

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Sciences Alimentaires  
Filière : Sciences Alimentaires  
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf:.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

***Thème***

**Elaboration d'un fromage frais enrichi en lentilles :  
caractérisation physicochimique sensorielle et évaluation de  
l'activité antioxydant**

**Présenté par :**  
*Rahmouni izem*

Soutenu le : **25/06/2023**

Devant le jury composé de :

Mr. Bouderies H.	MCA	Président
Mme. Medouni S.	MCA	Encadreur
Mr. Nabet N.	MCA	Examineur

**Année universitaire : 2022 / 2023**

# Remerciements

*Tout d'abord, merci à Dieu, le Clément, le Miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste projet.*

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie ma Promotrice Mme Medouni Sonia maitre de conférences pour son attention et sa disponibilité avec lesquelles il m'a suivi et guidé tout au long de ce parcours.*

*Je remercie chaleureusement les membres du jury qui me font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*

*M. Boudries Hafid, maitre de conférences pour m'avoir honorée en acceptant de présider le jury de soutenance de mon mémoire de fin d'études. M, Nabet Nacim maitre de conférences pour avoir accepté de juger mon travail.*

*L'opportunité se présente à cette occasion également pour exprimer mes sincères respects pour tous les enseignants qui nous ont formés et tous les travailleurs de l'université de Bejaia .et surtout sans oublier mme DIB l'inginiere de labo.*

*Toute ma gratitude à toute personne ayant de près ou de loin contribué à ma formation et à l'aboutissement de ce travail.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail qui est le fruit des années d'études qui sont pleines de réussite, d'amour, de joie et de bonheur,*

*A toute ma famille et à tous ceux que j'aime. Spécialement à ceux qui m'ont aidé dans toutes les phases de ma vie. Et qui s'est sacrifiée pour mon éducation et pour mon bien être*

*ma chère mère Massaouda , Et mon cher père Abdelkarim pour leur soutien tout au long de mon parcours et leur encouragement ; toutes les lettres ne seraient trouver les mots qu'il faut, et tous les mots ne seraient exprimer la gratitude.*

*A mon frère cherif*

*A ma Soeur Lydia*

*A tous ma famille*

*A mes amis les plus proche et la promotion 2022/2023*

*A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime*

*Que dieu les garde tous et les protèg*

## Liste des abréviations

**ABS** : absorbance

**AFNOR** : Association française de normalisation

**AGS** : acide gras saturée

**C** : Celsius

**CAE** : capacité d'absorption d'eau

**BSA** : bovine sérum albumine

**Cm** : centimètre

**DLC** : durée de conservation limitée

**DPPH** : 2, 2-Diphényl-1-Picrylhydrazyl

**EAA** : équivalent acide ascorbique

**EAG** : équivalent acide gallique

**EQ** : équivalent quercétine

**FAO** : (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

**FLRG** : farine de lentille rouge grillée

**FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée

**g** : gramme

**HCl** : chlorure d'hydrogène

**Kcal** : kilocalorie

**Kg** : kilogramme

**mg** : milligramme

**Min** : minute

**ml** : millilitre

**MS** : matière sèche

**NaOH** : hydroxide de sodium

**PH** : potentiel hydrogène

**TC** : taux de cendre



# Table de matières

## Liste des abréviations

## Liste des des figures

## Liste des tableaux

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Généralités sur les lentilles .....</b>	<b>3</b>
I.1. Description botanique.....	3
I.2. Classification .....	3
I .3 Morphologie .....	4
I .4.Variété des lentilles.....	4
I .5.Composition chimique et valeur nutritionnelle .....	5
I .6.Antioxydants des lentilles .....	6
I .7.Facteurs antinutritionnels de lentilles .....	6
I .7.1. Inhibiteur des protéases.....	7
I .7.2. Phytohémagglutinines (lectines).....	7
I .7.3. Saponines .....	7
I.7.4. Tanins .....	7
I .8. Bienfaits de la consommation de lentilles.....	7
I .9. Importance économique .....	8
I .9.1. Production mondiale .....	8
I .9.2. Production nationale .....	9
<b>II . Généralité sur les fromages .....</b>	<b>10</b>
II .1 Définition du fromage.....	10
II .2. Technologie de fabrication du fromage .....	10
II .2.1. Préparation du lait.....	11

II .2.2	Coagulation .....	12
II .2.3.	Egouttage du coagulum.....	13
II .2.4.	Salage .....	13
II .2.5	Affinage.....	13
II .3.	Différents types du fromage.....	14
II .4.	Fromage frais.....	14
II .4.1.	Définition .....	14
II .4.2.	Types de fromages frais .....	15
II .4.3.	Composition et valeur nutritive .....	17

### **III. Matériel et méthodes**

III .1.	Matériel végétal .....	18
III .2.	Lait .....	18
III .3.	Préparation du fromage frais enrichie.....	18
III .4.	Analyses physico-chimiques .....	19
III .4.1.	Potentiel hydrogène .....	19
III .4.2.	Acidité titrable .....	19
III .4.3.	Détermination du taux de cendres .....	20
III .6.	Dosage des protéines.....	20
III .7.	Tests préliminaires.....	21
III .8.	Dosage des antioxydants.....	21
III .8.1.	Extraction des antioxydants.....	22
III .8.2	Dosage des composés phénoliques totaux .....	22
III .8.3.	Dosage flavonoïdes.....	22
III .8.4.	Dosage de la vitamine C .....	22
III .9.	Evaluation du pouvoir antioxydant.....	22

III.9.1. Pouvoir réducteur.....	23
III.9.2. Activité anti-radicalaire.....	23
III.10. Evaluation des propriétés fonctionnelles .....	23
III.10.1. capacité d'absorption de l'eau (CAE).....	24
III.11. Evaluation sensorielle .....	24
III.11.1. Analyse statistique .....	25

## **Résultats et Discussion**

IV. Paramètres physico-chimiques du lait .....	26
IV.1. Potentiel hydrogène et l'acidité titrable .....	26
IV.2. Caractérisation phytochimique des échantillons de lentilles.....	27
IV.2.1. Tests préliminaires .....	27
IV.3. Taux de cendre.....	27
IV.4. Teneurs en sucres totaux .....	28
IV.5. Teneurs en protéines .....	28
IV.6. Propriété fonctionnelle.....	29
IV.6.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE).....	30
IV.7. Teneurs en antioxydants.....	30
IV.7.1. Composé sphénoliques totaux .....	31
IV.7.2.Flavonoïdes .....	32
IV.8 . vitamine C .....	32
IV.9. Activité Antioxydante.....	32
IV. .9.1. Activité radicalaire DPPH.....	33
IV.. 9.2. Pouvoir réducteur.....	34
IV.10.Analyse sensorielle : Analyse descriptive.....	35
IV.10.1. Pouvoir discriminant par descripteur.....	35



IV .10.2. Coefficients des modèles .....	37
IV. 10.3. Moyennes ajustées par produit .....	37
IV. 10.4. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH .....	38
IV.11. Cartographie de préférence .....	39
<b>Conclusiosn</b> .....	43

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## **Résumé**

Depuis des siècles, les légumineuses ont été une composante essentielle de notre alimentation. Leur culture remonte à 10 000 ans avant Jésus-Christ, témoignant de leur importance dans notre patrimoine culinaire (**Voisin et al., 2013**). Les légumineuses, notamment les lentilles, jouent un rôle crucial dans de nombreux pays, fournissant des micro et macroéléments essentiels, ainsi qu'une teneur élevée en protéines, en glucides, en vitamines et en minéraux. En tant qu'aliments d'origine végétale, elles sont généralement riches en composés phénoliques et présentent une capacité antioxydante élevée, contribuant ainsi à la prévention de divers problèmes de santé, notamment les maladies cardiovasculaires (**Schneider et al., 2010**).

Parmi les légumineuses les plus consommées à travers le monde, la lentille occupe une place privilégiée depuis la préhistoire (**Rio, 2017**). Elle est reconnue pour sa richesse en protéines végétales, en faisant un substitut idéal à la viande et un atout pour la diversité alimentaire (**Bourdrez et Chriki 2022**). Les lentilles sont également une source abondante de minéraux souvent absents de notre alimentation industrielle. Leur teneur élevée en fibres contribue à la prévention de diverses maladies telles que le diabète, l'hypertension et certains cancers. En outre, les lentilles contiennent des concentrations significatives d'acides aminés essentiels, ainsi que d'autres nutriments tels que les fibres alimentaires, la vitamine B1, les minéraux et les composés antioxydants (**Voisin et al., 2013**). Ces dernières années, les lentilles ont gagné en popularité et sont utilisées dans une grande variété de plats.

L'utilisation d'ingrédients végétaux dans l'enrichissement des produits alimentaires est une tendance croissante dans le domaine de l'alimentation et de la nutrition. Les lentilles offrent une alternative végétale riche en protéines, en fibres alimentaires, en vitamines et en minéraux, tout en étant faibles en matières grasses et en cholestérol. Notre travail se concentre sur l'enrichissement des fromages frais en utilisant ces poudres de lentilles (*Lens culinaris* Medik), qu'elles soient torréfiées ou non. Les fromages, en tant que produits laitiers très appréciés, offrent une base idéale pour l'incorporation d'ingrédients supplémentaires afin d'améliorer leur valeur nutritionnelle.

Cependant, cette approche soulève des questions technologiques majeures. Quel est l'impact de cet enrichissement sur la texture, l'arôme et la saveur des fromages ? Comment les consommateurs perçoivent-ils ces fromages enrichis et quel est leur niveau d'acceptabilité ? Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place une méthodologie analytique comprenant des analyses physico-chimiques, des tests sensoriels et des évaluations de l'acceptabilité des fromages enrichis en poudres de lentilles.

Ainsi, ce travail de recherche est divisé en deux parties principales. La première partie consiste en une revue bibliographique détaillée sur les lentilles, leur production mondiale et locale, leur composition antioxydante ainsi que sur les fromages. La deuxième partie se concentre sur l'étude expérimentale, avec une description du matériel et des méthodes utilisées, suivie des résultats obtenus et d'une discussion approfondie.

# Recherche bibliographique

### I. Généralités sur les lentilles

#### I.1 Description botanique

La lentille est une plante annuelle herbacée diploïde ( $2n = 14$ ) d'une hauteur variant de 20 à 72 cm. Elle présente de nombreuses tiges dressées et très ramifiées. Ses feuilles sont alternes, composées de plusieurs folioles opposées, oblongues, et se terminent par une vrille généralement simple ou bifide. À la base, les feuilles sont pourvues de stipules dentées. Les fleurs, caractérisées par une corolle papilionacée typique de la sous-famille des Faboideae, peuvent être de couleur bleue, blanche ou rose. Les petites gousses renferment généralement deux graines. La période de floraison se situe entre mai et juillet, pendant l'été (**Schneider et al., 2015**).

Les fruits de la lentille sont des gousses aplaties et courtes, renfermant deux graines aplaties qui ont une forme caractéristique de disque faiblement bombé. La couleur des graines varie selon les variétés, allant des teintes les plus pâles telles que le vert pâle, le blond et le rose, aux teintes plus foncées comme le vert foncé, le brun et le violacé, entre autres. Les cultivars de lentilles sont classés en deux groupes principaux, principalement en fonction de la taille des graines : (I) le groupe macrosperma, prédominant en Afrique du Nord, en Europe et en Amérique, dont le diamètre des graines est supérieur à 6 mm, et (II) le groupe microsperma, dominant en Asie, en Égypte et en Éthiopie, dont le diamètre des graines est inférieur à 6 mm. Dans certaines régions d'Asie occidentale et du sud-est de l'Europe, les deux groupes de cultivars sont cultivés (**Brink et Belay, 2006**).

#### I.2 Classification

La lentille (*Lens culinaris*) est une espèce annuelle dicotylédone classée d'après **Brink et Belay (2006)** comme suit :

**Règne :** *Plantae*

**Super division :** *Spermatophyta*

**Classe :** *Magnoliopsida*

**Sous classe :** *Rosidae*

**Ordre :** *Fabales*

**Famille :** *Fabaceae*

**Genre :** *Lens*

**Espèce :** *Lens culinaris* Medik

### I.3 Morphologie

Selon **Yadav *et al.* (2007)**, voici la description morphologique de la lentille :

- **Feuilles:** Les feuilles de la lentille sont disposées de manière alternée et sont composées de plusieurs folioles disposées en forme de plume. Elles peuvent varier en couleur, allant du vert jaunâtre, vert jaune clair, vert terne, vert foncé à vert bleuâtre foncé. Les stipules qui les accompagnent sont généralement petites, mais parfois elles peuvent être absentes (Figure 1).

- **Fleurs:** Les fleurs de la lentille sont de petite taille et peuvent présenter des couleurs variées, telles que le blanc, le rose, le violet, le violet pâle et le bleu pâle. Elles sont portées par de courts pédoncules mesurant entre 2,5 et 5,0 cm de long.

- **Graines :** Les graines de lentille sont caractérisées par leur forme biconvexe, ronde et semblable à une lentille d'œil. Elles ont une taille réduite et pèsent entre 2 et 8 grammes pour 100 graines. La couleur du testa, la couche externe de la graine, varie du beige au brun noir, en passant par le violet et le noir. Quant aux cotylédons, ils peuvent présenter des teintes allant du rouge, à l'orange, au jaune ou au vert.



### I.4. Variétés des lentilles

**Figure 1 :** Morphologie de plante lentille ( bioalaune)

**des**

D'après la **FAO (2016)**, les lentilles se déclinent en différentes variétés qui sont regroupées en fonction de leur couleur, comme le montre la Figure 2.

**a. Lentille du Puy :** Cette variété de lentilles, de couleur bleu-vert foncé, ressemblant à une perle, est originaire de la région Auvergne, située au centre de la France. Réputée pour être la plus savoureuse parmi toutes les variétés, elle maintient sa forme pendant la cuisson.

**b. Lentille rouge :** Avec sa couleur et son goût prononcés, la lentille cassée de couleur orange foncé, également connue sous le nom de lentille égyptienne ou Masoor Daal, est la variété

la plus courante. Bien qu'elle soit relativement ferme, même lorsqu'elle est fraîche, contrairement à d'autres légumineuses, elle ne nécessite pas de trempage préalable avant la cuisson.

**c. Lentille jaune:** Bien que moins célèbre que la lentille rouge, la variété de lentilles jaune vif offre un goût similaire et peut être cuisinée de la même manière.

**d. Lentille verte et brune :** À la différence des variétés rouges et jaunes, cette lentille courante en forme de disque, également appelée lentille continentale, conserve sa forme même après avoir ramolli lors de la cuisson.

**e. Lentille d'Ombrie :** L'Italie et la cuisine méditerranéenne sont réputées pour leurs délicieuses lentilles. Cette lentille italienne, de couleur brune et dorée, est souvent cuisinée avec des oignons, de l'ail et des fines herbes. Les Italiens célèbrent le Nouvel An en dégustant des lentilles peu après minuit. Selon la tradition, plus vous en consommez, plus vous serez fortuné. C'est pourquoi servir un grand plat de lentilles est considéré comme un symbole de richesse et de chance pour toute l'année à venir !



**Figure 2 :** Les différentes variétés de lentilles (bioalaune)

### I.5. Composition nutritionnelle

Les graines de lentilles se distinguent des autres légumineuses par leur teneur plus élevée en protéines (25%), en glucides et en calories. Elles sont également une source précieuse de minéraux essentiels tels que le calcium, le phosphore, le fer et les vitamines du groupe B (voir Tableau I) (Yadav *et al.*, 2007). Les différentes parties de la plante, telles que les feuilles sèches, les tiges, les enveloppes et les gousses, peuvent être utilisées comme alimentation pour le bétail, offrant ainsi une bonne source de nutrition.

### chimique et valeur

**Tableau I:** Composition chimique des lentilles (Zhou *et al.*, 2013 ; Ndife *et al.*, 2011; Sanjeewa *et al.*, 2010).

Composants	g/ 100g d'échantillon
Lipides	1,06
Protéines	25,8 g
Glucides	60-62
Minéraux	2,67
Fibres alimentaires	30,5

De plus, les résidus de lentilles présentent une teneur moyenne en humidité d'environ 10,2%, en matières grasses de 1,8%, en protéines de 4,4%, en glucides de 50%, en fibres de 21,4% et en cendres de 12,2%. Les graines de lentilles sont également utilisées par l'industrie comme une source d'amidon commercial, principalement dans les secteurs du textile et de l'impression (**Yadav et al., 2007**).

### I.6. Antioxydants des lentilles

Les légumineuses, dont les lentilles, sont reconnues pour leur teneur élevée en composés phénoliques totaux, variant de 300 mg à 17 g/kg (**Macheix, 1996**). Parmi ces composés, on retrouve des polyphénols tels que la procyanidine et les flavanols, qui sont connus pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Des études ont révélé la présence d'antioxydants dans différents échantillons de lentilles, principalement des flavonoïdes tels que les catéchines et les procyanidines. Ces antioxydants sont principalement concentrés dans la couche externe de la lentille.

### I.7. Facteurs antinutritionnels de lentilles

Outre les nutriments essentiels tels que les protéines, les glucides, les lipides et les fibres alimentaires, ainsi que les minéraux et les vitamines, les légumes secs renferment divers autres composés. Certains de ces composés ont été longtemps considérés comme des facteurs antinutritionnels en raison de leur capacité à réduire la biodisponibilité des macronutriments et des micronutriments, ainsi que de leurs effets néfastes lors de consommations élevées chez les animaux domestiques (**Champ, 2002**). Selon **Tacon (1995)**, les lentilles contiennent des inhibiteurs de protéases, des phytohémagglutinines (lectines), des saponines, ainsi que des polyphénols (tanins).



### **I.7.1. Inhibiteur des protéases**

Les inhibiteurs de protéases sont particulièrement préoccupants en raison de leurs effets sur les enzymes protéolytiques pancréatiques pendant la digestion. Ces inhibiteurs, qui sont des protéines d'un poids moléculaire moyen compris entre 8000 et 22000 Da, exercent une inhibition spécifique de la trypsine et/ou de la chymotrypsine (**Ganesan et Xu, 2017**).

### **I.7.2. Phytohémagglutinines (lectines)**

Les effets antinutritionnels ou potentiellement toxiques sont principalement attribuables à la capacité de ces composés à se lier aux glycoprotéines membranaires au niveau de la muqueuse intestinale. Cela entraîne une diminution des capacités digestives et d'absorption, ainsi que des troubles gastro-intestinaux tels que des diarrhées et des nausées. Certaines lectines peuvent également avoir des effets cytotoxiques, comme c'est le cas pour les lectines présentes dans les haricots ou les graines de ricin (ricine). Cependant, les lectines des pois, des lentilles et des fèves sont considérées comme non toxiques et sans effet antinutritionnel sur la croissance (**Ganesan et Xu, 2017**).

### **I.7.3. Saponines**

Les saponines sont des composés métaboliques secondaires qui se composent d'une ou deux chaînes glucidiques hydrophiles attachées à un aglycone triterpénique lipophile. Leur mécanisme d'action est susceptible d'induire une activité hémolytique en interagissant avec le cholestérol, ce qui entraîne une rupture de la membrane cellulaire et une libération d'hémoglobine (**Wink, 2013**).

### **I.7.4. Tanins**

Les polyphénols sont un groupe de composés phénoliques variés, pouvant être polymérisés ou condensés, notamment sous forme de tanins. Les polyphénols condensés comprennent les proanthocyanidines polymériques, qui sont difficiles à hydrolyser et à absorber. Ils se trouvent en abondance dans certaines céréales, comme le sorgho, ainsi que dans les graines des légumineuses (**Anonyme, 1994**).

## **I.8. Bienfaits de la consommation de lentilles**

Les lentilles offrent de nombreux bienfaits pour la santé humaine, qui peuvent être résumés comme suit :

- Grâce à leur forte teneur en acide folique, les lentilles sont bénéfiques pour la santé cardiovasculaire, favorisent la santé des vaisseaux sanguins et réduisent le risque de

développement de maladies tumorales. Leur consommation est recommandée pendant la grossesse pour prévenir les anomalies de développement du fœtus.

- Les lentilles renforcent le système immunitaire, ce qui les rend particulièrement bénéfiques en hiver pour prévenir les maladies infectieuses. Riches en protéines et en acide folique, ces légumineuses rendent l'organisme plus résistant. Elles sont également une source importante de zinc, de calcium, de magnésium, de fer et de vitamines A et B1.

- Les lentilles contiennent de nombreux antioxydants de la famille des flavonoïdes, qui aident à lutter contre le mauvais cholestérol, réduisent le taux de triglycérides dans le sang et contribuent à neutraliser les radicaux libres. Elles ont également une action inhibitrice sur la croissance des cellules cancéreuses dans l'organisme.

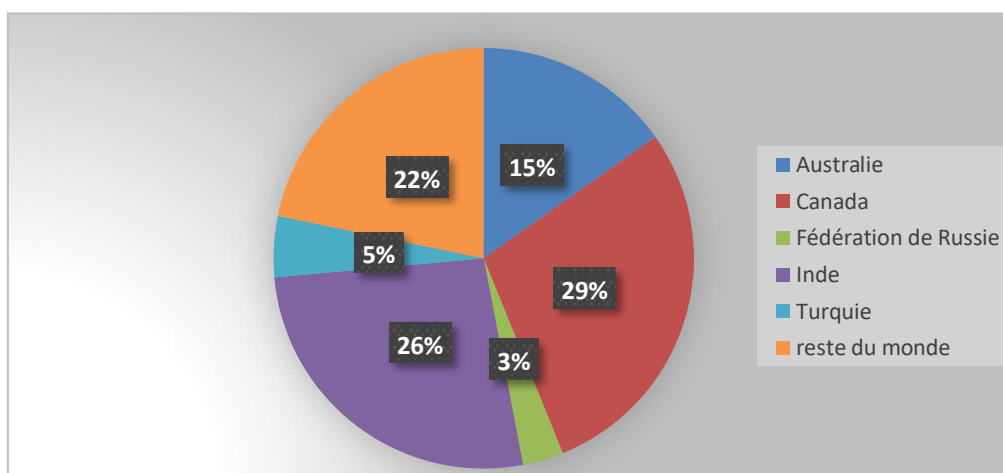
- Les lentilles peuvent aider à contrôler le diabète de type 2 en ralentissant la digestion des glucides. Parmi les légumineuses, la lentille semble être la plus efficace dans la prévention du diabète de type 2 grâce à son faible indice glycémique, ce qui permet de maintenir la glycémie à un niveau stable après les repas. De plus, leur teneur élevée en protéines en fait une alternative aux protéines animales présentes dans la viande et le poisson, ce qui en fait un aliment apprécié des végétariens. (Pasportsante.net)

## **I.9. Importance économique**

### **I.9.1. Production mondiale**

La production de lentilles varie d'un pays à l'autre en raison de plusieurs facteurs tels que la température, le taux de précipitation et les superficies cultivées (fao2016)

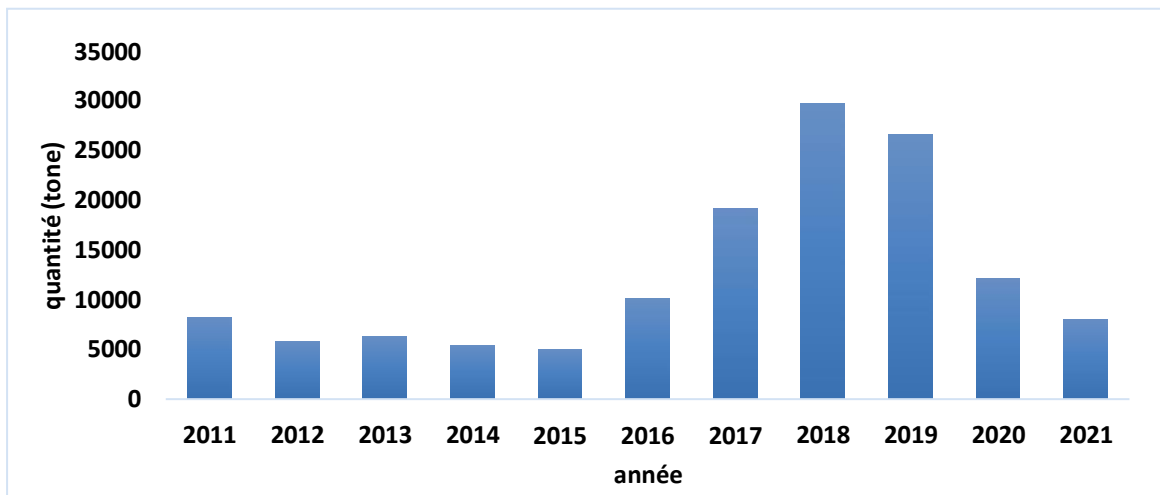
Selon la **FAO (2023)**, la production mondiale de lentilles a atteint 5 610 103,65 tonnes en 2021. Les cinq principaux producteurs mondiaux de lentilles, représentant 78 % de la production mondiale, sont le Canada en première position, suivi de l'Inde en deuxième position, de l'Australie, de la Turquie et de la Russie (figure 3).



**Figure 3** :Le pourcentage de la production de lentilles réalisée par les cinq principaux producteurs par rapport au reste du monde (FAO, 2023).

### I.9.2. Production nationale

L'Algérie occupe la 17<sup>ème</sup> place dans le classement mondial des pays producteurs de lentilles, se positionnant ainsi en 3<sup>ème</sup> position en Afrique, après l'Ethiopie et le Maroc. Sa production s'est élevée à 7998 tonnes en 2021, après l'Ethiopie et le Maroc avec une production de 7998 tonnes (FAO, 2023). La figure 2 montre l'évolution de la production nationale des lentilles sur la période 2011-2021. Les quantités de lentilles produites au cours des 10 dernières années ont connu des fluctuations notables.



**Figure 4:** Evolution de la production nationale des lentilles en tonnes sur la période 2011-2021 (FAO, 2023).

## II. Généralité sur les fromages

### II.1 Définition du fromage

La dénomination « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir de matière d'origine exclusivement laitière (lait entier, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre), utilisées seules ou en mélange, et coagulées en totalité ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de leur eau (Eck et Gillis, 2018).

### II.2. Technologie de fabrication du fromage

Le processus de fabrication du fromage peut être décrit comme une combinaison d'agrégation et d'écoulement. Il implique la coagulation des éléments protéiques du lait, principalement les caséines, qui se lient entre eux pour former des structures plus ou moins modifiées, capturant ainsi les autres constituants présents. Ensuite, ces agrégats se regroupent pour former des morceaux de caillé moulés. Ce phénomène d'agrégation est associé à l'égouttage de la phase liquide, composée de l'eau du lait et des éléments solubles piégés dans les pores de la structure du caillé, qui sont ensuite libérés (Kongo *et al.*, 2016).

L'objectif de l'industrie fromagère est de convertir le lait en un produit durable avec des caractéristiques gustatives distinctes, grâce à divers processus microbiens et enzymatiques (Hui, 1992 ; Leroy et De Vuyst, 2004). En modifiant les conditions physico-chimiques du lait, il est possible d'obtenir une variété de textures, de saveurs et de structures dans les fromages (Kongo *et al.*, 2016 ; FAO, 2019).

Les processus impliqués sont : la préparation du lait, la coagulation, l'égouttage le salage et

l'affinage (**Grappin et al., 2006**).

Plusieurs étapes essentielles sont impliquées dans la fabrication du fromage, notamment la préparation du lait, la coagulation, l'égouttage, le salage et l'affinage (**Grappin et al., 2006**). Ces processus jouent un rôle crucial dans le développement des caractéristiques organoleptiques et de la texture du fromage, ainsi que dans la préservation de sa qualité tout au long de sa maturation.

### II.2.1. Préparation du lait

Différentes opérations sont effectuées pour préparer le lait sur le plan microbiologique et physico-chimique, visant à optimiser sa composition et ses propriétés :

- ❖ La standardisation est réalisée afin d'ajuster les concentrations des différents composés chimiques du lait, tels que la teneur en matière grasse en fonction du taux protéique, pour obtenir un lait avec les caractéristiques souhaitées.
- ❖ La pasteurisation joue un rôle essentiel en détruisant la flore microbienne indésirable. Un traitement thermique à une température de 72°C pendant 15 minutes permet de garantir la sécurité sanitaire du lait en éliminant les agents pathogènes tout en préservant la structure des protéines et les vitamines présentes dans le lait (**Meyer et al., 2004**).
- ❖ L'homogénéisation est réalisée pour assurer une répartition uniforme des différents composants du lait, améliorant ainsi la stabilité et la texture du produit final. Cette opération permet de réduire la taille des globules de matière grasse, favorisant leur dispersion dans la phase liquide du lait (**Jeantet et al., 2007**).

### II.2.2 Coagulation

La coagulation du lait est une étape essentielle dans la fabrication de tous les types de fromage. Elle consiste généralement à transformer le lait liquide en un gel, appelé coagulum ou caillé, qui subira ensuite diverses transformations pour devenir un fromage (**El-Bendary et al., 2007; Shieh et al., 2009; Mohamed Ahmed et al., 2010**). Cette étape joue un rôle fondamental dans la formation de la structure du fromage et l'obtention de ses caractéristiques spécifiques.

La coagulation est un processus au cours duquel les micelles de caséines présentes dans le lait subissent une déstabilisation, entraînant leur agglomération et la formation d'un gel qui emprisonne les éléments solubles du lait. Cette coagulation peut être provoquée par différentes méthodes, telles que l'acidification, l'action d'enzymes ou une combinaison des deux (**Lapointe-Vignole, 2002**).

#### a. Coagulation par voie acide ou fermentation

La fermentation du lait est obtenue grâce à l'action des bactéries lactiques (**Dellagio *et al.*, 1994**). Ces microorganismes sont responsables de la fermentation du lactose, un sucre présent dans le lait, en acide lactique. L'indice de dégradation du lactose est mesuré par l'acidité titrable du lait, exprimée en degrés Dornic. Cette transformation progressive du lactose en acide lactique entraîne une baisse du pH du lait, favorisant ainsi la coagulation (**Amiot *et al.*, 2002**). Les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel dans deux étapes de la fabrication des fromages, à savoir la coagulation et l'affinage. Lorsque le lait est pasteurisé, une grande partie de sa flore microbienne, qu'elle soit bénéfique ou non, est éliminée. Afin de permettre la fermentation et la production d'arômes, il est nécessaire de réensemencer le lait pasteurisé avec des levains, qui sont fournis sous forme liquide ou lyophilisée (**Ray, 2003**).

### **b. Coagulation par voie enzymatique**

Dans l'industrie fromagère, l'enzyme principalement utilisée est la présure, composée à 80% de chymosine et à 20% de pepsine. Il s'agit d'une endopeptidase qui provoque la coagulation du lait en hydrolysant la caséine kappa. Cette action déstabilise les micelles de caséine et entraîne la formation du gel (**Eck et Gillis, 2006**). L'attaque enzymatique se produit au niveau de la liaison peptidique phénylalanine(105) et méthionine (106), ce qui libère une partie hydrophile de la caséine  $\kappa$ , tandis que le reste, la para caséine, reste attaché à la micelle. Les micelles modifiées établissent des liaisons hydrophobes et électrostatiques en raison d'une diminution de l'hydratation. Par la suite, les micelles agrégées se réorganisent en formant des liaisons phosphocalciques et des ponts disulfures entre les para-caséines. Ce processus aboutit à la formation d'un gel structuré, souple, imperméable et peu friable, doté d'un fort pouvoir de rétention d'eau qui permet la libération progressive de la fraction aqueuse lors de l'égouttage par synérèse. Plusieurs facteurs influencent la coagulation, tels que la composition du lait, la concentration en enzyme, la température d'emprésurage et les traitements technologiques (**Vetier *et al.*, 2000**).

### **c. Coagulation mixte**

La coagulation mixte se produit lorsque la présure et l'acide lactique agissent conjointement. Cependant, la présure est généralement l'agent principal responsable de la formation du coagulum. Par la suite, le coagulum acquiert progressivement des caractéristiques lactiques (**FAO, 1996**).

### **II.2.3. Egouttage du coagulum**

Au cours de cette étape, il se produit une élimination variable du lactosérum (**Mahaut *et al.*, 2000 ; Pradal, 2012**). Le gel formé par l'acidification et l'action de la présure constitue un état physique instable. Selon la méthode utilisée, le lactosérum, qui contient de l'eau, du lactose, des sels minéraux, de l'azote et de la matière grasse, se sépare plus ou moins rapidement du coagulum

formé. Le processus d'égouttage commence dans les cuves de coagulation (**Ramet, 2006**).

### II.2.4. Salage

Pour la plupart des fromages, il est nécessaire d'effectuer une opération de salage entre l'égouttage et l'affinage. Cette étape a pour but d'enrichir la pâte fromagère en chlorure de sodium. Le salage peut être réalisé de deux manières : soit par pulvérisation de sel en surface du fromage, soit par immersion du fromage dans un bain de saumure (une solution d'eau et de sel) (**Goudédranche et al., 2017**). Le sel joue un rôle essentiel en régulant l'activité de l'eau, ce qui influence le développement des microorganismes et régule les activités enzymatiques. De plus, le sel permet de révéler la saveur caractéristique du fromage en influençant son goût et en renforçant ses arômes (**Fredot, 2005**).

### II.2.5 Affinage

L'affinage est une étape cruciale dans la fabrication des fromages. Il consiste en la digestion enzymatique des composants du caillé égoutté, ce qui confère au fromage sa texture et sa saveur caractéristiques, propres à chaque type de fromage recherché (**St-Gelais et al., 2000**). L'affinage est considéré comme la phase la plus complexe de la production de fromages affinés, car il dépend des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques spécifiques de chaque fromage (**Bennett et Johnston, 2004**).

À l'exception des fromages frais, tous les types de fromages sont soumis à un processus d'affinage. La durée de l'affinage peut varier de quelques semaines à plusieurs années, en fonction du type de fromage fabriqué. Les conditions d'affinage, telles que la température, l'humidité et l'aération, jouent un rôle crucial dans le développement de l'écosystème d'affinage. La composition et l'évolution de la flore microbienne présente dans l'environnement d'affinage sont d'une importance primordiale pour la typicité et la qualité du produit final (**Rodas et al., 2005**).

## II.3. Différents types de fromage

A l'échelle mondiale, il existe environ 1000 variétés de fromages différents (**Irlinger et Mounier, 2009**). Les fromages sont des formes de conservation et de stockage ancestrales de la matière utile du lait dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont très appréciées (**Jeantet et al., 2008**).

Les fromages sont classés en grandes catégories selon les critères tels que l'espèce animale, la teneur en eau, la technologie de fabrication (**Siret, 2004**).

Selon le mode d'élaboration il existe plusieurs types de fromages (**Mahaut et al., 2007**) :

- ❖ Les fromages frais ;
- ❖ Les fromages fondus ;
- ❖ Les fromages à pâte molle (à croûte lavée ; à croûte) ;
- ❖ Les fromages à pâte pressée (cuite ; non cuite) ;
- ❖ Les fromages à pâte persillée.

### II.4. Fromage frais

#### II.4.1. Définition

Le fromage frais est une variété de fromage à pâte molle qui n'est pas affiné. Il se caractérise par une texture très humide, une faible teneur en minéraux et un goût crémeux ou légèrement acide. Il est facile à tartiner et à mélanger avec d'autres aliments (**Vignola, 2002**). Sa fabrication implique une coagulation lente principalement due à l'acidification, obtenue grâce à l'action des bactéries lactiques, parfois combinée à une petite quantité de présure (1 à 5 ml/100 L de lait). Un temps d'incubation prolongé est également nécessaire pour atteindre le stade de coagulation approprié (**Eck et Gillis, 2018**).

Les fromages frais ont une durée de conservation limitée (DLC) d'environ 24 jours (**Luquet et Corrieu, 2005**). Pour assurer leur qualité et leur sécurité sanitaire, ils sont généralement conservés à des températures basses, entre 0°C et +2°C. Le froid permet de ralentir la croissance des microorganismes, voire de l'arrêter, et il inhibe également certaines enzymes qui pourraient altérer le produit ou modifier son goût (**Dossou et al., 2006**).

#### II.4.2. Types de fromages frais

Selon l'étude de **Luquet et Corrieu (2005)**, les fromages non affinés présentent une variété de caractéristiques organoleptiques et se regroupent en différentes catégories, notamment :

- ❖ Les fromages blancs battus, qui ont une texture lisse et peuvent être qualifiés de "type campagne". La dénomination "fromage blanc" est réservée à un fromage non affiné qui n'a subi que la fermentation lactique sans autres fermentations.
- ❖ Les "petits suisses" naturels, qui sont des fromages frais à la consistance crémeuse.
- ❖ Les fromages frais pulpés, qui sont généralement proposés sous forme de pots individuels avec des ingrédients tels que des fruits ou des arômes ajoutés.
- ❖ Les "demi-sel", qui sont souvent aromatisés avec des condiments tels que l'ail, les fines herbes, le poivre, etc.



**II.4.3. Composition et valeur nutritive**

Les fromages sont des aliments très riches en divers composants tels que les protéines, l'eau, les peptides bioactifs, les acides aminés, les lipides, les acides gras, les vitamines et les minéraux, selon l'étude de **Walther *et al.* (2008)**. Ils se déclinent en une grande variété de produits, avec des teneurs en matière grasse pouvant varier de 0 à 60% par rapport à l'extrait sec, et une teneur en matière sèche totale supérieure à 15%. Il est important que le fromage renferme une flore vivante au moment de la vente au consommateur, comme souligné par **Luquet et Corrieu (2005)**.

En raison de leur composition, les fromages frais offrent une valeur biologique et nutritionnelle élevée, selon la **FAO (1996)**, en fournissant une bonne quantité de protéines, de calcium et de vitamines A et D. Par conséquent, ils conviennent parfaitement aux enfants, aux adolescents, aux femmes enceintes et aux personnes âgées, comme le soulignent **Luquet et Corrieu (2005)**. De plus, leur faible teneur en glucides les rend appropriés pour les personnes atteintes de diabète. Le tableau II présente la valeur nutritionnelle moyenne des fromages frais.

**Tableau II** : Valeur nutritionnelle moyenne des fromages frais (Richonnet, 2015) Valeur nutritionnelle moyenne des fromages frais (Richonnet, 2015)

<b>Constituants</b>	<b>Teneurs</b>
Eau (kcal/100g)	<b>79</b>
Energies (g/100g)	<b>118</b>
Glucides (g/100g)	<b>4</b>
Lipides (g/100g)	<b>17</b>
Acides gras saturés (AGS) (mg/100g)	<b>12</b>
Protéines (g/100g)	<b>9</b>
Sodium (mg/100g)	<b>520</b>
Calcium (mg/100g)	<b>95</b>
Phosphore (mg/100g)	<b>140</b>

# Partie expérimentale

Le présent travail a été entrepris dans le but d'élaborer un fromage frais enrichi avec les lentilles corails « *Lens culinaris* Medik » sous deux formes (torréfiée et non torréfiée) tout en évaluant les caractéristiques physicochimiques de la matrice végétale et du lait utilisés ainsi que les caractéristiques sensorielles du produit fini.

Les analyses réalisées comprenaient la mesure du pH et de l'acidité pour le lait , ainsi que la détermination des taux de protéines et de sucres pour les échantillons de lentilles utilisés. De plus, le taux de cendres a été spécifiquement estimé pour les lentilles. Par ailleurs, les composés bioactifs à savoir la vitamine C, les polyphénols totaux et les flavonoïdes ont été quantifiés, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante pour la matière végétale étudiée. Enfin, une analyse sensorielle descriptive a été réalisée pour évaluer les caractéristiques sensorielles du produit fini (fromage frais enrichie et non enrichie pour une meilleure comparaison). Ces analyses ont permis de mieux comprendre les propriétés physico-chimiques de la matrice végétale et du produit fini enrichie en lentilles, ainsi que d'évaluer sa perception sensorielle et son acceptabilité globale.

Notre expérimentation a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de Technologies Alimentaires du département des Sciences Alimentaires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université A. Mira de Bejaia.

### **III. Echantillons utilisés**

#### **III.1. Matériel végétal**

Les échantillons de légumineuses, d'une quantité d'environ 1 kg, ont été obtenus sur le marché commercial en avril 2023. L'échantillon de lentilles corail a été divisé en deux lots d'environ 500 g chacun. Le premier lot a été conservé à l'état frais, tandis que l'autre lot a été grillé à 200 °C sur une plaque chauffante pendant 10 minutes. Les deux échantillons (frais et grillé) ont ensuite été broyés à l'aide d'un moulin à café et tamisés avec un tamis de (0.45mm) pour obtenir une farine fine. La farine obtenue a été stockée dans des flacons en verre, protégés de la lumière et de l'humidité.

#### **III.2. Lait**

Le lait utilisé dans cette étude provient d'une vache bien nourrie et en bonne santé, provenant d'un particulier de la région Ait Smail. Le lait a été sélectionné en veillant à ce qu'il ne présente aucun signe de maladie.

### **III.3. Préparation du fromage frais enrichi**

Dans la présente investigation les fromages enrichis ont été préparés selon les étapes suivantes :

#### **❖ Préparation du fromage frais nature (base fromagère)**

La première étape de la préparation consiste à pasteuriser le lait à 93°C.

Quelques gouttes de présure ont été ajoutées pour chaque litre de lait, en agissant comme agent de coagulation. Ensuite, le mélange a été soigneusement remué pour assurer une répartition homogène de l'agent de coagulation. Le mélange a été laissé reposer pendant environ une heure, permettant à la présure de cailler le lait. Une fois que le caillé est bien formé, nous avons procédé à son égouttage. Le fromage a été ensuite placé dans un endroit frais pendant plusieurs heures, voire toute une nuit, afin de permettre l'égouttage complet.

#### **❖ Assaisonnement**

Après avoir égoutté le fromage et lui avoir donné une consistance ferme, nous avons procédé à son assaisonnement pour lui conférer une saveur délicieuse. Pour cela, nous avons ajouté les ingrédients suivants : du sel, des fines herbes de Provence et de l'ail. Afin d'optimiser le goût et de déterminer les proportions idéales, nous avons effectué plusieurs tests en procédant à des dégustations. Une fois assaisonné, le fromage est laissé à reposer pendant un certain temps, permettant ainsi aux saveurs de se développer et de s'intégrer harmonieusement.

#### **❖ Enrichissement avec les poudres de lentilles**

Dans le cadre de notre étude, nous avons entrepris d'explorer les possibilités d'enrichissement des fromages assaisonnés en utilisant des poudres de lentilles, qu'elles soient torréfiées ou non. Afin de trouver le dosage optimal de poudre de lentilles pour obtenir un équilibre harmonieux entre un goût délicieux et une texture agréable dans les fromages, nous avons procédé à des tests gustatifs. Grâce à ces derniers, nous avons déterminé les quantités et les proportions idéales de poudre de lentilles.

### **III.4. Analyses physico-chimiques**

#### **III.4.1. Potentiel hydrogène**

Le pH représente la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité en chimie d'une solution ou d'un milieu. Plus précisément, le pH mesure la concentration d'une solution aqueuse en ions oxonium  $H_3O^+$  (Gabriel, 2022).

Après avoir étalonné le pH mètre la sonde du pH mètre est directement introduite dans les échantillons, la valeur du pH est directement affichée sur l'écran de l'appareil (AFNOR, 1980).

### III.4.2. Acidité titrable

Il s'agit d'un titrage de l'acide lactique contenu dans l'échantillon à analyser par la solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0,01N). 2 à 3 gouttes de phénolphaléine sont ajoutées à l'échantillon à analyser (le produit fini ou le lait reconstitué), puis le contenu est titré par addition de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1mol à l'aide d'une burette jusqu'à l'apparition d'une couleur rose pâle persistante (AFNOR, 1999).

Les résultats sont exprimés en degré Dornic, Selon la formule suivante :

$$\text{Acidité} = X * V$$

V : représente le volume (ml) de la chute de la burette.

X : constante = 2.

### III.4.3. Détermination du taux de cendres

Les cendres totales sont déterminées par la méthode décrite par Wolff (1968). Elle consiste en l'incinération (dans un four à moufle) 400°C d'une prise d'essai, puis par calcul de la teneur en cendres des échantillons par rapport à la prise d'essai et au poids du résidu obtenu. Les résultats sont exprimés par rapport à 100g de lentilles non grillée. .

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$TC = (M1 - M2) * 100 / M0$$

Avec :

M0 : prise d'essai

M1 : masse de la nacelle avec le broyat

M2 : masse de la nacelle avec les cendres

### III.5. Dosage des sucres totaux

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment- là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 485nm (Dubois et al.1956).

- **Protocole**

Les sucres totaux sont déterminés selon le protocole de phénol-sulfurique décrit par (Dubois et al. 1956). Une masse d'échantillon (10g) est dissoute dans 200 ml d'éthanol (80%), Le mélange est

soumis à une agitation pendant 2 h. Après filtration le filtrat est récupéré, 1mL du filtrat est ajouté à 1 ml de phénol (5%) et à 5mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La solution obtenue est agitée instantanément 25°C pendant 20 mn, une coloration jaune apparait, la lecture est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-Visible) à une longueur d'onde de  $\lambda=485$  nm. L'expression des teneurs en sucres solubles a été obtenue à partir de l'équivalence du standard (glucose) en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe 01)

### **III.6. Dosage des protéines**

Ce dosage consiste à mettre en contact un colorant appelé bleu de Coomassie (Coomassie Brilliant Blue G-250) avec l'échantillon de protéines à doser. Le bleu de Coomassie à l'état anionique est rouge et présente un maximum d'absorption à 465 nm. Après mélange entre le colorant et les protéines, un complexe se crée au niveau des chaînes latérales basiques et aromatiques des acides aminés et le bleu de Coomassie est visible sous sa forme cationique de couleur bleue, avec un maximum d'absorption à 595 nm.

L'intensité de la coloration bleue est proportionnelle à la quantité de protéines présentes dans l'échantillon. (**Bradford, 1976; Krohn, 2011**).

Protocole :

Prendre 0.5ml d'extrait ajoute a 2 ml de réactif de Bradford puis agiter au vortex après le laisser incubée a l'obscurité pendant 2 min a une température ambiante. La lecture est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-Visible) à une longueur d'onde de  $\lambda=595$  nm

La teneur en protéines est déterminée par mg BSA/100gMS EN réfèrent a une courbe d'étalonnage réalisée avec la BSA. (Annexe)

### **III.7. Tests préliminaires**

Des tests phytochimiques sont effectués sur les poudres de lentille torréfiée et non torréfiée pour la détermination préliminaire de la nature de chaque métabolite secondaire qu'elles contiennent. Ces tests sont des analyses qualitatives basées sur les réactions colorantes et/ou de précipitation.

Après 15 minutes, pour chaque test, les résultats ont été exprimés ainsi :

(+++): Précipité abondante, (++) : Précipitations actuelles et (-) : Précipitations absentes.

- **Identification des *iridoïdes***

Pour la détection des iridoïdes, quelques gouttes d'acide chlorhydrique sont ajoutées à 2 ml d'extrait, puis le mélange est chauffé sur une plaque chauffante. La présence d'iridoïdes est révélée par l'apparition d'une couleur bleue.

- **Détection des saponosides (ou saponines)**

Une quantité de 100 mg de poudre végétale a été mélangée avec 40 ml d'eau distillée, puis la suspension a été agitée pendant 15 minutes. La présence de saponosides est indiquée par la formation d'une couche de mousse d'une épaisseur de 2 cm (**Obouayeba et al., 2015**).

- **compose réducteurs**

1 ml d'extrait a été ajouté à un tube à essai, suivi de l'ajout de 2 ml de liqueur de Fehling (1 ml de réactif A et 1 ml de réactif B). L'ensemble a été incubé pendant 8 minutes dans un bain-marie réglé à 100°C. La présence d'un précipité rouge brique correspond à la présence de composés réducteurs.

- **Identification des anthocyanines**

En ajoutant quelques gouttes d'HCL à 5 ml d'extrait, une réaction se produit, entraînant une coloration rouge en présence d'anthocyanines (**Obouayeba et al., 2015**).

- **Identification d'amidon**

Quelques gouttes de solution d'iode (I<sub>2</sub>) ont été ajoutées à 2 g de poudre végétale. Une réaction positive se manifeste par l'apparition d'une couleur bleu-violet.

- **Identification des terpenoïdes**

Une quantité de 5 ml d'extrait a été additionnée à 2 ml de chloroforme et de 3 ml d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases distinctes et à une coloration marron à l'interface. indique la présence de terpenoïdes (**Obouayeba et al., 2015**).

## III.8. Dosage des antioxydants

### III8.1. Extraction des antioxydants

L'extraction des antioxydants a été effectuée par la méthode de **Benmeziane-Derradja et al. (2018)** avec quelques modifications. L'extraction est faite par macération de 10 g d'échantillon

dans 200 ml d'éthanol 80% pendant 40 min, suivie d'une filtration afin de récupérer les extraits éthanoliques puis conserver à froid jusqu'au moment de l'utilisation.

### **III.8.2 Dosage des composés phénoliques totaux**

Le dosage des phénols totaux dans les extraits de farines de lentille rouge a été déterminée par une méthode colorimétrique à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu (**Singleton et al., 1999**), puisqu'elle est considérée parmi les meilleures méthodes de quantification des phénols totaux des extraits de plantes (**Robards, 2003**).

La teneur en composés phénoliques a été déterminée selon la méthode décrite par **Velioglu et al. (1998)**. 0,2 ml de l'échantillon sont mélangés avec 1,5 ml du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué au 1/10). Après 3 min, 1,5 ml de carbonate de sodium (6%) sont additionnés. L'absorbance est mesurée à 760 nm après 30 min d'incubation. La teneur en composés phénoliques est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par 100 g de Matière Sèche (mg EAG/100 g MS) par référence à une courbe d'étalonnage.

### **III.8.3. Dosage des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique de **Lamaison et Carnat (1991) rapportée par Bahorun et al. (1996)**. 1ml de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ , 2%) est additionné à 1 ml de l'échantillon. Après incubation pendant 15 min à l'obscurité et à température ambiante, les absorbances des échantillons sont lues au spectrophotomètre à 430 nm. Les résultats sont rapportés en mg équivalent de Quercitane par 100 g Matière Sèche (mg EQ/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe).

### **III.8.4. Dosage de la vitamine C**

La teneur en vitamine C a été déterminée selon la méthode décrite par **Mau et al. (2005)**. Un volume de 5 ml d'extrait est mélangé avec 5 ml d'acide oxalique (0,4%), Après agitation pendant 5 min le mélange est centrifugé à 4500T/15 min.

0,5ml du surnageant sont mélangés avec 2,5ml de DCPIP (2,6-dichlorophénolindophénol). L'absorbance est mesurée à 515 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide ascorbique par 100g de Matière Sèche (mg EAA/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage.

## **III.9. Evaluation du pouvoir antioxydant**

### **III.9.1. Pouvoir réducteur**

Le pouvoir réducteur a été déterminé selon la méthode décrite par **Oyaizu (1986) rapportée par Kumar et al. (2005)**, Un volume de 1ml de l'échantillon est ajouté à 2,5 ml de tampon



phosphate (pH 6,6 ; à 0,2 M), suivi de 2,5ml de Ferricyanure de Potassium à 1% et après agitation, le mélange est soumis à l'incubation à 50°C pendant 20 min.

2,5 ml d'acide trichloracétique à 10% sont additionnés au mélange puis centrifuger et un volume de 2,5 ml du surnageant est ajouté à 0,5 ml de chlorure ferrique à (0,1%). L'absorbance est lue à 700 nm.

Le pouvoir réducteur des extraits est exprimé en mg équivalent d'acide ascorbique par 100 g de Matière sèche (mg EAA/100 g de MS)

### **III.9.2. Activité anti-radicalaire**

L'activité anti-radicalaire des extraits est déterminée par une méthode basée sur la réduction du radical diphényl picryl-hydrazyl (DPPH°), suite à un transfert d'hydrogène qui provient des différents antioxydants qui se trouve dans le milieu réactionnel. La réaction de réduction du DPPH° provoque la diminution de l'intensité de la couleur violette qui est mesurée par un spectrophotomètre à 515 nm (**Guimarães et al., 2010**).

Le protocole utilisé dans cette méthode est celui de **Milardović et al. (2006)**, Il consiste à mélanger 2,9 ml de la solution DPPH° avec 0,1 ml de l'échantillon ; la mesure de la réaction de réduction de la solution du DPPH° a été faite à 515 nm après incubation de 30 min. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide ascorbique par 100g de Matière sèche (mg EAA/100g de MS) en référant à une courbe d'étalonnage.

$$\% \text{ inhibition du DPPH}^\circ = (\text{Abs contr} - \text{Abs ech} / \text{Abs contr}) 100$$

Avec:

**Abs contr** : Absorbance du contrôle

**Abs ech** : Absorbance d'échantillon

## **III.10. Evaluation des propriétés fonctionnelles**

### **III.10.1. capacité d'absorption de l'eau (CAE)**

La capacité d'absorption de l'eau peut influencer la texture, la stabilité et les caractéristiques sensorielles du fromage. En connaissant cette capacité, il est possible d'ajuster les proportions des lentilles utilisées et d'optimiser la formulation du fromage pour obtenir les propriétés souhaitées.

La méthode de **Diomande et al. (2017)** est utilisée pour estimer la CAE. Une quantité de farine de d'échantillon a été mesurée et placée dans des tubes de centrifugation. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses ont été enregistrées. Ensuite, un volume d'eau distillée a été ajouté à chaque tube, suivi d'une agitation pendant 30 min. Par la suite, les tubes ont

été centrifugés pendant 35 min à 4000 tr/min. Le surnageant de chaque tube a été versé et les nouvelles masses ont été notées. La formule suivante a été utilisée pour calculer la capacité d'absorption d'eau de l'échantillon :

$$CAE = (Me' - Me) \times 100 / PE$$

Avec :

Me : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation (g)

Me' : Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation (g)

PE : Prise d'essai (g).

### **III.11. Evaluation sensorielle**

L'évaluation sensorielle permet d'étudier les caractéristiques sensorielles des produits en faisant intervenir l'homme comme instrument de mesure à partir de ses cinq sens : l'odorat, le goût, la vue, l'audition et le toucher. Elle permet d'étudier différents problèmes ou de répondre à diverses questions posées par le fabricant, elle est utilisée dans de nombreux domaines (**Totie, 2008**).

Cette mesure est réalisée par un panel de sujets experts sensoriels, préalablement sélectionnés et entraînés, qui vont évaluer les produits de façon objective et répétable (**Bauer et al., 2010 ; Urvoy et al., 2012**).

L'évaluation sensorielle a été effectuée au laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia, pour 10 jurys experts. Quatre échantillons ont été proposés lors de notre analyse : fromage A (nature), fromage B (assaisonné non enrichi), fromage C (assaisonné enrichi avec de la poudre de lentille non torréfiée) et fromage D (assaisonné enrichi avec de la poudre de lentille torréfiée).

Dans la présente étude l'analyse sensorielle (ou descriptive) des échantillons étudiés implique la dégustation et l'évaluation des caractéristiques sensorielles par un panel d'experts. Les échantillons préparés selon les différentes formulations A, B, C et D, sont présentés de manière anonyme aux membres du jury. Chaque évaluateur, formé à la dégustation sensorielle, évalue les échantillons en utilisant ses sens pour observer l'apparence, l'arôme, la saveur, la texture et d'autres attributs pertinents en répondant au questionnaire qui leur est présenté. Les réponses des évaluateurs sont ensuite compilées et analysées pour déterminer les différences significatives entre les formulations et pour identifier les préférences des évaluateurs. Cette analyse sensorielle fournit des informations précieuses pour comprendre la perception des caractéristiques sensorielles des

échantillons et aide à prendre des décisions éclairées concernant le développement ou l'amélioration des produits.

### **III.11.1. Analyse statistique**

Les moyennes et les écarts types sont calculés à partir de trois essais avec Excel de Microsoft Office 2007. Une analyse statistique est faite par l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur pour les différents tests, avec STATISTICA .7. Les résultats de l'analyse statistique sont traités par le logiciel XL-STAT

Résultats  
et  
discussion

---

**Résultats et Discussion****IV. Paramètres physico-chimiques du lait****IV.1. Potentiel hydrogène et l'acidité titrable**

Le pH est un paramètre déterminant l'aptitude des aliments à être conservés, le pH représente la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité en chimie d'une solution ou d'un milieu. Plus précisément, le pH mesure la concentration d'une solution aqueuse en ions oxonium  $H_3O^+$  (Gabriel, 2022). Le lait frais contient très peu d'acides et pas d'acide lactique provenant de la transformation du lactose par les bactéries lactiques. L'augmentation de l'acidité provient donc d'un développement important de la flore lactique influencé par la température et la durée de conservation du lait (Guiraud et Dunod, 1998).

Les résultats du pH et de l'acidité de l'échantillon de lait étudié sont présentés dans le tableau III.

**Tableau III:** acidité du lait obtenue

Paramètres	Valeurs
pH	6,62 ± 0,01
Acidité	14D° ± 0,02

Les valeurs du pH et de l'acidité revêtent une importance primordiale, car elles fournissent des informations essentielles sur l'état chimique et la fraîcheur du lait, ce qui peut avoir un impact sur sa qualité et sa stabilité. Une acidité plus élevée peut être le signe d'un lait en train de se détériorer en raison de la présence de microorganismes indésirables. Il est donc essentiel de contrôler l'acidité du lait, notamment dans notre cas où nous visons la production de fromage, car cela peut influencer la qualité et les caractéristiques finales du produit.

Selon Seydi (2004), le pH du lait cru se situe généralement entre 6,6 et 6,8 et reste stable pendant une période prolongée. Dans notre étude, le pH mesuré du lait se situe dans cet intervalle, ce qui indique que le lait est en bon état. Toutefois, il convient de noter que le pH peut diminuer progressivement en raison de l'activité des bactéries lactiques présentes dans le lait.

En ce qui concerne l'acidité, nos résultats ont montré une acidité de 14°Dornic. Selon Luquet (1985), l'acidité titrable du lait de vache varie entre 14° et 18°D. Ces résultats indiquent que le lait utilisé est frais et n'a pas subi de modifications microbiologiques significatives. Cela suggère que le lait a été manipulé et stocké de manière adéquate, préservant ainsi son état d'origine.

## IV.2. Caractérisation phytochimique des échantillons de lentilles

### IV.2.1. Tests préliminaires

Les tests préliminaires de criblage phytochimique ont été réalisés afin de détecter différentes classes de principes bioactifs présents dans l'échantillon étudié. Dans notre étude, le criblage phytochimique a révélé la présence de saponosides de terpénoïdes et d'amidon. Cependant, nous n'avons pas détecté la présence d'irridoïdes, de saponosides, de composés réducteurs et d'anthocyanes. Ces résultats sont présentés dans le tableau IV.

Il est intéressant de noter que ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Benmeziane-Derradji *et al.* (2020)**, ce qui suggère une cohérence dans les compositions chimiques des échantillons. Cela peut être dû à des facteurs tels que l'origine géographique des échantillons issus de l'Algérie (mêmes conditions climatiques).

**Tableau IV** :Caractérisation phytochimique des extraits de farine de lentille grilles et non grilles

Composé/ farine	FLRNG	FLRG
Irredoïdes	-	-
Saponoside	++	+
Composé réducteur	-	-
Térpenoïdes	++	+
Anthocyane	-	-
Amidon	+++	++

(-) : Absence ; (++) : Présence ; (+++) : Abondance. **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées.

### IV.3. Taux de cendre

Le taux de cendre est un paramètre utilisé pour déterminer le pourcentage ou la quantité de cendre présente dans 100 g de lentilles. Selon **Wang et Daun (2006)**, le taux de cendre de lentilles est de 3 %.

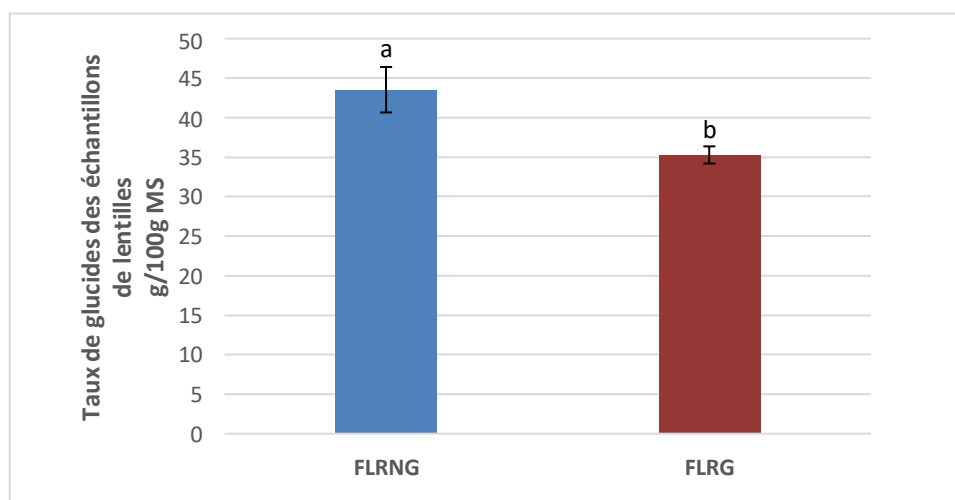
Dans notre étude, nous avons obtenu un pourcentage de cendre de **2,26 %** (soit **2,26 g/100 g de lentilles non grillée**). Ces résultats sont donc assez similaires à ceux obtenus par les auteurs cités ci-dessus. Ces résultats indiquent que notre échantillon de lentilles présente un taux de cendre

proche de la norme établie dans la littérature. Cela suggère que notre échantillon de lentilles n'a pas subi de modifications significatives en termes de composition minérale, ce qui est important pour évaluer la qualité des lentilles et leur valeur nutritionnelle.

#### IV.4. Teneurs en sucres totaux

La méthode utilisée pour doser les sucres totaux est celle décrite par **Dubois *et al.* (1956)**. La figure 5 met en évidence les différences de teneurs en sucres totaux entre la farine de lentilles non grillées (FLRNG) et la farine de lentilles grillées (FLRG). Une quantité plus élevée de sucres totaux a été enregistrée dans la FLRNG (43,53 mg/100gMS) par rapport à la FLRG (35,27 mg/100gMS). Ces résultats suggèrent que le traitement thermique par la grillade a un effet sur la teneur en glucides.

Des résultats similaires ont été trouvés par **Zhou *et al.* (2013)** concernant la teneur en glucides des lentilles, ainsi que par **Rio (2017)** pour ce qui concerne la teneur en glucides après un traitement thermique. Ces références confirment l'impact du traitement thermique sur la teneur en glucides des lentilles et renforcent les résultats obtenus dans notre étude.



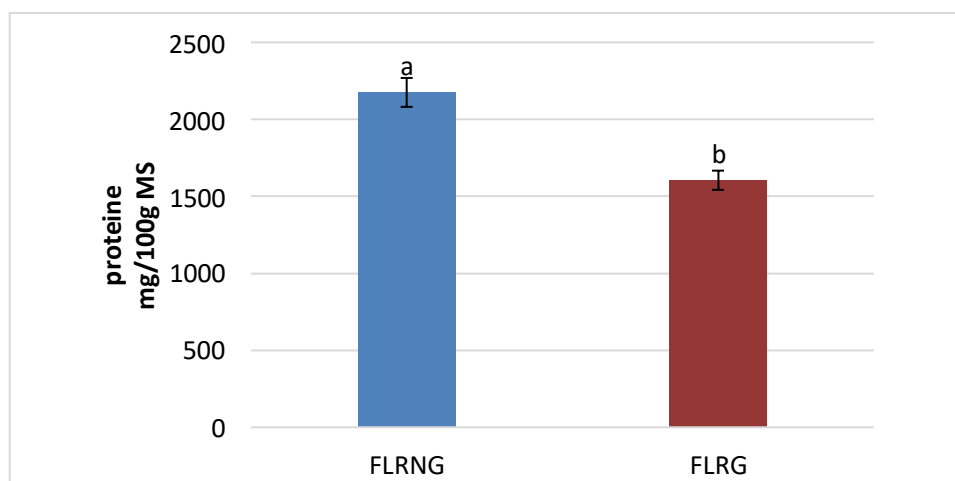
**Figure 5:** Teneur en glucides des farines de lentilles étudiées

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) : a > b. **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

#### IV.5. Teneurs en protéines

La méthode utilisée pour déterminer la teneur en protéines est celle décrite par **Bradford (1976)**. La figure 6 illustre les différences de teneur en protéines entre la farine de lentilles non grillées (FLRNG) et la farine de lentilles grillées (FLRG). Une quantité plus élevée de protéines a

été enregistrée dans la FLRNG (2175,22 mg/100gMS) par rapport à la FLRG (1605,27 mg/100gMS). Ces résultats suggèrent que le traitement thermique par la grillade a un effet sur la teneur en protéines.



**Figure 6:** Teneur en protéine des farines de lentilles étudiées.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) :  $a > b$ . **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

Des résultats similaires ont été trouvés par **Ndife et al. (2011)** concernant la teneur en protéines des lentilles sans aucun traitement, ainsi que par **Rio (2017)** pour ce qui concerne la teneur en protéines après un traitement thermique. Ces références confirment l'impact du traitement thermique sur la teneur en protéines des lentilles et renforcent les résultats obtenus dans notre étude.

## IV.6. Propriété fonctionnelle :

### IV.6.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

L'analyse de la capacité d'absorption d'eau de la farine de lentille présente un intérêt particulier dans le cadre de l'élaboration du fromage frais, car elle impacte diverses propriétés fonctionnelles et détermine la qualité sensorielle, notamment la texture des produits alimentaires. De plus, l'utilisation des farines en tant qu'ingrédients alimentaires dépend grandement de leur interaction avec l'eau.

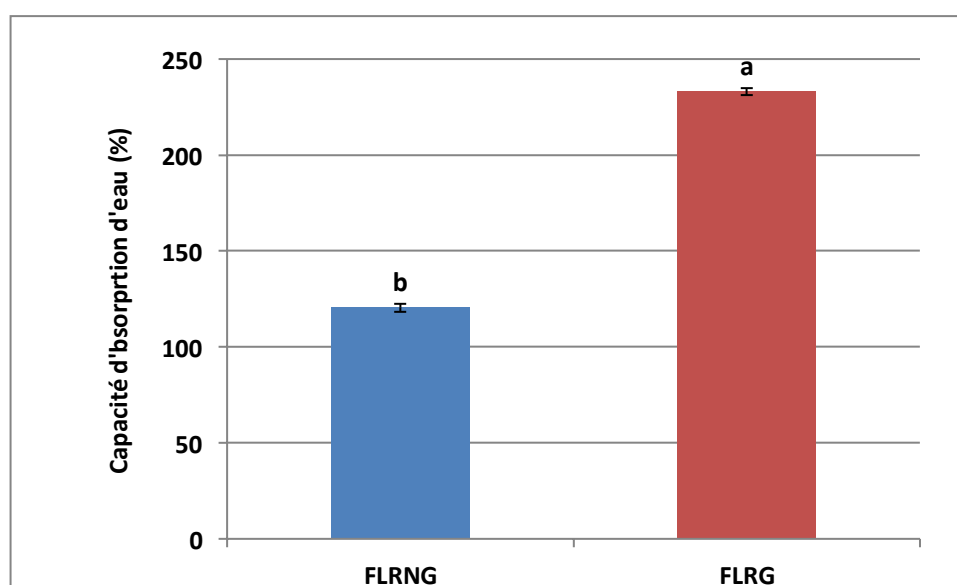
Les résultats de l'analyse statistique de la capacité d'absorption d'eau (CAE) des farines ont révélé des variations significatives ( $p < 0,05$ ). La farine de lentille grillée (FLRG) a montré la CAE



la plus élevée, avec un taux de 233%, tandis que la farine de lentille non grillée (FLRNG) a enregistré un taux de 120.3% (figure7).

Selon **Benmeziane-Derradji et al. (2020)**, la capacité d'absorption d'eau (CAE) est directement liée à la présence de composants hygroscopiques dans les farines, en particulier les protéines qui possèdent des groupes hydrophiles tels que  $:=CO$  et  $-NH-$ , le traitement thermique, tel que la torréfaction, améliore significativement la CAE en dénaturant les protéines et en augmentant le nombre de sites de liaison pour l'eau.

Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par les mêmes auteurs cités ci-dessus qui ont également observé une augmentation significative de la CAE des farines de lentille après traitement thermique.



**Figure 7** :Capacité d'absorption d'eau des lentilles rouge torréfiées et non torréfiées  
Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) : a > b. **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

## IV.7. Teneurs en antioxydants

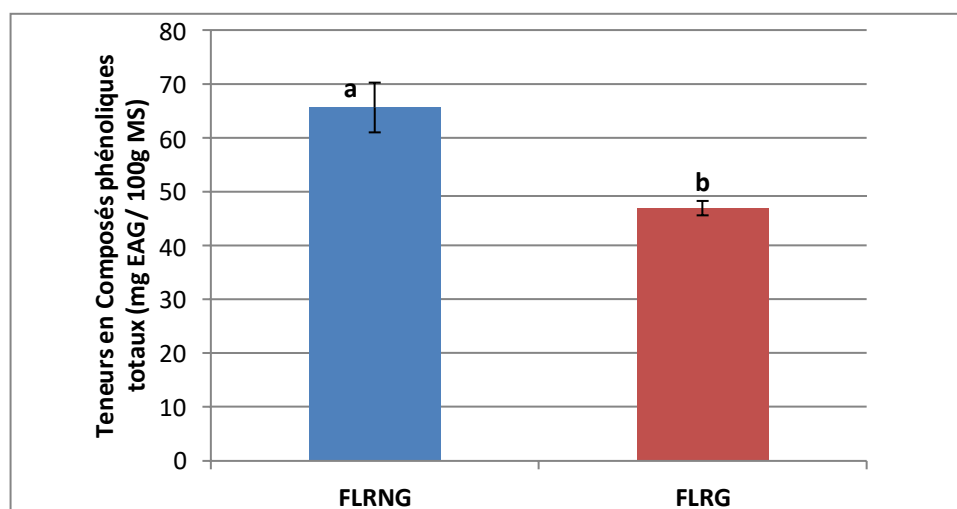
### IV.7.1. Composés phénoliques totaux

Les composés phénoliques sont largement répandus dans toutes les parties des plantes, ce qui en fait des ingrédients importants dans notre alimentation. Ces dernières années, l'intérêt pour les phénols alimentaires a considérablement augmenté en raison de leurs propriétés antioxydantes et de leur capacité à neutraliser les radicaux libres. En plus de leurs effets

bénéfiques sur la santé, tels que la prévention des maladies cardiovasculaires, le traitement du cancer et d'autres affections, ils offrent une gamme d'avantages potentiels pour notre bien-être global (**Bravo, 1998**).

Les résultats de la figure 8 indiquent une différence significative de la teneur en polyphénols totaux (PPT) entre la farine de lentilles non torréfiée (FLRNG) et la farine de lentilles torréfiée (FLRG). Une quantité plus élevée de polyphénols totaux a été enregistrée dans la FLRNG (65,59 mg EAG/100gMS) par rapport à la FLRG (46,90 mg EAG/100gMS).

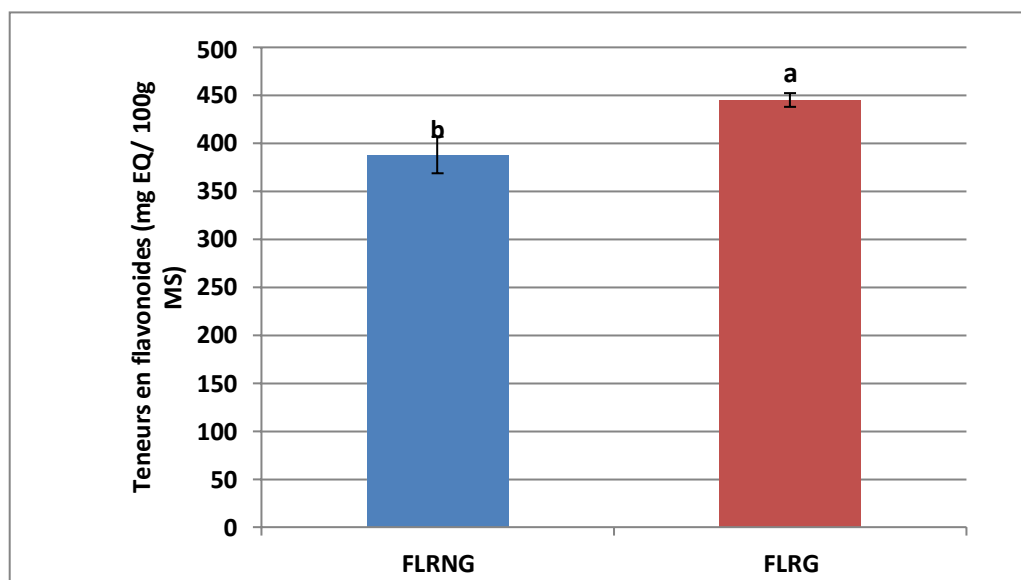
La durée du traitement de torréfaction peut expliquer cette situation, car elle peut entraîner une libération initiale des polyphénols à partir de leurs cellules de stockage, suivie de leur dégradation. Cela suggère que les composés phénoliques présents dans la farine de lentilles sont sensibles à la chaleur **Benmeziane-Derradji et al. (2020)**.



**Figure 8:** Teneurs en polyphénols des extraits de farines de lentilles étudiées. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) : a > b. **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

#### IV.7.2. Flavonoïdes

La figure 9 présente les teneurs en flavonoïdes de la farine de lentilles grillée (FLRNG) et non grillée (FLRG). On observe une teneur remarquablement plus élevée chez les FLRG (445,12 mg EQ/100g MS) par rapport aux FLRNG (387,78 mg EQ/100g MS).



**Figure 9:** Teneurs en flavonoïdes des extraits de farines de lentilles étudiée

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) :  $a > b$ . **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

L'augmentation significative ( $p < 0,05$ ) du taux de flavonoïdes après torréfaction peut s'expliquer par la libération de certains flavonoïdes liés ou la formation de flavonoïdes induite par la chaleur.

Ces observations sont cohérentes avec les résultats de **Benmezziane et al. (2020)**, qui ont étudié l'effet de la torréfaction sur la teneur en flavonoïdes des lentilles noires. Leur étude a également montré une augmentation de la teneur en flavonoïdes après traitement thermique, confirmant ainsi le principe observé dans notre étude sur les lentilles utilisées.

Ces résultats mettent en évidence l'impact du traitement thermique sur la teneur en flavonoïdes des lentilles et soulignent l'intérêt de la torréfaction pour augmenter la teneur en ces composés bénéfiques dans les produits à base de lentilles.

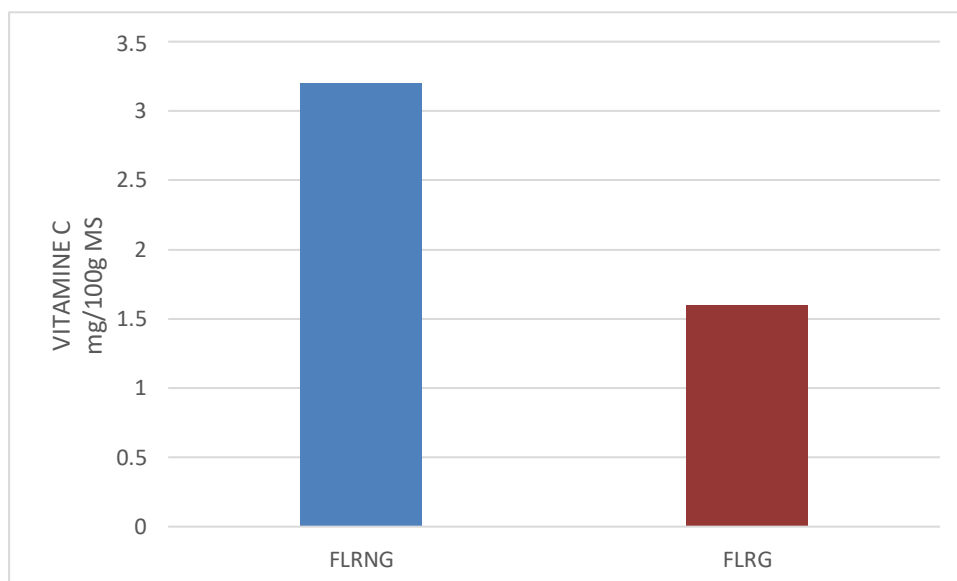
#### IV.8. Dosage des vitamines c

Ce dosage consiste à déterminer la teneur en vitamine c selon la méthode décrite par **Mau et al. (2005)**

La figure 16 nous montre une différence de teneurs en vitamine c entre la FLRNG et la FLRG. On a enregistré une teneur dans les FLRNG (3.2mg/100g MS) contre une teneur chez les FLRG (1.6mg /100g MS)

D'après la figure la torréfaction a un impact positif sur la teneur en vitamine c.

Des résultats similaires sont trouvés par **D., Bhat et.al (2017)**



**Figure16** : teneur en vitamine c des farine de lentilles étudiées

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ )

**FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

## IV.9. Activité Antioxydante

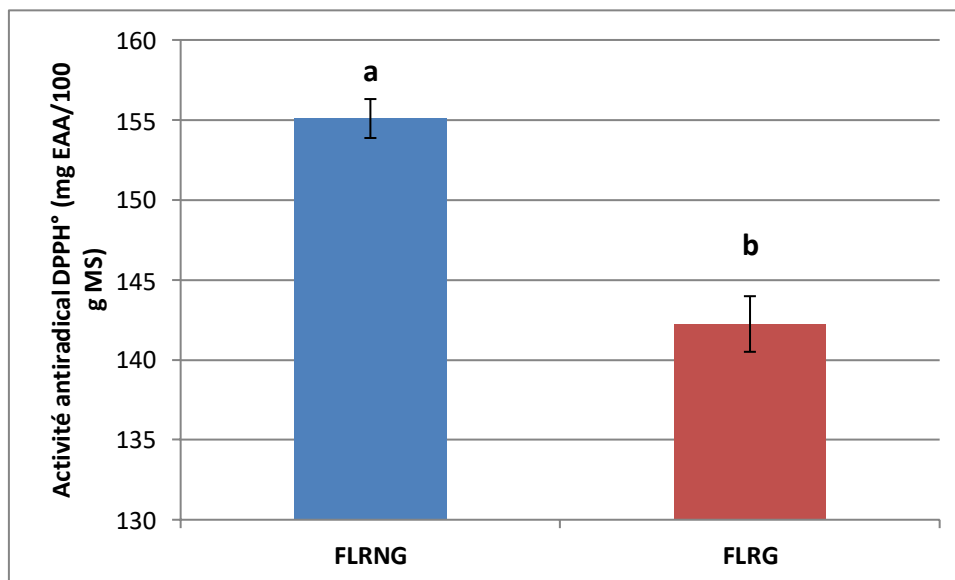
### IV.9.1. Activité radicalaire DPPH°

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer l'activité antioxydante des composés naturels dans les systèmes alimentaires ou biologiques.

Le radical DPPH° est l'un des tests les plus couramment utilisés pour évaluer rapidement et directement l'activité antioxydante en raison de sa stabilité sous forme radicalaire et de la simplicité de l'analyse (**Bozin et al., 2008**).

Les résultats de l'expérience concernant l'efficacité antiradicalaire du DPPH° sont présentés dans la figure 10. Les résultats obtenus indiquent de manière significative ( $p < 0,05$ ) que la torréfaction a un effet notable sur l'activité antiradicalaire du DPPH°. L'activité a diminué de 8,28% pour les FLRNG, passant de 155,08 mg EAA/100 g MS à 142,23 mg EAA/100 g MS pour

les FLRG. Cette diminution peut être attribuée à la dégradation des polyphénols, qui jouent un rôle important dans la capacité de piégeage des radicaux.



**Figure 10:** Activité anti radicalaire des extraits de farines de lentilles étudiées

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) :  $a > b$ . **FLRNG** : farine de lentille rouge non grillée, **FLRG** : farine de lentille rouge grillée.

Des résultats similaires ont été observés par **Faller et Fialho (2009)**, qui ont enregistré une diminution de l'activité antiradicalaire de certains légumes après la grillade, en raison de la dégradation des composés antioxydants induite par la chaleur.

Ces résultats soulignent l'impact de la torréfaction sur l'activité antioxydante des lentilles et mettent en évidence l'importance des composés polyphénoliques dans cette activité. Ils confirment également les observations antérieures sur d'autres légumes soumis à un traitement thermique.

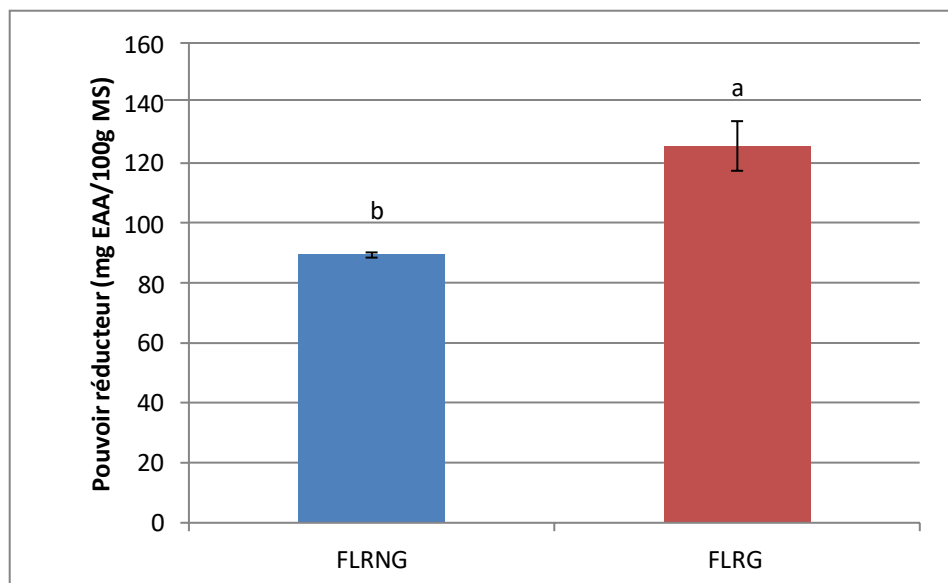
#### IV.9.2. Pouvoir réducteur

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation en libérant des électrons (**Popovici et al., 2009**) et peut être exprimée par son pouvoir de réduction des radicaux libres.

Les résultats de l'expérience concernant l'efficacité du pouvoir réducteur ont été présentés dans la figure 11. Les résultats obtenus indiquent de manière significative ( $p < 0,05$ ) que la torréfaction a un effet notable sur le pouvoir réducteur. L'activité de FLRG est d'environ 125,67

mg EAA/100g MS, tandis que FLRNG elle est d'environ 89,29 mg EAA/100g MS, ce qui représente une augmentation de 28,94% après torréfaction. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus pour les flavonoïdes.

Selon les travaux de **Fine et al. (2000)** et **Kolodziej et al. (2001)**, les flavonoïdes sont réputés pour leur activité inhibitrice des radicaux libres et leur capacité antioxydante. Cela explique le niveau plus élevé du pouvoir réducteur observé dans les extraits de FLRG, étant donné leur teneur supérieure en flavonoïdes par rapport aux extraits de FLRNG.



**Figure 11:** Pouvoir réducteur des farines de lentilles étudiées

*Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) :  $a > b$ . FLRNG : farine de lentille rouge non grillée, FLRG : farine de lentille rouge grillée.*

## 4. Analyse sensorielle

### 4.1 Fromage à base de lentille

#### 4.1.1 Plan d'expérience

L'objectif principal de ce test est de créer un plan d'expériences optimal, ou quasi optimal, dans le cadre d'expériences visant à modéliser les préférences d'un ensemble de consommateurs ou d'experts pour différents produits (**Perinel et Pages, 2004**). Il sert à valider les données de l'analyse sensorielle.

Une fois les données brutes des jurys experts sont rapportées sur le logiciel, la procédure de génération d'un plan d'expériences est lancée. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant (tableau X)

**TableauX:** Evaluation du plan d'expérience pour les jurys experts

<b>A-Efficacité</b>	<b>1,000</b>
<b>D-Efficacité</b>	<b>1,000</b>

Après la génération du plan d'expérience pour l'analyse sensorielle, nous remarquons que les valeurs des deux critères A- Efficacité et D- Efficacité sont affichées, cela implique qu'un plan optimal pour les résultats des membres de jury expert a été trouvé.

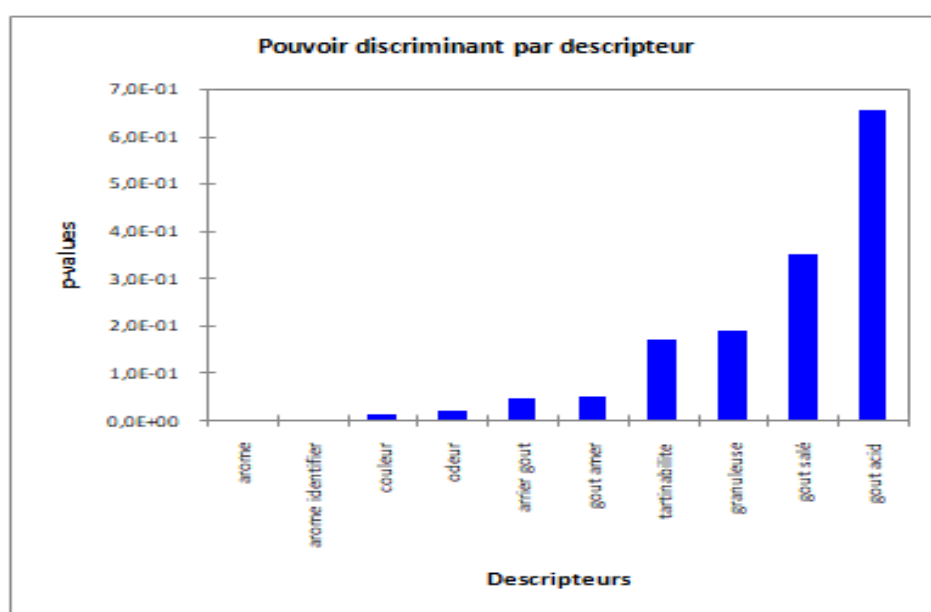
Les données obtenues sont acceptables et le plan d'expériences est ré solvable ; ce qui nous permet d'effectuer les autres tests pour les échantillons de la crème dessert à base de pulpe avec le logiciel XLSTAT-MX à savoir : caractérisation des produits, analyse des pénalités, analyse proustienne généralisée et cartographie externe des préférences

### 4.1.2 Caractérisation des produits

Cette analyse permet de caractériser rapidement des produits en fonction des préférences des juges, donc il s'agit d'identifier les descripteurs qui discriminent le mieux les produits et de déterminer les caractéristiques importantes de ces derniers, dans le cadre de l'analyse sensorielle (Husson et al., 2009).

#### 4.1.2.1 Pouvoir discriminant par descripteur

Ce présent test permet d'afficher les descripteurs ordonnés de celui qui a le plus fort pouvoir discriminant sur les produits à celui qui a le plus faible. La figure 12 suivante montre le résultat obtenu pour le pouvoir discriminant par descripteur :



**Figure 1 :** Pouvoir discriminant par descripteur

Les résultats illustrés dans La figure 12 rassemblent les descripteurs ordonnés du plus discriminant au moins discriminant pour les échantillons de fromage.

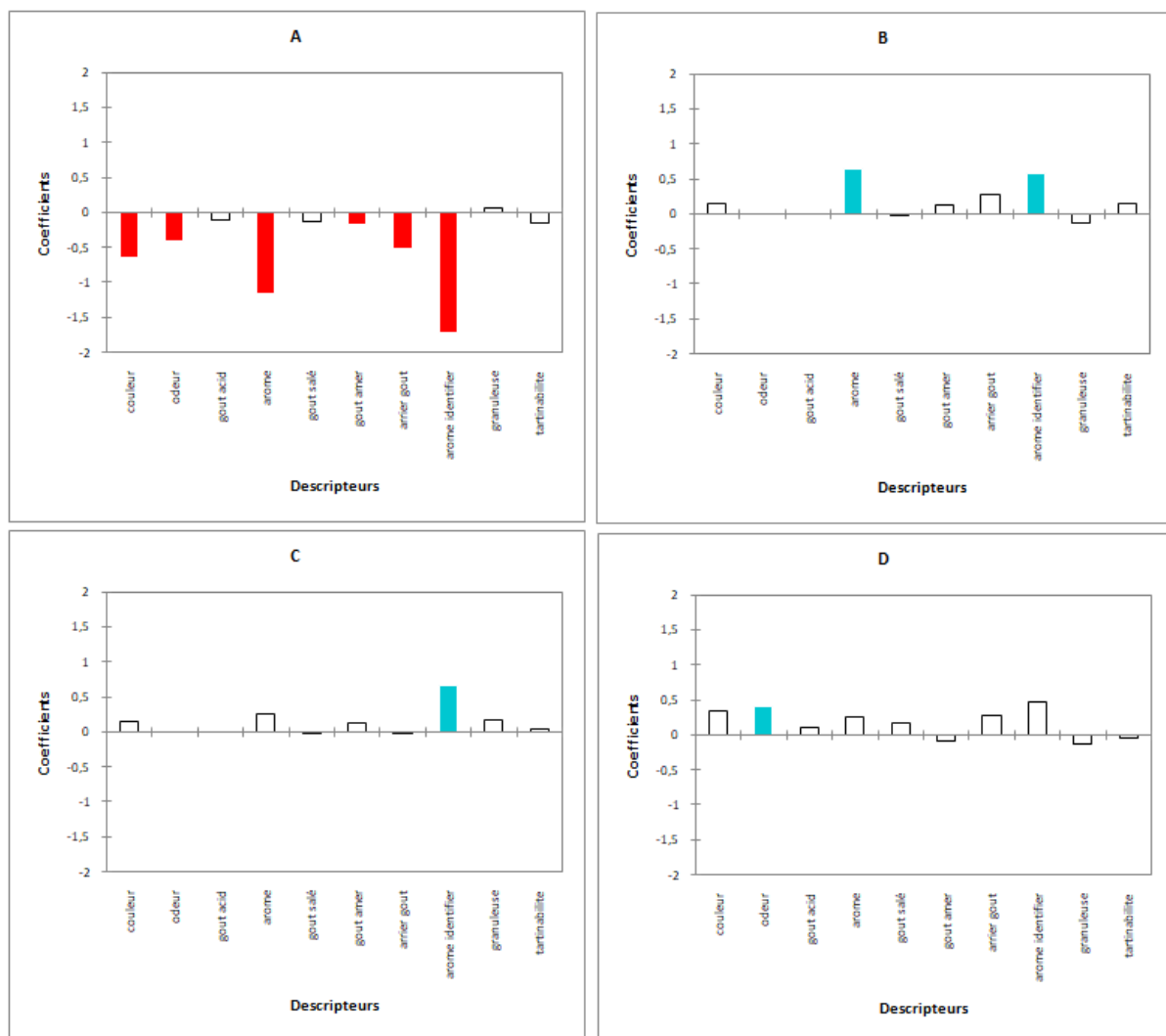
D'après la figure 12 on note que l'arome est le descripteur le plus discriminant. C'est à dire que les experts ont constatés des différences entre l'arome des échantillons ; Concernant les descripteurs suivants : Couleur odeur texture tartinabilité gout (amer, salé et acide) et arrière gout présentent un pouvoir discriminant faible, cependant le descripteur gout acide est celui qui a le pouvoir discriminant le plus faible. Donc, on déduit que les experts n'ont pas constatés des divergences entre les descripteurs des échantillons. Les p-values associées montrent toutes un effet significatif du descripteur (voir tableau en annexe 2). D'une manière générale on déduit que les échantillons de fromage ont des descripteurs différents qui les distinguent les uns par rapport aux autres.

### **4.1.2.2 Coefficients des modèles**

Ce test permet d'afficher, pour chaque descripteur et pour chaque produit, les coefficients du modèle sélectionné. Les résultats sont regroupés dans la figure 13

Les résultats illustrés dans la figure 13 permettent de définir l'appréciation ou le non appréciation des descripteurs des échantillons par les jurys experts.





**Figure 2: Coefficients des modèles des échantillons de fromages**

- Pour l'échantillon A : la figure 13 montre que la couleur présentée en rouge, est une caractéristique non appréciée par tous les jurys et en blanc celles que les membres de jurys ne sont pas arrivés à les détecter. Ce qui nous amène à conclure que l'échantillon de fromage A présente une couleur, une odeur et l'arôme non appréciable ;
- Pour l'échantillon B : la figure 13 indique que le gout acide et l'arôme identifié, présentés en bleu, sont les caractéristiques détectées de la part des membres de jurys, c'est-à-dire que le descripteur le gout acide et l'arôme identifié de l'échantillon B est apprécié par l'ensemble des jurys experts. En blanc, sont affichées les caractéristiques du produit qui ne sont pas détectées par les jurys. Donc en résumé, l'échantillon de fromage B est caractérisé par le gout acide et l'arôme identifié agréable et marqué;
- Concernant l'échantillon C ; la figure 13 indique que l'arôme identifié, présenté en bleu, est la seule caractéristique détectée de la part des membres de jurys, c'est-à-dire que le descripteur l'arôme identifié, de l'échantillon C est apprécié par l'ensemble des jurys experts.

En blanc, sont affichées les caractéristiques du produit qui ne sont pas détectées par les jurys. Donc en résumé, l'échantillon de fromage C est caractérisé par un arôme identifié agréable.

•  
Concernant l'échantillon D ; la figure 13 indique que l'odeur, présenté en bleu, est la caractéristique détectée de la part des membres de jurys, c'est-à-dire que le descripteur odeur de l'échantillon D est apprécié par l'ensemble des jurys experts. En blanc, sont affichées les caractéristiques du produit qui ne sont pas détectées par les jurys. Donc en résumé, l'échantillon de fromage D est caractérisé par une odeur appréciée.

C

### **Moyennes ajustées par produit (numérotation)**

L'objectif de ce test est de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit. Les résultats des moyennes ajustées par produit sont représentés dans le (tableau en annexe 2). Le tableau des moyennes ajustées par produit permet de faire ressortir les moyennes, quand les différents produits et les caractéristiques sont croisés. Les cellules en bleu sont les moyennes qui sont significativement plus grandes que la moyenne globale, et en rouge celles qui sont significativement plus petites que la moyenne globale.

Pour l'échantillon D, le descripteur odeur présente un effet significativement positif sur le produit ; Concernant le produit C, il est caractérisé par un arôme identifié fort. Ainsi que l'échantillon D. En revanche l'échantillon A est considéré comme un fromage présentant des descripteurs avec un effet négatif sur le produit.

### **4.1.3 Préférence MAPPING (Cartographie des préférences)**

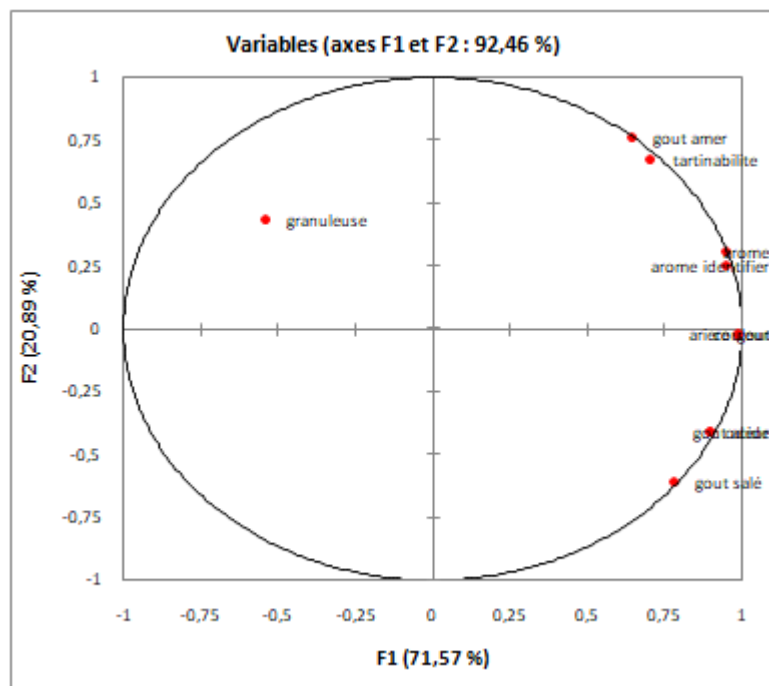
Cette méthode permet de relier les préférences exprimées par les consommateurs aux caractéristiques physico-chimiques, sensorielles ou économiques des produits. Cette approche est essentielle car ce n'est que sur cette base que les équipes marketing pourront adapter les produits aux goûts des consommateurs. La préférence MAPPING permet de visualiser sur une même représentation graphique (en deux ou trois dimensions) d'une part des objets, et d'autre part des indications montrant le niveau de préférence de juges (en général des consommateurs) en certains points de l'espace de représentation.

#### **4.1.3.1 Analyse en composantes principales (ACP)**

L'ACP est l'une des méthodes d'analyse de données multi variées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel les

observations (des individus, des produits, ...) sont décrites par  $q$  variables (des descripteurs, attributs, mesures, ...), si  $q$  est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives univariées ou même une matrice de corrélation (Jolliffe, 2002)

La figure ci-après permet de présenter les corrélations entre les variables et les facteurs par ACP :



**Figure 3 :** Corrélations entre les variables et les facteurs

La carte obtenue, présente une bonne qualité est puisqu'elle permet de représenter 92.46% de la variabilité, permet de constater que les produits ont été perçus par les experts comme assez différents. Etant donné que la figure 14 montre que tous les descripteurs sont présentés dans le cercle.

### 4.1.3.2 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Des regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions. Ce qui permet de choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné, le niveau dépendant soit des contraintes de l'utilisateur (l'utilisateur sait combien de classes il veut obtenir), soit de critères plus objectifs (Everitt et al., 2001). Le graphe dans la figure 15 suivant permet de représenter le profil des classes :

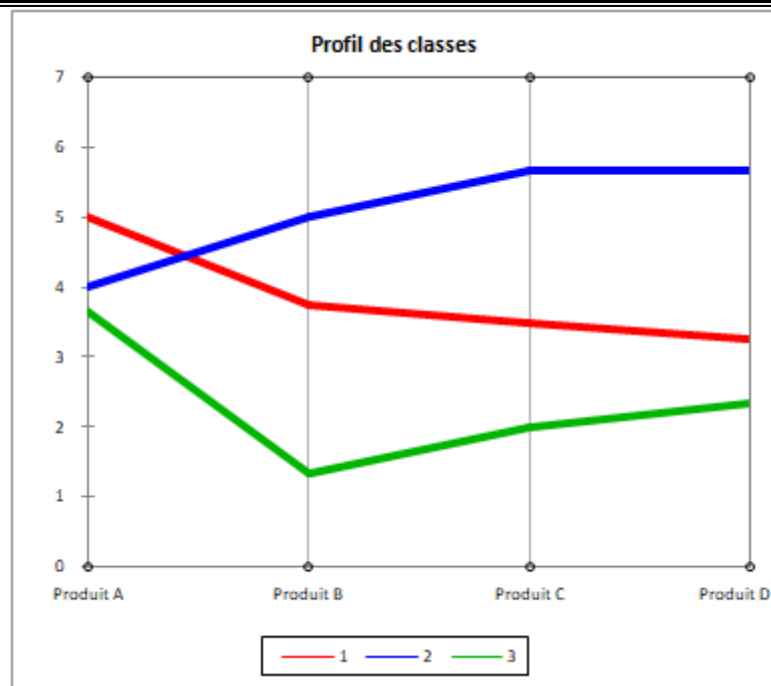


Figure 4 : Profil des classes

L'application de l'analyse des données CAH génère plusieurs tableaux et graphes. Le graphe du profil des classes permet de comparer visuellement les moyennes des différentes classes créées.

#### 4.1.3.3 Synthèse de Mapping des préférences

Les résultats sont représentés dans les tableaux ci-après

Tableau XI: Objet classés par ordre croissant de préférence juges satisfaits

Classe1	Classe 2	Classe 3
Produit D	Produit A	Produit B
Produit B	Produit C	Produit C
Produit C	Produit B	Produit D
Produit A	Produit D	Produit A

Tableau XII : Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet

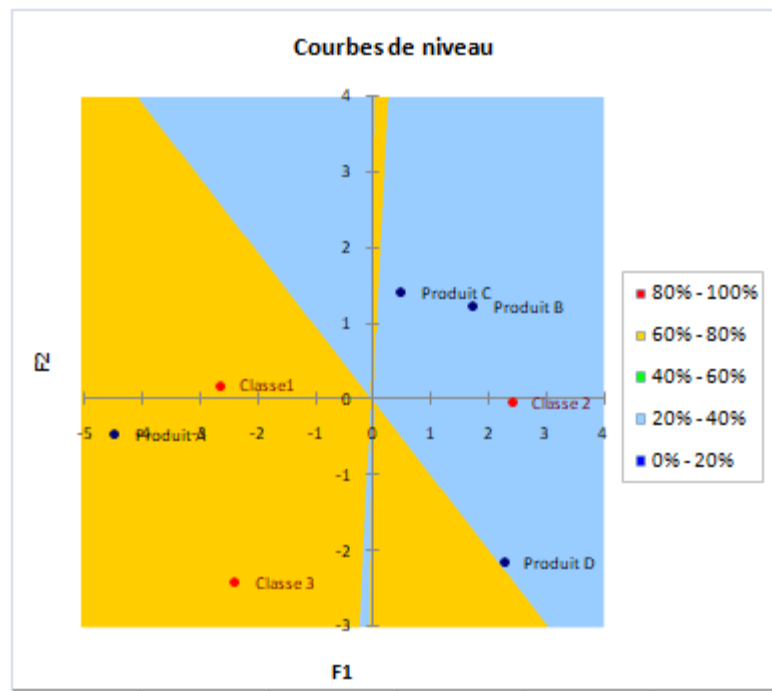
Objet	%
Produit A	67%
Produit B	33%
Produit C	33%
Produit D	33%

Le tableau XI correspond à la classification des objets par ordre croissant des préférences. Dans ce tableau les échantillons sont affichés par ordre croissant de préférence, pour chaque juge. Autrement dit, la dernière ligne correspond aux objets les plus préférés des juges, selon les modèles de préférence. L'échantillon le plus préféré selon la classe 1 et 3 est l'échantillon A, pour la classe 2 c'est l'échantillon D qui est le plus préféré.

Le tableau XII correspond au pourcentage de juges satisfaits. Dans ce tableau sont affichés pour chaque produit le pourcentage de juges étant au-dessus du seuil fixé. L'échantillon A présente un pourcentage de satisfaction de 67%, suivi des échantillons B, C et D avec un pourcentage de 33 %.

### 4.1.3.4 Courbes de niveau et carte des préférences

La figure suivante définit la courbe des niveaux et la carte des préférences



**Figure 5:** Courbes de niveau et carte des préférences

D'après les résultats obtenus, le groupe de la deuxième classe préfère l'échantillon C, B et D, le groupe de la troisième classe préfère plutôt l'échantillon A.

Ce test permet de caractériser rapidement les échantillons en fonction des préférences des juges, donc il s'agit d'identifier les descripteurs qui discriminent le mieux les produits et de déterminer les caractéristiques importantes de ces derniers dans le cadre de l'analyse sensorielle.

Le présent travail visait à développer un fromage frais enrichi en lentilles corail, *Lens culinaris* Medik, dans deux formes différentes (torréfiée et non torréfiée), afin d'évaluer à la fois les caractéristiques physico-chimiques de la matrice végétale et les caractéristiques sensorielles des fromages élaborés.

Les résultats de l'analyse du pH et de l'acidité du lait ont démontré la bonne qualité

hygiénique de l'échantillon utilisé, ce qui revêt une importance cruciale pour le processus de fabrication du fromage, pouvant influencer sa texture et sa stabilité.

Les résultats obtenus ont révélé que les lentilles contiennent de la vitamine C, des composés phénoliques et des flavonoïdes, qui sont des antioxydants naturels puissants. Ces composés peuvent contribuer aux propriétés antioxydantes du produit fini et peuvent avoir des effets bénéfiques pour la santé. De plus, les lentilles étudiées se sont avérées riches en cendres, en protéines et en glucides. Par ailleurs, les farines analysées ont présenté d'importantes propriétés fonctionnelles, suscitant ainsi un intérêt pour leur incorporation dans des matrices alimentaires riches en eau, telles que les fromages.

La présente étude a permis de déterminer l'effet de la torréfaction sur les paramètres physico-chimiques (taux de cendres, dosage des protéines, dosage des sucres), les propriétés fonctionnelles (capacité d'absorption d'eau), le contenu en molécules bioactives (polyphénols totaux, flavonoïdes) et l'activité antioxydante des farines de lentilles. Les résultats ont révélé une amélioration significative de la capacité d'absorption d'eau après torréfaction, ce qui souligne l'impact du traitement thermique sur la fonctionnalité des farines de lentilles et leur potentiel dans diverses applications alimentaires.

L'analyse sensorielle a démontré que les échantillons enrichis en lentilles ne présentaient pas de différences significatives par rapport à ceux non enrichis, et qu'ils étaient tous appréciés. Ces résultats suggèrent que l'ajout de la matrice végétale n'a pas altéré le goût des échantillons, mais au contraire, ces derniers ont été appréciés pour leur arôme. Les lentilles, en tant que source naturelle de minéraux et de fibres alimentaires, confèrent aux fromages une nouvelle composition chimique.

En perspective, des études complémentaires pourraient être menées afin d'évaluer les effets de différentes méthodes de transformation des lentilles et des conditions de fabrication sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages élaborés. Il serait possible de mieux comprendre comment optimiser l'incorporation des lentilles dans les fromages tout en préservant leurs propriétés fonctionnelles et sensorielles. Des études futures plus approfondies pourront explorer davantage les descripteurs sensoriels spécifiques, déterminant ainsi les combinaisons optimales de lentilles et de techniques de transformation pour créer des fromages uniques et appétissants.

De plus, des études comparatives entre différentes variétés de lentilles pourraient être entreprises, afin de déterminer celles qui offrent les profils sensoriels les plus intéressants et les avantages nutritionnels les plus marqués. Cela permettrait de diversifier l'éventail de fromages

enrichis en lentilles disponibles sur le marché et de répondre aux préférences des consommateurs.

### A

- **Amiot, J. et al. 2002.** Science et technologie de lait .P.50-51
- **Arkoub-Djermoune, L., Boulekbache-Makhlouf, L., Zeghichi-Hamri, S., Bellili, S., Boukhalfa, F., & Madani, K. (2016).** Influence du traitement thermique sur les propriétés physico- chimiques et l'activité antioxydante d'un légume solanacée : l'aubergine. *Journal of Food Quality* , 39 (3), 181-191.
- **Azzi R.(2012)** Contribution a l'étude de plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel du diabète sucre dans l'ouest algérien : enquête ethno pharmacologique, analyse pharmaco-toxicologique de figuier (*ficus carica*) et de coloquinte (*citrulluscolocynthis*) chez le rat WISTAR. Thèse de doctorat . P 75
- AFNOR 1980
- AFNOR

### B

- **Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., ... & Pinkas, M. (1996).** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.
- **Bauer, W. J., Badoud, R., & Lölliger, J. (2010).** Science et technologie des aliments: principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. PPUR Presses polytechniques.
- **Bauer, W. J., Badoud, R., & Lölliger, J. (2010).** Science et technologie des aliments: principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. PPUR Presses polytechniques.
- **Benmeziane-Derradji, F., Djermoune-Arkoub, L., Ayat, N. E. H., & Aoufi, D. (2020).** Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2840-2853.
- **Bennett R.J., Johnston K.A., 2004.** General Aspects of Cheese Technology. Pp 23-50. In *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2 Major Cheese Groups. Third edition, Ed. P.F. FOX, P.L.H. MCSWEENEY, T M. COGAN and T.P. GUINEE. AMSTERDAM. 434p
- **Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A. et Igic, R. (2008).** Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food chemistry*, 111(4), 925-929.
- **Bravo L (1998)** Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev* 56(11):317–333.

### C

- **Carnat, A., Lamaison, JL, & Boudrie, M. (1991).** Intérêt taxonomique de la composition polyphénolique chez deux hybrides de prêles, *Equisetum x litorale* et *E. x moorei*, mise en évidence par chromatographie sur couche mince. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques* , 138 (2), 235-237.
- chromatographie sur couche mince. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques* , 138 (2), 235-237.

### D



## Référence bibliographique

- **Dellagio, F. (1994).** Taxonomie, métabolisme, croissance et génétique des bactéries lactiques. In de Roissart H., Luquet FM. *Bactéries lactiques*, 23-116.
- **Diomande, M., Koko, A. C., Kouame, K. B., Beugre, G. A. M., & Bohoua, L. G. (2017).** Evaluation des propriétés fonctionnelles et activité antioxydante d'amandes de mangue produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 6(11), 6-29.
- **Dossou, J., S. Hounzangbe-Adote, H. Soulé, 2006 :** Production et transformation du lait frais en fromage peulh au Bénin. Guide de bonnes pratiques. Bénin : Sous la Coordination du Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET) et du Centre d'Appui au Développement de la FSA (CAD/FSA) ; 33 p.
- **Dubois M.K.A., Gilles Y.K. et Hamilton P.A. (1956).** Colometric Method For Determination Of Sugars And Related Substance. *Anal And Chem. Jour*, 28: 350- 356

### E

- **Eck A. et Gillis J.C. (2006).** Le fromage. Edition. Tec & Doc. Lavoisier. Paris.
- **El-Bendary, M. A., Moharam, M. E., & Ali, T. H. (2007).** Purification and characterization of milk clotting enzyme produced by *Bacillus sphaericus*. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(8), 695-699.
- **En ligne Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004).** Bactéries lactiques comme ferments fonctionnels pour l'industrie de la fermentation alimentaire. *Tendances en science et technologie alimentaires*, 15 (2), 67-78.

### F

- **Faller, ALK et Fialho, E. (2009).** La capacité antioxydante et la teneur en polyphénols des légumes bio et conventionnels après cuisson domestique. *Food Research International*, 42 (1), 210-215.
- **Faller, ALK et Fialho, E. (2009).** La capacité antioxydante et la teneur en polyphénols des légumes bio et conventionnels après cuisson domestique. *Food Research International*, 42 (1), 210-215.
- **Fine A.M., CPA, Candidate N.D. 2000.** Oligomeric Proanthocyanidin Complexes: history, Structure, and Phytopharmaceutical Applications. *Alternative Medicine Review*. 5(2) : 144-151.
- **Fredot E., (2005).** Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Edition : Tec & Doc. Lavoisier, Paris.
- **FAO 1982**
- **FAO 2016**

### G

- **Grappin R., Lefier D. et mazerolles G. (2006).** La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques. Edition. Tec & Doc, Dunod. Paris.
- **Guimarães, R., Barros, L., Barreira, J. C., Sousa, M. J., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2010).** Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 99-106.
- **Guiraud, J-P., Dunod 1998** "Microbiologie alimentaire", p.390

### I

- **Irlinger, F., & Mounier, J. (2009).** Interactions microbiennes dans le fromage : implications pour la qualité et la sécurité du fromage. *Opinion actuelle en biotechnologie*, 20 (2), 142-148.

### J

- **Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brule G. (2008).** Les produits laitiers. Edition. Tec & Doc. Lavoisier. Paris.
- **Johnston Jr, CC, Miller, JZ, Slemenda, CW, Reister, TK, Hui, S., Christian, JC et Peacock, M. (1992).** Supplémentation en calcium et augmentation de la densité minérale osseuse chez les enfants. *Journal de médecine de la Nouvelle-Angleterre* , 327 (2), 82-87.

### K

- **K. Robards / J. Chromatogr.** A 1000 (2003) 657–69
- **Kolodziej H., Kayser O., Kiderlen A.F., Hideyuki Ito, Hatano T., Yoshida T. et FOO L.Y. 2001.** Proanthocyanidins and Related Compounds: Antileishmanial activity and modulatory effects on nitric oxide and tumor necrosis factor-release in the murine macrophage-like cell line raw 264.7. *Biological and Pharmaceutical Bulletin.* 24(9) : 1016-1021.
- **Kongo J.M and Malcata F.X, (2016) b.** Cheese: Chemistry and Microbiology. In: *Encyclopedia of Food and Health.* Elsevier 735-740.
- **Krohn 2011**

### L

- **L. SINGLETON , RUDOLF ORTHOFER, and ROSA M. LAMUELA-RAVENT6S.** Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. 14,152(1999)
- **Leroy F A. et De Vuyst L. (2004).** Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends Food Science and Technology*, 15 (67) :78.
- **Luquet F. et Corrieu G. (2005).** Bactéries lactiques et probiotiques. Edition: Tec et Doc Lavoisier. Paris. P 307
- **Luquet F.M. (1985).** Lait et produits laitiers: vache, brebis, chèvre .

### M

- **Mahaut M., Jeantet R. et Brule G.(2007).** Initiation a la technologie fromagère. Edition, Tec et Doc. Lavoisier. France.
- **Mahaut M., Jeantet R., Schuck P. et Brule G. (2000).** Les produits industriels laitiers. Editon , Tec & Doc. Lavoisier. Paris.
- **Mau, JL, Tsai, SY, Tseng, YH et Huang, SJ (2005).** Propriétés antioxydantes des extraits d'eau chaude de *Ganoderma tsugae* Murrill. *LWT-Food science and Technology* , 38 (6), 589-597.
- **Milardović S, Iveković D, Grabarić BS (2006).** A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*, 68: 175-180.

### O

- **Obouayeba AP et al (2015)** Evaluation of the effect of alkaloids of *Mitragyna ciliata* on markers of immunity and some hematological parameters in rabbits. *Int J Res Biosci* ; 4(2): 36-43.

- **Oyaizu, M. (1986)** Études sur les produits de réactions de brunissement :activités antioxydantes du produit de réaction de brunissement préparé à partir de glucosamine. *Journal japonais de la nutrition*, 44, 307-315.

### P

- **Popovici C., Saykova I. et Tylkowski B. 2009.** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*.4 : 25-39
- **Pradal, M. (2012).** La transformation fromagère caprine fermière: Bien fabriquer pour mieux valoriser ses fromages de chèvre. Lavoisier.

### R

- **Richonnet C. (2015).** Caractéristique nutritionnelles des fromages fondus. Edition. ElsevierMasson.
- **Rio, C. (2017).** Les légumes secs, aliments de choix à valoriser. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(2), 71-77.
- **Rodas M., Ferrer S. et Pardo I. (2005).** Polyphasic study of wine Lactobacillus strains: taxonomic implications. Edition: *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(1): 197-207.
- **Rolan et al, 2001**
- **Rio, C. (2017).** Les légumes secs, aliments de choix à valoriser. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(2), 71-77.
- 

### S

- **Shahwar, D., Bhat, TM, Ansari, MYK, Chaudhary, S. et Aslam, R. (2017).** Article rétracté : Composés fonctionnels pour la santé de la lentille (*Lens culinaris Medik*) : Une revue. *Revue internationale des propriétés alimentaires*, 20 (sup1), S1-S15.
- **SIRET, C. (2004).** *Les composants chimiques des produits alimentaires*. Ed. Techniques Ingénieur.
- **St-Gelais D. et Tirard-Collet P. (2002).** Fromage in Science et technologie du lait. Edition Presses internationales polytechnique. P 349-415.
- **Schneider, A., Flénet, F., Dumans, P., Bonnin, E., De Chezelles, E., Jeuffroy, M.-H., Hayer, F., Nemecek, T., & Carrouée, B. (2010).** Diversifier les rotations céréalières notamment avec du pois et du colza – Données récentes d'expérimentations et d'études. *Oleagineux, Corps Gras, Lipides*, 17(5), 301-311.

### V

- **Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998).** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(10), 4113-4117.
- **Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998).** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(10), 4113-4117.
- **Vétier, N., Banon, S., Ramet, J. P., & Hardy, J. (2000).** Hydratation des micelles de caséine et structure fractale des agrégats et des gels de lait. *Le lait*, 80(2), 237-246.
- **Vignola C. (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition. Presses Internationales Polytechnique. Canada.
- **Voisin, A.-S., Guéguen, J. J., Huyghe, C. C., Jeuffroy, M.-H. M.-H., Magrini, M.-B., Meynard, J.-M., Mougél, C., Pellerin, S. S., & Pelzer, E. E. (2013).** Les légumineuses dans l'Europe du XXI<sup>e</sup> siècle: Quelle place dans les systèmes agricoles et alimentaires actuels et futurs? Quels nouveaux défis pour la recherche? *Innovations Agronomiques*, 30(septembre), 283-312.

## Référence bibliographique

---



### W

- **Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., & Wehrmüller, K. (2008).** Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 389-405.
- **WOLFF J.P. (1968).** Manuel d'analyses des corps gras; Azoulay, éditeur ; Paris, France.519p
- **WOLFF J.P. (1968).** Manuel d'analyses des corps gras; Azoulay, éditeur ; Paris, France519p

### Z

- **Zhou et al ,2013**

## Annexe 01

### Courbes d'étalonnage

Polyphénols totaux	$Y = 7,348 x$ (mg/ml acide gallique)
Flavonoïdes	$Y = 2,3604 x$ (mg/ml quercetine)
Vit C	$Y = 4,3986 x$ (mg/ml acide ascorbique)
Pouvoir réducteur	$Y = 9,989 x$ (mg/ml acide ascorbique)
DPPH	$Y = 5,54 x$ (mg/ml acide ascorbique)
Protéine	$Y = 0.119 x + 0.0358$ (mg/ml BSA)
Sucres	$Y = 0.0945 x$ (mg /ml glucose)

### ANNEXE 1

### ANNEXE 2



**BALANCE**



**AGITATEUR**



**CENTIFUGEUSE**

## ANNAXE 3

### Fiche de dégustation Fromage frais enrichi

<b>Sexe :</b> - Homme - Femme	<b>Age :</b>	<b>N° du poste :</b>	<b>Date de dégustation</b>
-------------------------------------	--------------	----------------------	----------------------------

4 Echantillons de fromage frais enrichis codés **A, B, C et D** vous sont présentés, il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques.

#### 1) Couleur

- blanc
- blanc claire
- beige
- vert claire
- vert

A	B	C	D

#### 2) Odeur

- Absente
- Faible
- Moyenne
- Forte
- Très forte

A	B	C	D

#### 3) Arôme

- Absent
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

A	B	C	D

#### 4) Goût

##### ❖ Goût salé

- Absent
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

A	B	C	D

##### ❖ Goût acide

➤ Absent

➤ Faible

➤ Moyen

➤ Fort

➤ Très fort

A	B	C	D

❖ **Goût amère**

➤ Absent

➤ Faible

➤ Moyen

➤ Fort

➤ Très fort

A	B	C	D

❖ **Arrière goût**

➤ Absent

➤ Faible

➤ Moyen

➤ Fort

➤ Très fort

A	B	C	D

5) **Arôme identifié**

➤ Absent

➤ Non identifier

➤ Ail

➤ Citron

➤ Romarin

➤ Autre

A	B	C	D

6) **Texture**

❖ **Granuleuse**

➤ Très lisse

➤ Lisse

➤ Moyenne

➤ Granuleuse

➤ Très granuleuse

A	B	C	D

❖ **Tartinabilité**

➤ Très facile

A	B	C	D

- Facile
- Moyenne
- Difficile
- Très difficile

**7) Préférence**

Classez selon l'ordre de préférences les échantillons, en leur attribuant une de ses caractéristiques :

- Extrêmement agréable
- Très agréable
- Agréable
- Assez agréable
- Ni agréable ni désagréable
- Désagréable
- Très désagréable
- Extrêmement désagréable

A	B	C	D

**8) Entourez les caractéristiques qui ont motivé votre préférence**

- La couleur
- L'odeur
- La texture
- Le gout
- Le tout
- Autre.....

**9) A quelle fréquence consommez des fromages frais ?**

- Une fois par jour
- Une fois par deux jours
- Plusieurs fois par semaine
- Jamais
- Autre.....

**10) A quelle fréquence consommez des légumineuses (lentilles pois chiche...) ?**

- Une fois par jour
- Une fois par deux jours
- Plusieurs fois par semaine
- Jamais

Autre.....



## **Résumé**

Le présent travail avait pour objectif de développer un fromage frais enrichi en lentilles corail et d'évaluer ses caractéristiques physico-chimiques et sensorielles. L'analyse du pH et de l'acidité du lait a confirmé sa bonne qualité hygiénique, élément crucial pour le processus de fabrication du fromage. Les lentilles ont été identifiées comme une source naturelle de vitamine C, de composés phénoliques et de flavonoïdes, qui sont des antioxydants pouvant contribuer aux propriétés antioxydantes du produit final et avoir des effets bénéfiques pour la santé. La torréfaction des lentilles a influencé leurs propriétés physico-chimiques et fonctionnelles. Les résultats ont révélé une amélioration significative de la capacité d'absorption d'eau après la torréfaction, soulignant ainsi l'impact du traitement thermique sur la fonctionnalité des farines de lentilles et leur potentiel dans diverses applications alimentaires. L'analyse sensorielle a démontré que les échantillons enrichis en lentilles étaient appréciés, sans altérer leur goût. En perspective, des études comparatives entre différentes variétés de lentilles pourraient également être réalisées. Ces recherches permettraient d'optimiser l'incorporation des lentilles dans les fromages, de diversifier les produits disponibles sur le marché et d'offrir aux consommateurs une expérience sensorielle et nutritionnelle enrichie.

**Mots clés :** Fromage enrichi, Lentilles corail, Torréfaction des lentilles, Analyse sensorielle.

## **Abstract**

The present study aimed to develop a fresh cheese enriched with red lentils and evaluate its physicochemical and sensory characteristics. The analysis of pH and milk acidity confirmed its good hygienic quality, which is crucial for the cheese-making process. Lentils were identified as a natural source of vitamin C, phenolic

compounds, and flavonoids, which are antioxidants that can contribute to the antioxidant properties of the final product and have beneficial effects on health. The roasting of lentils influenced their physicochemical and functional properties. The results revealed a significant improvement in water absorption capacity after roasting, highlighting the impact of heat treatment on the functionality of lentil flours and their potential in various food applications. Sensory analysis demonstrated that lentil-enriched samples were well-liked without altering their taste. In perspective, comparative studies among different varieties of lentils could also be conducted. These research efforts would optimize the incorporation of lentils into cheeses, diversify products available on the market, and provide consumers with an enhanced sensory and nutritional experience.

**Keywords:** Enriched cheese, Red lentils, Lentil roasting, Sensory analysis.



