiradicalaire, contribuant ainsi à la stabilité du produit via la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène, comme l'ont également souligné (Asgarpanah et Saati2014).

## 9. Résultats des analyses microbiologique de fromage

Tableau 14 résultats d'analyses microbiologique des fromages témoin et enrichi à 4°C

Température	Fromage	Jour	Germes recherches		
			<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylocoques</i>	<i>Salmonella</i>
	Témoin	J+1	Absence	Absence	Absence dans 25g
		J+7	$1,2 \times 10^2$	Absence	Absence dans 25g

## CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4°C	Enrichi (13g)	J+14	$4,5 \times 10^2$	Absence	Absence dans 25g	
		J+21	$7,8 \times 10^2$	Absence	Absence dans 25g	
		J+1	Absence	Absence	Absence dans 25g	
		J+7	Absence	Absence	Absence dans 25g	
		J+14	Absence	Absence	Absence dans 25g	
	Enrichi (7g)	J+21	Absence	Absence	Absence dans 25g	
		J+1	Absence	Absence	Absence dans 25g	
		Enrichi (10g)	J+1	Absence	Absence	Absence dans 25g

L'étude microbiologique réalisée sur les fromages conservés à 4 °C montre une nette différence entre les échantillons témoins et ceux enrichis en sumac. Dans le fromage témoin, la flore pathogène reste absente le premier jour, mais *Escherichia coli* apparaît dès le 7<sup>e</sup> jour de conservation avec une concentration de  $1,2 \times 10^2$  UFC/g, augmentant jusqu'à  $7,8 \times 10^2$  UFC/g au 21<sup>e</sup> jour. Cette évolution traduit une prolifération microbienne progressive, malgré la réfrigération, ce qui témoigne d'une faible stabilité microbiologique du produit en l'absence de tout agent conservateur. En revanche, les staphylocoques et les salmonelles ne sont pas détectés tout au long de la période, ce qui témoigne d'une bonne hygiène de fabrication.

Les résultats obtenus avec le fromage enrichi au sumac révèlent un effet protecteur très net. L'enrichissement à 13 g de sumac permet une inhibition totale de *E. coli* jusqu'au 21<sup>e</sup> jour. Même avec des doses plus faibles (7 g et 10 g), aucune contamination microbienne n'est observée à J+1, ce qui confirme l'activité antimicrobienne du sumac, en particulier contre *E. coli*. Ces résultats suggèrent que le sumac prolonge la stabilité microbiologique du fromage frais, en retardant ou empêchant le développement de germes pathogènes.

Ces observations sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs. Par exemple, (Ali et al. 2020) ont montré que l'incorporation de poudre de sumac dans des produits laitiers entraînait une réduction significative de la charge microbienne, notamment des coliformes. De même, (Mousavi et al. 2017) ont démontré l'efficacité antimicrobienne du sumac contre plusieurs

souches pathogènes, attribuée à la présence de composés bioactifs tels que les tanins, les flavonoïdes et les acides phénoliques.

## 10. Résultats des analyses statistiques

Afin d'interpréter globalement les variations physico-chimiques du fromage frais témoin et enrichi en sumac (13g) au cours du temps, des analyses statistiques multivariées ont été réalisées. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de réduire la dimensionnalité des données tout en conservant l'essentiel de l'information, facilitant ainsi l'identification des relations entre les variables (pH, acidité, teneur en protéines) et les échantillons à différents jours de stockage. En complément, une classification hiérarchique ascendante (AHA) a été appliquée pour regrouper les échantillons selon leur similarité, révélant des tendances d'évolution cohérentes. Les figures suivantes présentent les résultats obtenus et leur interprétation.

### 10.1 Résultats de fromages témoin

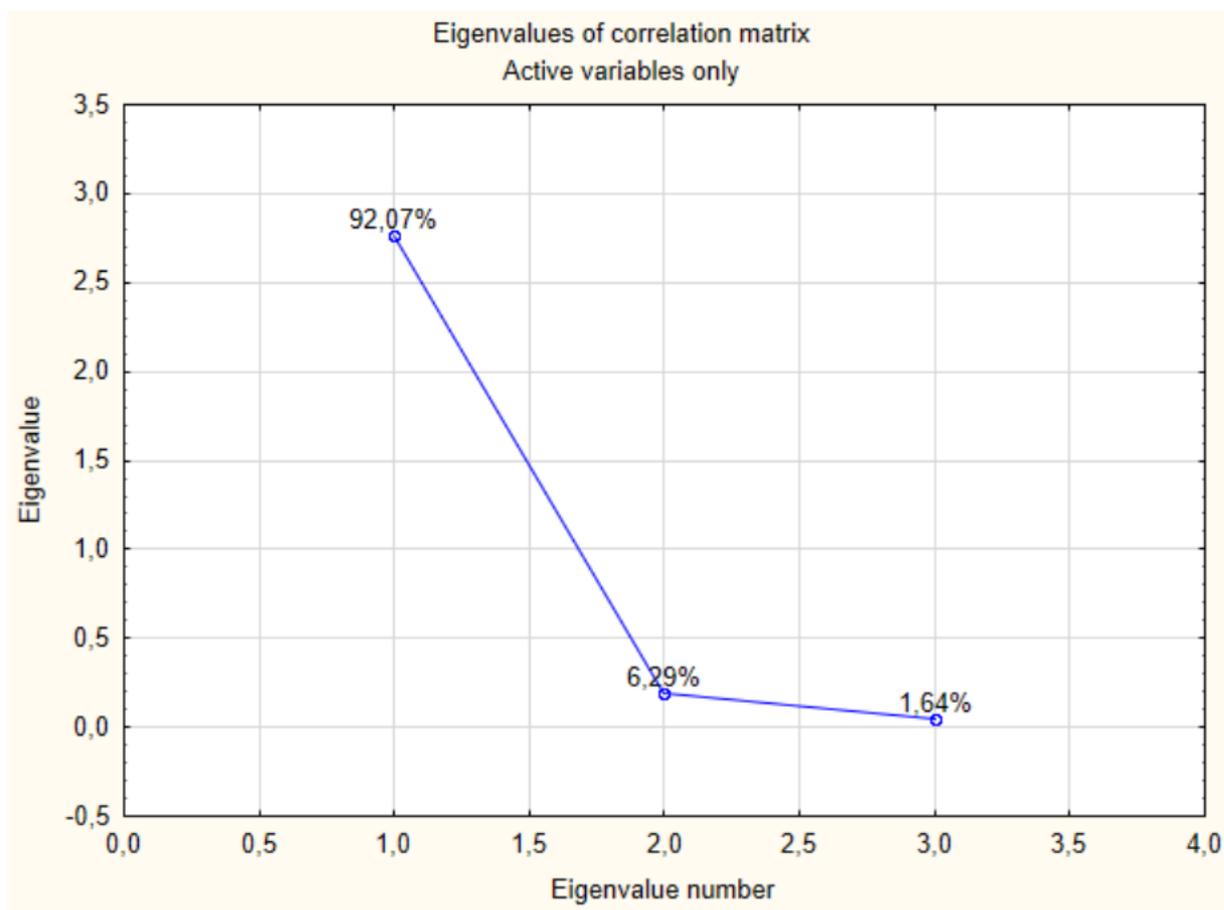


Figure 3 Valeurs propres de la matrice de corrélation des variables actives

La figure représente le graphique des valeurs propres (ou scree plot), utilisé dans le cadre de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée aux données physico-chimiques du fromage frais. Ce graphique met en évidence que la première composante principale (CP1) explique à elle seule 92,07 % de la variance totale, tandis que la deuxième (CP2) n'en explique que 6,29 %, et la troisième 1,64 %. Ce résultat indique que la quasi-totalité de l'information est concentrée dans la première composante, ce qui reflète une forte interdépendance entre les variables mesurées. Une telle distribution suggère qu'un seul facteur principal suffit à résumer l'ensemble des données, ce qui est fréquent dans des produits simples et homogènes comme le fromage frais. Ces résultats rejoignent ceux de **(Benamara et al. 2020)**, qui ont également montré, dans leur étude sur des fromages frais artisanaux en Algérie, que la première composante d'un ACP expliquait plus de 90 % de la variance totale, essentiellement dominée par l'acidité et le pH. Cela confirme que dans les matrices laitières fraîches, certaines variables majeures comme l'acidité peuvent fortement structurer les données et résumer les variations entre échantillons.

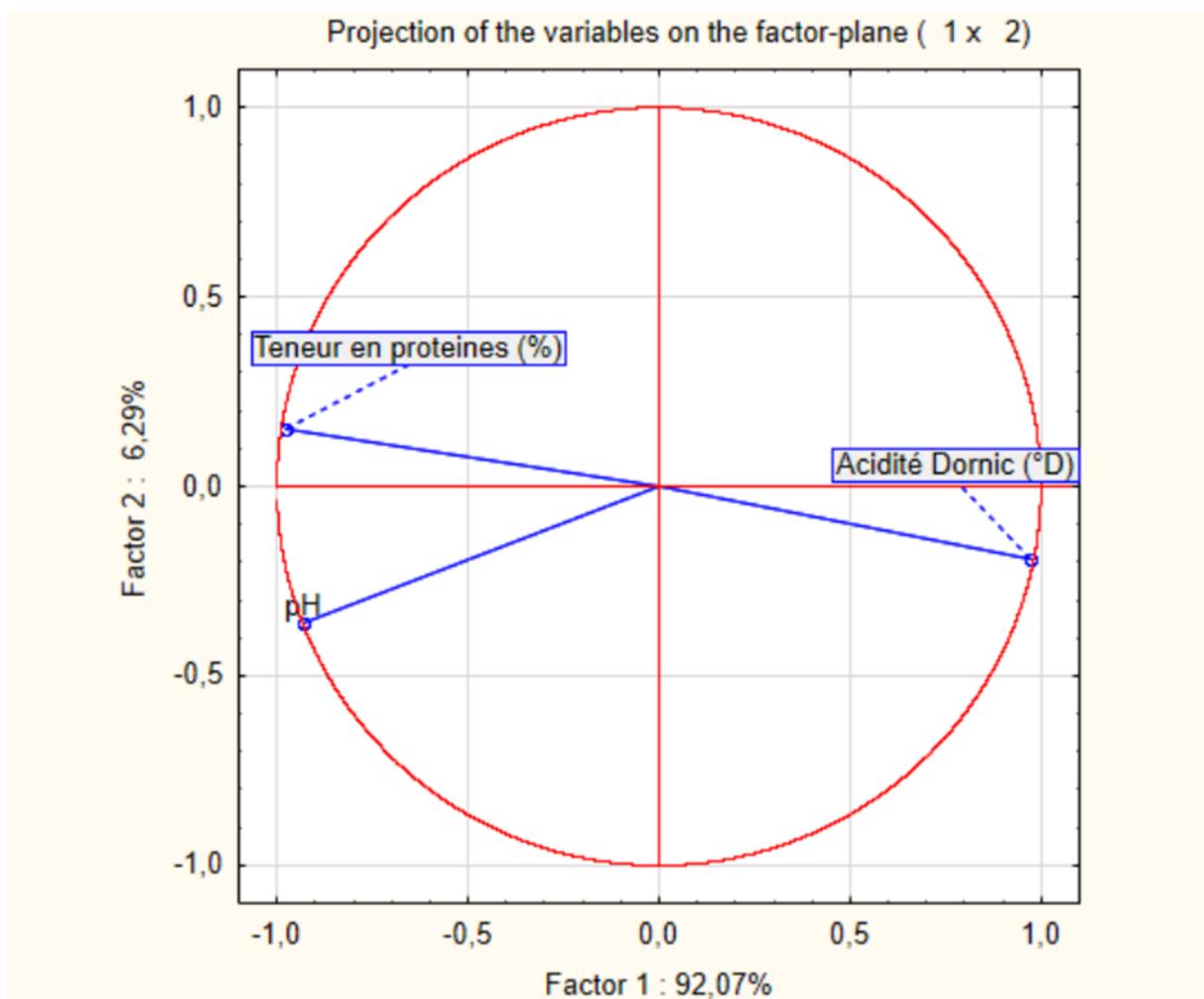


Figure 32 projection des variables sur le plan factoriel (f1 et f2)

La deuxième figure présente le cercle des corrélations, qui projette les variables sur le plan factoriel formé par les deux premières composantes principales (CP1 et CP2). Ce graphique est essentiel pour comprendre quelles variables influencent le plus la structuration des données. On y observe que l'acidité Dornic (°D) est fortement corrélée positivement à la première composante, ce qui indique qu'elle constitue le facteur principal discriminant entre les échantillons de fromage frais. À l'opposé, le pH est corrélé négativement à cette même composante, traduisant une relation inverse attendue entre acidité et pH : plus le fromage est acide, plus son pH est faible. Quant à la teneur en protéines (%), elle est modérément mais positivement corrélée à CP1, ce qui signifie qu'elle joue un rôle secondaire mais non négligeable dans la différenciation des échantillons. Ce schéma est très cohérent avec celui rapporté par (Boukraa et al. 2019) dans leur analyse de la qualité du lait cru, où l'opposition nette entre le pH et l'acidité dominait également la première dimension de l'ACP. Dans les deux cas, ces variables physico-chimiques jouent un rôle central dans l'évaluation de la

qualité, de la fraîcheur et de la stabilité du produit. Ainsi, ce cercle des corrélations confirme l'importance de l'acidité comme paramètre central dans le profil du fromage frais, tout en révélant des relations cohérentes avec les observations de la littérature scientifique.

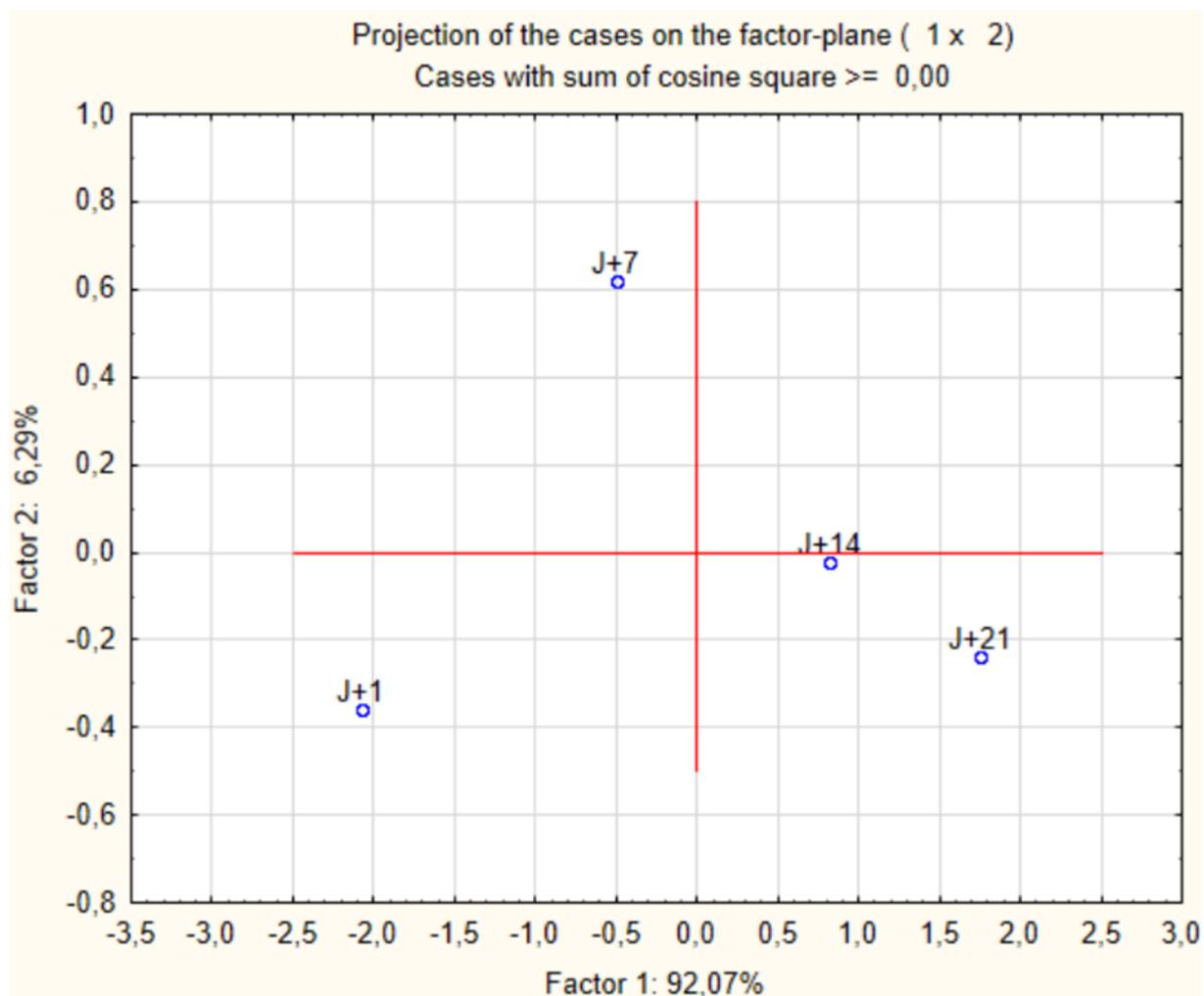


Figure 33 projection de l'échantillon de fromage frais (témoin) sur le plan factoriel

La figure montre la projection des cas (J+1, J+7, J+14, J+21) sur le plan factoriel (composantes principales 1 et 2) obtenu par ACP. On constate que l'échantillon J+21 se distingue nettement des autres, avec une forte contribution positive sur la première composante (CP1), qui représente à elle seule 92,07 % de la variance totale. Ce positionnement suggère que cet échantillon, probablement plus avancé dans le temps de conservation, possède des caractéristiques physico-chimiques (comme une acidité accrue ou un pH réduit) qui le différencient fortement. À l'inverse, J+1 se trouve dans le quadrant négatif de CP1, ce qui reflète des propriétés typiques d'un fromage très frais (pH élevé, faible

acidité). Les échantillons J+7 et J+14 occupent des positions intermédiaires, ce qui confirme une évolution progressive des caractéristiques du produit au fil du temps. Cette dynamique est en accord avec l'étude de (**Kadri et al. 2018**) sur la conservation des fromages frais artisanaux, qui a montré une séparation progressive des lots en fonction de la durée de stockage sur le plan factoriel, où l'acidité et la teneur en protéines étaient les principales variables discriminantes.

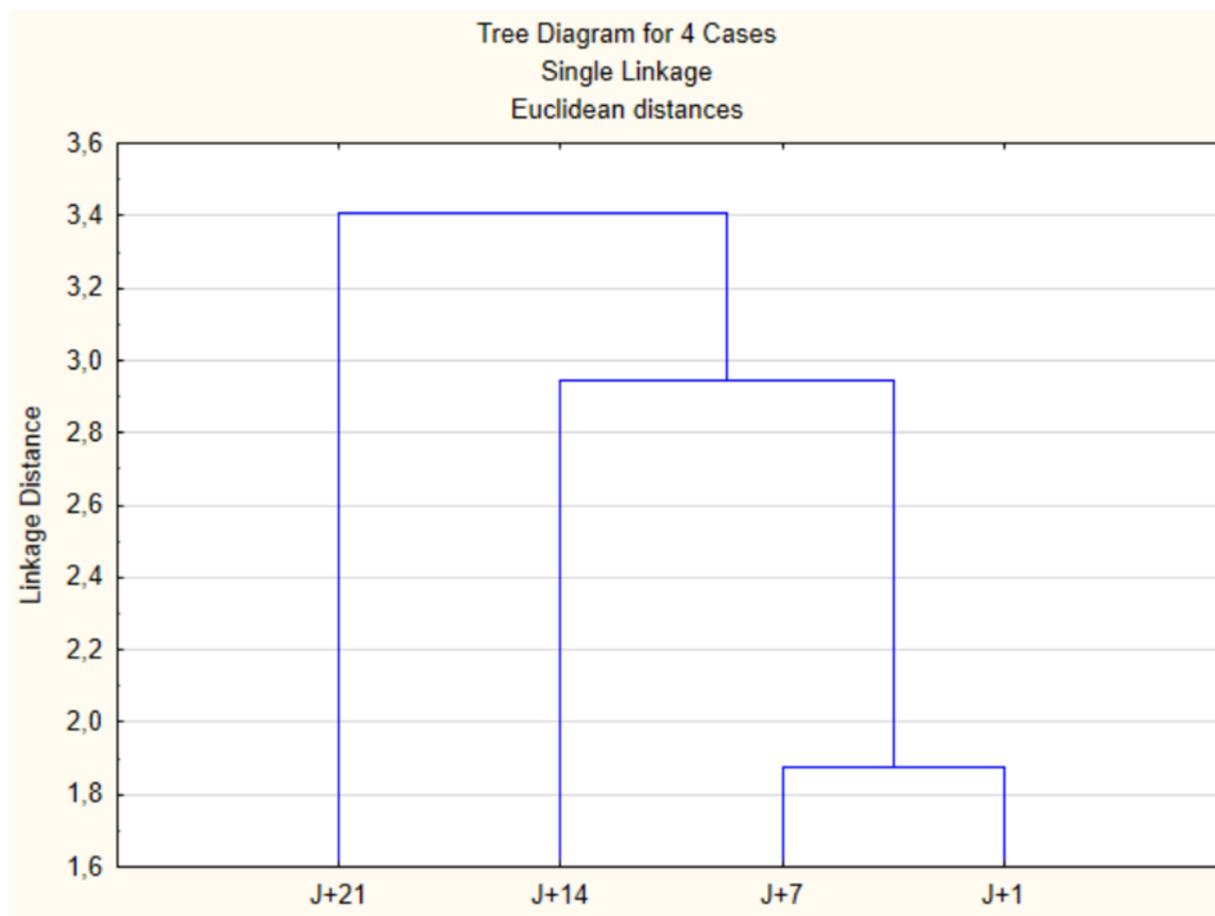


Figure 34 dendrogramme de classification hiérarchique des échantillons de fromage frais

Le dendrogramme est issu d'une analyse hiérarchique ascendante (AHA) utilisant la distance euclidienne et la méthode de liaison simple (single linkage). Ce graphique permet de visualiser les liens de similarité entre les échantillons en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques. On observe ici que J+1 et J+7 forment un groupe homogène, avec une distance de liaison relativement faible, ce qui reflète leur proximité dans le profil qualité, typique des produits encore frais. En revanche, J+14 et surtout J+21 apparaissent plus éloignés, indiquant une divergence progressive liée au vieillissement ou à l'évolution de l'acidité et du pH. Ce mode de regroupement est similaire à celui rapporté par (**Ghedadba**

et al. 2017) dans une étude sur les produits laitiers fermentés, où l'AHA a permis de regrouper les échantillons selon les jours de fermentation et a mis en évidence l'influence dominante du temps de conservation sur la qualité du produit. Ainsi, ce dendrogramme appuie l'idée que le temps est un facteur majeur de différenciation dans la qualité du fromage frais, influençant fortement ses paramètres physico-chimiques.

## 10.2 Les résultats de fromage enrichi (13g)

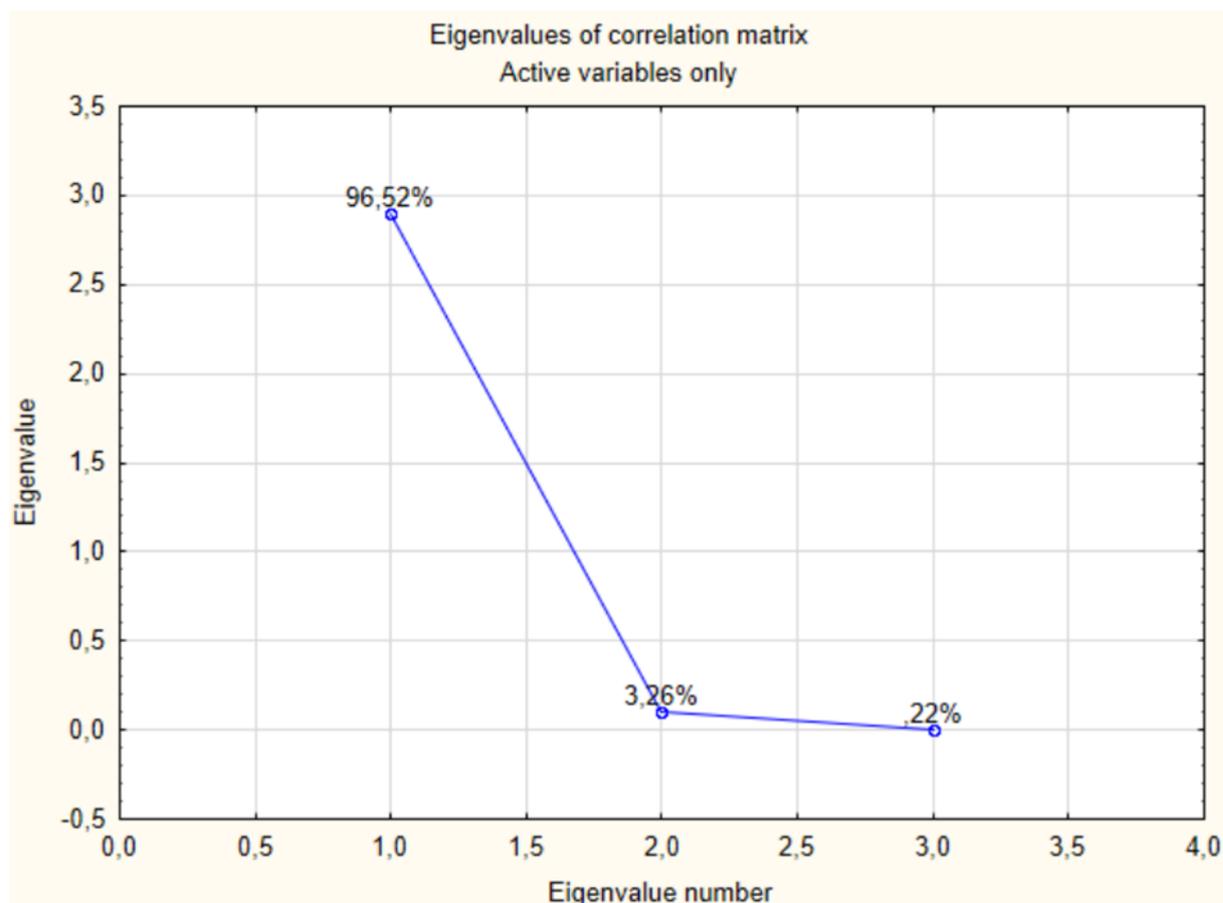
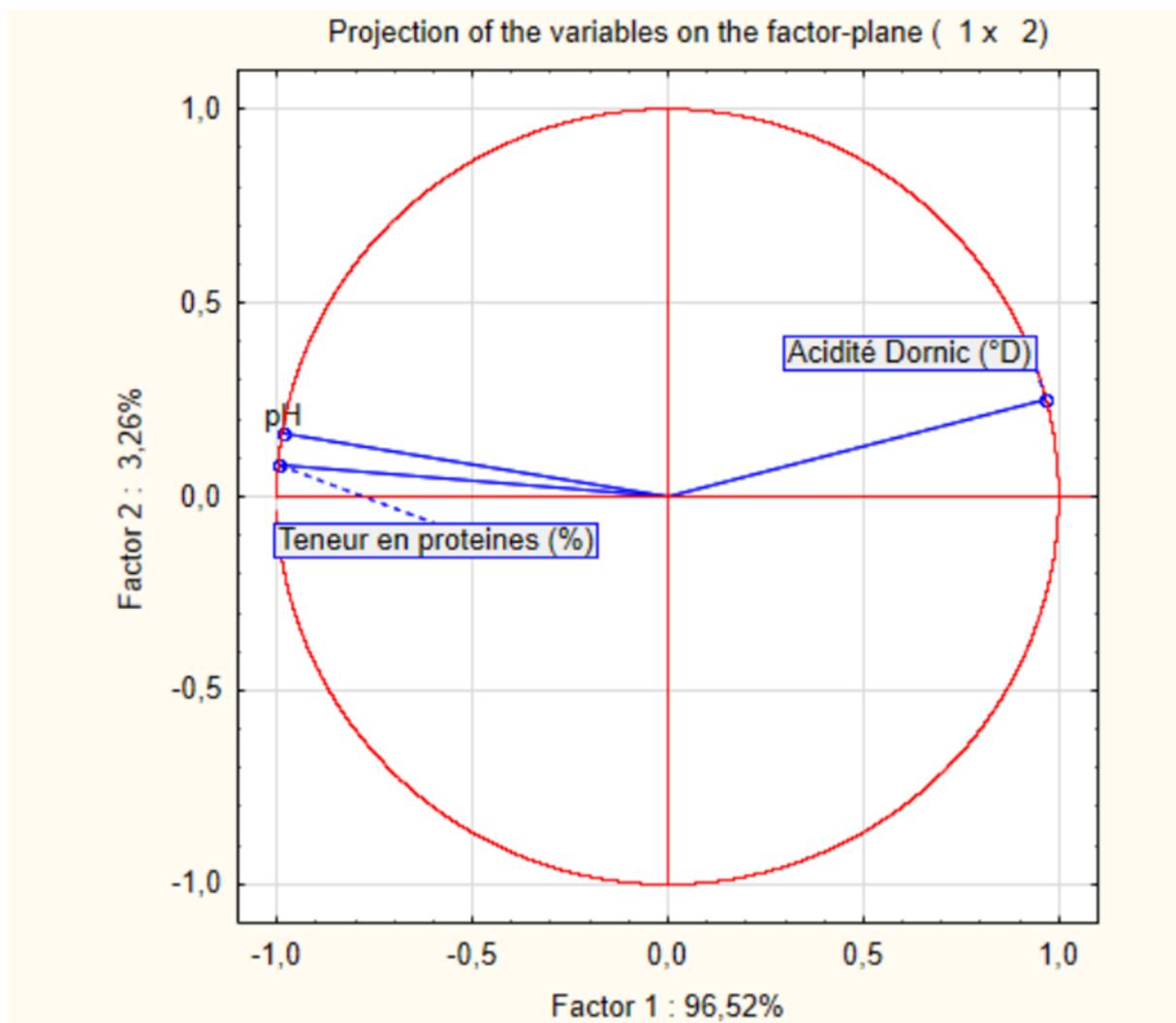


Figure 35 valeurs propres de la matrice de corrélation de variable actives de fromage enrichi (13g)

Le Graphique des valeurs propres (Scree plot) montre l'évolution des valeurs propres en fonction du nombre de composantes principales. Il en ressort que la première composante principale (axe 1) possède une valeur propre très élevée ( $\approx 3$ ), représentant 96,52 % de la variance totale expliquée. Cette forte contribution indique que l'axe 1 synthétise à lui seul presque toute l'information contenue dans les trois variables étudiées. La deuxième composante (axe 2), quant à elle, n'explique que 3,26 % de la variance, et le troisième est négligeable (0,22 %).

Selon le **critère de Kaiser** (qui recommande de ne retenir que les composantes dont la valeur propre est supérieure à 1), seule la première composante est significative. Ainsi, l'interprétation des résultats peut être raisonnablement concentrée sur le premier axe, tout en considérant secondairement le deuxième axe à titre exploratoire.



*Figure 36 projection des variables sur le plan factoriel (f1 et f2) de fromage enrichi (13g)*

La deuxième figure représente la projection des variables actives sur le plan défini par la composante principale 1 (96,52 %) et la composante 2 (3,26 %). Cette représentation permet d'apprécier visuellement les corrélations entre les variables et leur contribution à la structure des données.

L'acidité Dornic (°D) est fortement projetée dans la direction positive de l'axe F1. Cela signifie qu'elle est très fortement corrélée positivement à la première composante et qu'elle constitue un facteur discriminant majeur des échantillons analysés.

À l'opposé, le pH est projeté en direction négative de l'axe F1, ce qui indique une forte corrélation négative avec l'acidité Dornic. Ce résultat est cohérent avec les principes biochimiques, car l'augmentation de l'acidité d'un produit alimentaire est systématiquement accompagnée d'une diminution de son pH.

La teneur en protéines (%) est située à proximité de l'origine du plan factoriel, ce qui indique qu'elle présente une contribution relativement faible aux deux premiers axes. Elle semble légèrement corrélée négativement avec F2, mais cette corrélation reste modeste. Cela suggère que les variations de la teneur en protéines entre les échantillons ne sont pas le principal facteur de différenciation dans cette étude.

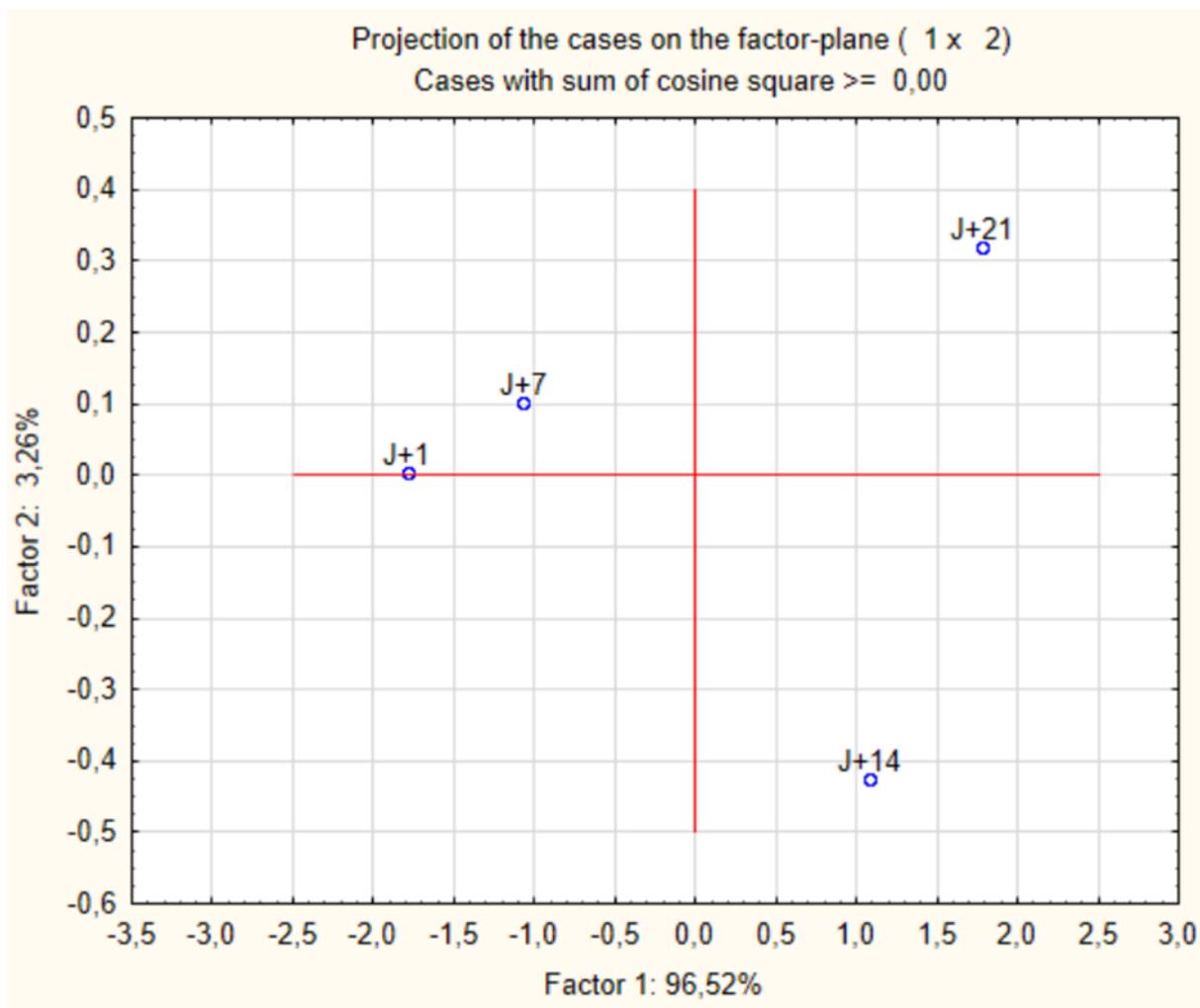


Figure 37 projection des échantillons de fromage frais enrichi en sumac (13g) sur le plan factoriel (f1 et f2)

La première figure illustre la projection des cas (J+1, J+7, J+14, J+21) sur le plan factoriel défini par les deux premières composantes principales. L'axe F1, qui explique à lui seul 96,52 % de la variance, permet de discriminer fortement les échantillons selon la durée de conservation. On observe que les échantillons J+1 et J+7 sont regroupés sur la partie gauche du graphique, traduisant une proximité chimique entre ces deux stades précoces, tandis que J+14 et surtout J+21 sont projetés sur la droite du plan, indiquant une évolution marquée des caractéristiques physico-chimiques du fromage au fil du temps.

Cette séparation temporelle peut être attribuée à l'effet conservateur et acidifiant progressif du sumac, riche en acides organiques et en antioxydants. En effet, selon l'étude d'**(Abu-Reidah et al. 2015)**, l'ajout d'extrait de sumac dans un yaourt probiotique a conduit à une modification significative du pH, de l'acidité titrable et de la teneur en protéines dès

la deuxième semaine de stockage. Leur analyse en composantes principales a également montré que les échantillons J+1 et J+7 étaient regroupés, tandis que ceux à J+14 et J+21 s'éloignaient progressivement, exactement comme dans notre étude. Cela confirme que le sumac ne se contente pas d'agir comme simple agent antimicrobien, mais influence aussi la dynamique biochimique du produit au fil du temps.

Cette similarité entre les résultats suggère que l'activité bioactive du sumac contribue de façon significative à la différenciation des profils chimiques à différents stades de conservation.

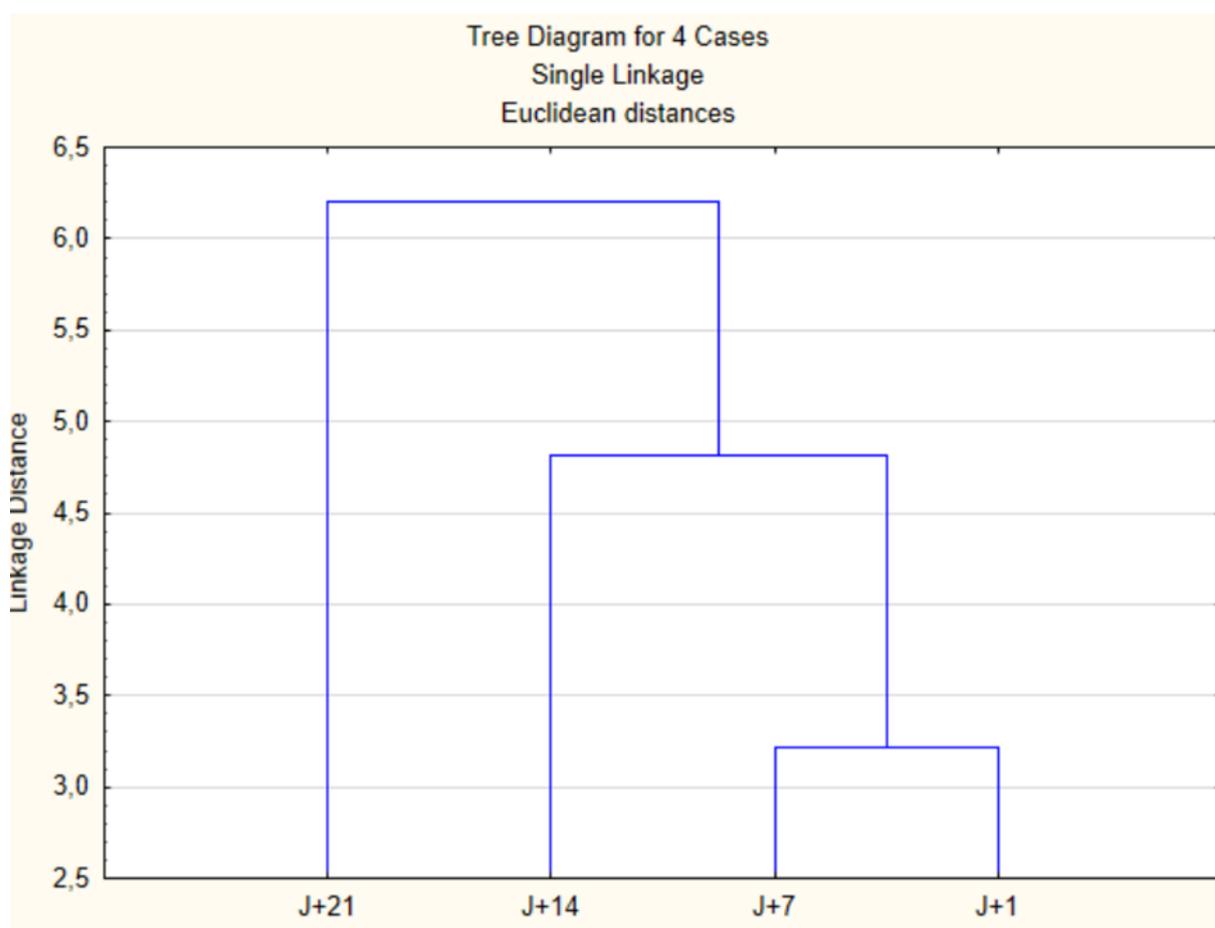


Figure 38 dendrogramme de classification hiérarchique de l'échantillon de fromage enrichi en sumac (13 g)

Le dendrogramme basé sur la méthode de liaison simple et la distance euclidienne confirme les observations issues de l'ACP. Deux clusters principaux se distinguent : le premier regroupe J+1 et J+7, caractérisés par une proximité importante, traduisant leur homogénéité chimique. Le deuxième cluster regroupe J+14 et J+21, avec une distance plus marquée pour ce dernier, ce qui reflète un éloignement considérable de ses caractéristiques par rapport aux échantillons initiaux. Cela met en évidence l'impact du temps de conservation sur l'évolution du fromage, accentué par l'effet du sumac.

Cette tendance a également été décrite par **(BenRejeb et al. 2018)**, qui ont démontré que l'incorporation du sumac dans des produits laitiers fermentés entraînait une acidification progressive et une activité antimicrobienne retardée. Leur analyse de similarité montrait une séparation temporelle des groupes, en particulier au-delà de 14 jours, ce qui rejoint la classification hiérarchique obtenue dans notre étude. Le sumac aurait ainsi un effet dual : stabilisateur à court terme, puis modificateur significatif à moyen terme.

## 11. Prix de revient

Dans le cadre de cette étude, une analyse économique a été réalisée afin d'évaluer la valeur marchande du fromage frais enrichi en sumac. Pour ce faire, deux tableaux ont été établis : l'un présentant les prix unitaires et les coûts de revient des ingrédients utilisés, et l'autre proposant une estimation du coût de revient global ainsi qu'un prix de vente prévisionnel du produit fini. Cette démarche vise à déterminer la faisabilité économique de la production à l'échelle artisanale ou industrielle, en tenant compte des coûts liés à l'enrichissement en sumac, tout en assurant une compétitivité sur le marché.

*Tableau 15 prix unitaire de cout de revient de ingrédients pou 250g de fromage frais enrichi en sumac*

Ingrédients	Prix	Quantité utilisée	Prix de revient en DA
Lait partiellement écrémé	30DA/L	2L	60DA
Poudre de lait	125DA/100g	90g	112,5DA
Sel	35da/kg	8g	0,28DA
Sumac	6000DA/KG	13g	78DA
Présure	1500DA/200ml	0,4ml	3DA
Vinaigre	100DA/1L	7ml	0,7 DA
Mésophile	800DA/5g	0,02 g	3,2DA

*Tableau 16* Estimation de prix de revient et prix de vente de fromage frais enrichi au sumac**Fromage frais enrichi en sumac**

<b>Prix de revient</b>	257,68DA
<b>Prix de vente</b>	38,5 DA

Dans le cadre de cette étude, une marge bénéficiaire de 50 % a été retenue pour l'estimation du prix de vente du fromage frais enrichi en sumac. Ce choix se justifie par la nature du produit, qui présente une valeur ajoutée grâce à l'enrichissement en sumac, un ingrédient reconnu pour ses propriétés fonctionnelles et ses bénéfices potentiels sur la santé. De plus, cette marge permet de couvrir non seulement les coûts de production, mais également les charges indirectes, tout en assurant une rentabilité raisonnable. Ainsi, le prix de vente estimé est de 386,52 DA, ce qui reste compétitif par rapport aux produits similaires à vocation nutritionnelle sur le marché.

# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de l'incorporation du sumac (*Rhus coriaria*) en poudre sur la conservation du fromage frais. L'ensemble des analyses menées a permis de confirmer l'intérêt de cette plante comme conservateur naturel, grâce à ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes.

Les résultats physico-chimiques ont montré que l'ajout de 13 g/L de sumac induit une légère baisse du pH (4,6 au J+1 contre 4,9 pour le témoin) et une acidité titrable modérée (14,98 °D), tout en maintenant une bonne stabilité des protéines (≈16,8 %) et des matières grasses (≈14,6 %) pendant 21 jours à 4 °C. Ces modifications ont contribué à ralentir les mécanismes de dégradation et à maintenir la qualité du fromage.

Sur le plan microbiologique, le lot enrichi à 13 g/L a montré une absence totale de coliformes fécaux, de staphylocoques à coagulase positive et de *Salmonella spp.*, même après 14 jours de conservation à température ambiante (21 °C), alors que le fromage témoin présentait des signes de dégradation microbiologique dès J+7. Le dénombrement des germes aérobies mésophiles a également révélé une croissance beaucoup plus lente dans le fromage enrichi.

Les analyses statistiques (ANOVA, ACP et AHA) ont confirmé la significativité des différences observées entre le lot témoin et le lot enrichi, notamment dans l'évolution du pH, de l'acidité et de la charge microbienne, soulignant l'efficacité du sumac comme agent de conservation.

Enfin, les résultats sensoriels ont démontré que l'incorporation de sumac n'a pas altéré l'acceptabilité du fromage sur les plans gustatif, visuel ou olfactif, ce qui conforte son usage potentiel dans des produits laitiers frais.

Ainsi, cette étude valide l'utilisation du sumac comme conservateur naturel, efficace, accessible et sans effet secondaire organoleptique, dans une démarche de développement durable et de valorisation des plantes locales.

Au vu des résultats prometteurs, plusieurs perspectives de recherche et d'application peuvent être envisagées :

- Étendre l'évaluation du sumac à d'autres types de fromages (à pâte molle, pressée ou à croûte fleurie) pour tester sa polyvalence sur des matrices différentes.
- Étudier la synergie entre le sumac et d'autres extraits végétaux (thym, romarin, clou de girofle) afin de renforcer l'activité antimicrobienne et antioxydante.

- Mettre en place des tests industriels pour valider l'efficacité du sumac à plus grande échelle, dans des conditions réelles de production et de distribution.
- Analyser l'impact du sumac sur la flore bénéfique (ex. : bactéries lactiques) afin de s'assurer qu'il n'altère pas les qualités fermentaires et probiotiques des fromages.
- Évaluer la stabilité des composés actifs du sumac au cours du stockage et leur migration éventuelle dans le produit fini.
- Enfin, valoriser localement cette plante, abondante en Algérie, en développant une filière de transformation et de standardisation à usage agroalimentaire.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

**Abbas, O. (2012).** Effet de l'incorporation des huiles essentielles de laurier, d'eucalyptus et de romarin dans les solutions de saumurage sur les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du fromage. Mémoire de Magistère, Université Mentouri, Constantine, Algérie.

**AFNOR (1982).** Recueil des normes françaises : Produits dérivés des fruits et légumes. 2e éd., Paris, 375 p.

**Ali, A., et al. (2020).** Effect of sumac (*Rhus coriaria* L.) powder addition on microbial and chemical changes in Labneh during refrigerated storage. *Journal of Food Protection*, 83(1), 52–60. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-101>

**Ali, A., et al. (2021).** Incorporation of sumac extract as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, 172, 108329.

**Alirezalu, K., et al. (2020).** Antioxidant and antimicrobial properties of sumac fruit extract against *Listeria monocytogenes* and oxidative spoilage in meat. *Food Science & Nutrition*, 8(6), 3132–3140.

**Alsamri, H., et al. (2021).** Bioactive compounds of *Rhus coriaria* L. and their pharmacological potential. *Food Frontiers*, 2(4), 450–461.

**AOAC (1975).** Official Methods of Analysis. 12th ed., Washington D.C., USA.

**AOAC (1995).** Official Methods of Analysis. 16th ed., Washington, DC.

**AOAC (2008).** Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed., Gaithersburg, MD, USA.

**Aydogdu, H. (2023).** Evaluation of the microbiological quality of dried spices and herbs. [Détails cités dans les protocoles de dénombrement fongique]

**Benamara, S., et al. (2020).** Analyse physico-chimique et microbiologique du fromage traditionnel algérien. *Revue des Sciences Alimentaires*, 9(2), 101–110.

**Ben Rejeb, I., et al. (2018).** Influence of *Rhus coriaria* L. on the physico-chemical and microbiological characteristics of fermented milk. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4113–4120.

**Boukraa, L., et al. (2019).** Évaluation de la qualité du lait cru et de ses paramètres physico-chimiques par ACP. *Algerian Journal of Food Science and Technology*, 7(1), 33–41.

**Codex Alimentarius (2023).** Norme du fromage CXS 283-1978 (Rév. 2023). FAO/WHO. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

**Farazandehnia, M., et al. (2024).** Sumac extract efficacy against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Journal of Applied Microbiology*, 136(2), 295–304.

**ISO 12185:1999.** Milk — Determination of density.

**ISO 15213-1:2023.** Microbiology of the food chain — Enumeration of sulfite-reducing bacteria.

**ISO 21528-2:2017.** Microbiology of the food chain — Enumeration of Enterobacteriaceae.

**ISO 2446:2008.** Milk — Determination of fat content — Gerber method.

**ISO 4833-1:2013.** Microbiology of the food chain — Colony count at 30°C by pour plate technique.

**ISO 5546 :2004.** Lait — Détermination du pH.

**ISO 6579-1:2017.** Detection of *Salmonella* spp.

**ISO 6731:2010.** Milk — Determination of total solids content (mass after drying).

**ISO 6887-1:2017.** Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination.

**JORA (2017).** Règlementation sanitaire des produits laitiers. *Journal Officiel de la République Algérienne*, Numéro 19, p. 44.

**Kim, D. O., et al. (2003).** Phenolic profile and antioxidant capacity of selected fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 51(3), 6509–6515.

**Lien, E. J., et al. (1999).** ABTS radical cation decolorization assay for antioxidant activity. *Antioxidants & Redox Signaling*, 1(1), 89–97.

**Mansouri, A., et al. (2005).** Phenolic profile and antioxidant activity of Algerian plant extracts. *Food Chem.*, 89(3), 345–352.

**Mazzara, M., et al. (2023).** Standard protocols for herbal microbiological control. [Méthodes de préparation des dilutions du sumac]

**Mehmood, A., et al. (2019).** Pharmacological and phytochemical review of *Rhus coriaria* L. *Biomed. Pharmacother.*, 111, 958–968.

**Mohammed, A., et al. (2022).** Natural food preservatives from plants: antimicrobial and antioxidant properties. *J. Food Safety and Quality*, 13(4), 987–999.

**Molyneux, P. (2004).** DPPH assay for antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 26(2), 211–219.

**Mousavi, S. M., et al. (2017).** Antimicrobial effect of sumac on pathogenic bacteria in cheese. *Iranian J. Microbiol.*, 9(1), 12–19.

**Multon, J. L. (1991).** Analyse des constituants des aliments : méthodes physiques et chimiques. Lavoisier, Paris.

**Saleh, F. A., et al. (2023).** Sumac in dairy preservation: functional food application. *Food Technology Reports*, 7(2), 205–213.

**Toksoz, F., et al. (2024).** Sumac extract reduces *Salmonella* spp. in dairy-based matrices. *Food Control*, 154, 110102.

**Turrini, F., et al. (2021).** Trends in natural food preservatives and antimicrobial agents. *Foods*, 10(4), 856.

**Yüksel, M., İnce, A. (2023).** Microbial evaluation of spice powders. [Utilisé pour validation FAMT et levures/moisissures]

# **ANNEXES**

## Annexe 1 : Appareillages



Figure 40 Balance de précision



Figure 39mineralisateur kjeldahlbehrotest



Figure 42soxhlet



Figure 41agitateur magnétique



*Figure 43 Distillateur behro test*

## Annexe 2 : Fiche de dégustation

### Université Saad Dahlab Blida 1

Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Technologie Alimentaire

Fiche d'évaluation sensorielle d'un fromage frais

Sexe : \_\_\_\_\_ Âge : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

Quatre échantillons de fromage frais préparés à base de lait de vache enrichis avec 7h,10g, et 13g de Sumac vous sont présentés, codés A (témoin), B, C et D. Il vous est demandé d'évaluer les différentes caractéristiques et attribuer une appréciation selon les codes donnés.

NB : Veuillez rincer la bouche à chaque dégustation d'un échantillon.

#### 1 - Couleur

Échantillon	A	B	C	D

1 : Mauvais 2 : Assez mauvais 3 : Acceptable 4 : Assez bon 5 : Bon

#### 2 - Odeur

Échantillon	A	B	C	D

1 : Absente 2 : Faible 3 : Moyenne 4 : Forte 5 : Très forte

#### 3 - Saveur

Échantillon	A	B	C	D
Intensité d'arôme				
Acidité				
Salinité				
Amertume				
Arrière-goût				

1 : Absente 2 : Faible 3 : Moyenne 4 : Forte 5 : Très forte

#### 4 - Texture

##### a. Dureté (aspect)

Échantillon	A	B	C	D

1 : Très mou 2 : Mou 3 : Moyenne 4 : Ferme 5 : Très ferme

### b. Texture en bouche

Échantillon	A	B	C	D

1 : Très lisse 2 : Lisse 3 : Moyenne 4 : Granuleuse 5 : Très granuleuse

### Préférence

Attribuez une note de 1 à 8 selon votre préférence pour chaque échantillon :

1 : Extrêmement désagréable

2 : Très désagréable

3 : Assez désagréable

4 : Désagréable

5 : Ni agréable ni désagréable

6 : Assez agréable

7 : Agréable

8 : Très agréable

### Préférence

Échantillon	A	B	C	D

Quelles sont les caractéristiques qui ont motivé votre préférence ? (cocher)

1. La couleur

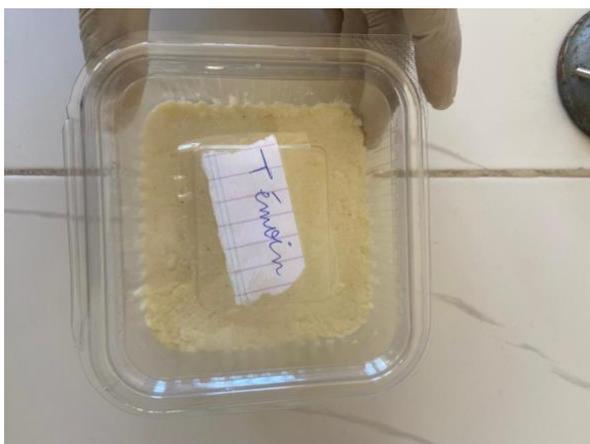
2. L'odeur

3. La saveur

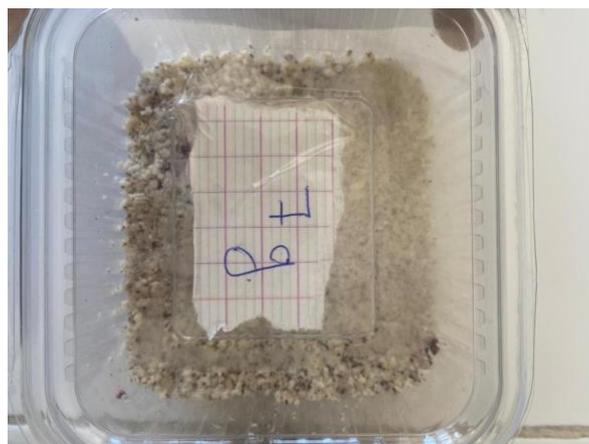
4. La texture

Merci pour votre participation

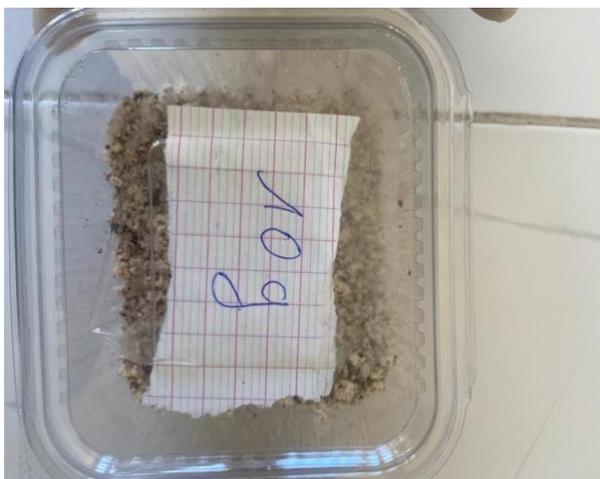
**Annexe 3 : Les échenillions de fromage témoin et enrichi (7g, 10g, 13g)**



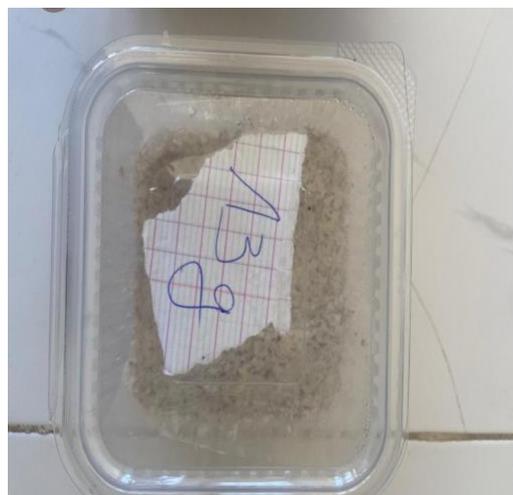
*Figure 45*fromage témoin



*Figure 44*fromage enrichi avec 7g de sumac



*Figure 47*fromage enrichi avec 10 g de sumac



*Figure 46*fromage enrichi avec 13g de sumac

#### Annexe 4 : Les échantillons au cours de stockage

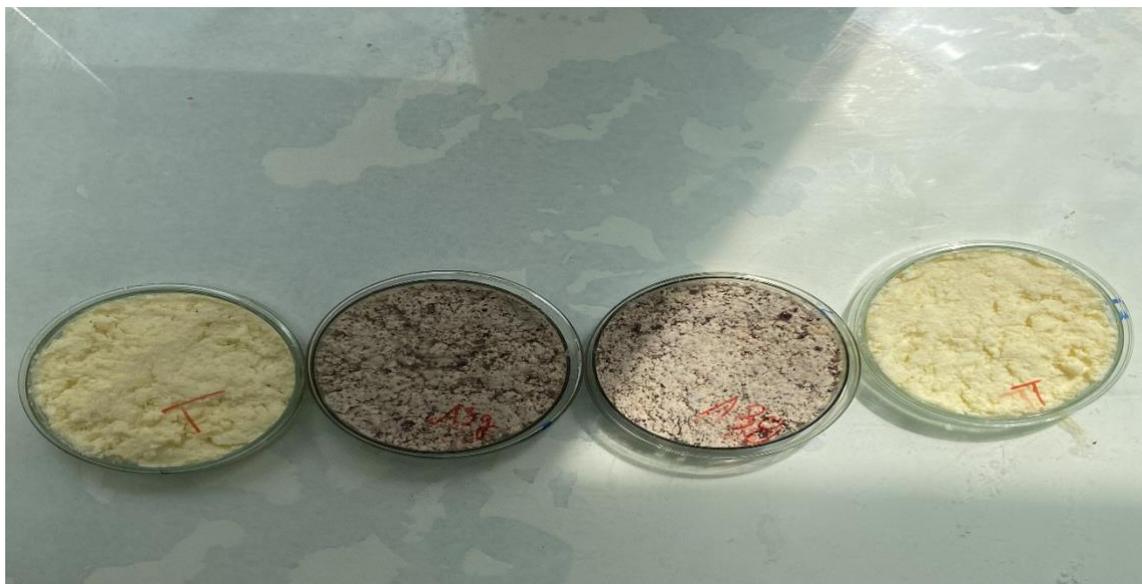


Figure 48 les échantillons dans J1 de conservation a 4°C et 21°C

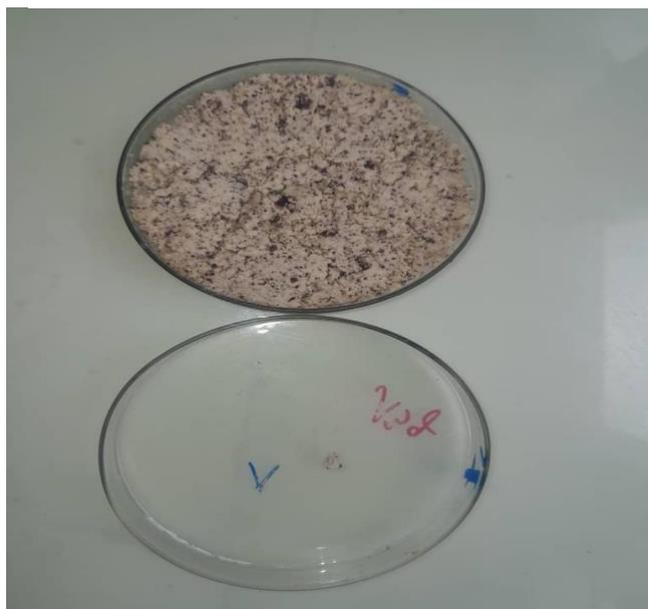


Figure 49 Fromage enrichi (13g) j 26 de conservation à 4°C



*Figure 50 fromage témoin conserver à 4°C J26*